



**ALE 2021**



**E-ISSN 2798-7310**

**P-ISSN 2620-3995**

**INOVASI TEKNOLOGI BAGI PENGEMBANGAN  
WILAYAH KELAUTAN - KEPULAUAN DALAM  
ERA NORMAL BARU**

**ALE** | ARCHIPELAGO  
ENGINEERING

**PROSIDING  
SEMINAR NASIONAL**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PATTIMURA  
AMBON  
2021**



**06 Juli 2021**

**Fakultas Teknik Universitas Pattimura  
Kampus Poka, Ambon**



## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan ke hadapan Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala bimbingan dan penyertaannya maka penulisan Prosiding ini dapat diselesaikan semestinya.

Prosiding ini memuat berbagai artikel ilmiah dari hasil Seminar Prosiding Seminar Nasional Achipelago Engineering (ALE) 2021 ke-4 yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon, 6 July 2021. Artikel ilmiah yang dihasilkan oleh para keynote speaker dan pemakalah yang berasal dari beberapa negara, Fakultas Teknik Unpatti dan dari luar Fakultas Teknik Unpatti. Artikel tersebut menjelaskan berbagai topic riset dari berbagai bidang ilmu teknik mesin, teknik perkapalan dan sistim perkapalan, teknik industry, teknik sipil dan teknik perencanaan wilayah dan kota. Artikel-artikel tersebut merupakan hasil kajian teoritis serta beberapa produk inovasi IPTEK yang selanjutnya dapat diimplemantasikan ke dunia industri untuk mencapai produk yang lebih efisien.

Atas nama institusi Fakultas Teknik, saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para keynote speaker, pemakalah dan peserta yang turut terlibat dan telah memberikan sumbangsih yang bermanfaat bagi output dari seminar ALE 2021 ini.

Secara khusus saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Panitia Seminar Nasional ALE 2021 yang telah bekerja keras sehingga seminar dan prosiding ini telah diselesaikan semestinya.

Ambon, 5 Juli 2021

Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Ir Wolter R Hetharia, M.App.Sc**  
**NIP: 19620813 198903 1 003**

## FOREWORD

First of all, I would like to invite all of us to thank God for His guidance, inclusion and mercy so that this proceeding has been accomplished.

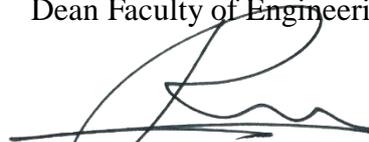
This proceeding contains the scientific articles resulted from The 4<sup>th</sup> National Seminar of Archipelago Engineering (ALE) 2021 held by The Faculty of Engineering, Pattimura University Ambon, July 6<sup>th</sup> 2021. The scientific articles are written by several international and Indonesian keynote speakers and the presenters who comes from The Faculty of Engineering Pattimura University and other institutions. The articles described any research topics in mechanical engineering, naval architecture and marine engineering, industrial engineering, civil engineering and city and urban planning. The articles contain theoretical study and several products of science and technology which could be implemented further in the industrial world to achieve the beneficial products.

On the behalf of The Faculty of Engineering Pattimura University, I would like to deliver my gratitude to our keynote speakers, presenter and all participants who were involved and contributed to the National Seminar of ALE 2021.

I would like to deliver my special gratitude also to the committee of National Seminar of ALE 2021 who have been working hard, contributing their time and energy and passion to finalize this event successfully.

Ambon, July 5<sup>th</sup> 2021

Dean Faculty of Engineering



**Dr. Ir Wolter R Hetharia, M.App.Sc**

**NIP: 19620813 198903 1 003**

## PANITIA

### PANITIA PELAKSANA 2021

Ir. M. F. Noya, MT.  
Juliet G. Metekohy, ST., MT.  
Enitha Maalepete, SE.  
G. S. Norimarna, ST., M.Sc.  
Ir. H. Lainsamputty, M.Si.  
A. Y. Leiwakabessy, ST., MT.  
Ir. H. C. Ririmasse, MT.

### SEKSI SEMINAR ALE 2021

Dr. A. Tutuhataunewa, ST., MT.  
Wilma Latuny, ST, M.Phil., PhD.  
Dr. R. B. Luhulima, ST., MT.  
Dr. L. M. Kelwulan, ST., MT.  
N. Titahelu, ST., MT.  
S. J. Litolily, S.Si., MT.  
Sefnath J. E. Sarwuna, ST., MT.  
Mansye R. Ayal, ST., MT.  
E. B. Johannes, ST., M.Cs.  
Rudy Erens Maalete, S.Kom.

### PANITIA PENGARAH SEMINAR ALE 2021

Prof. Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc. (Universitas Indonesia, Indonesia)  
Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D. (Universitas Brawijaya, Indonesia)  
Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D. (Ketua Umum BKSTI, UGM, Indonesia)  
Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Hasanudin, Indonesia)  
Ir. Olga Catherina Pattipawaej, M.S., Ph.D. (Universitas Kristen Maranatha, Indonesia)  
Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D., CMarTech. (ITS, Indonesia)  
Prof. Dr. R.M. Osok, M.Sc. (Universitas Pattimura, Indonesia)  
Dr. D. R. Lekatompessy, S.T., M.T. (Universitas Pattimura, Indonesia)  
Dr.rer.nat Gino V. Limmon, M.Sc. (Universitas Pattimura, Indonesia)

### REVIEWER

Dr. Ir. Wolter R. Hetharia, M.App.Sc. (Universitas Pattimura, Indonesia)  
W. M. Rumaherang, S.T., M.Sc. Ph.D. (Universitas Pattimura, Indonesia)  
Dr. P. Th. Berhиту, S.T., M.T. (Universitas Pattimura, Indonesia)  
Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D. (Ketua Umum BKSTI, UGM, Indonesia)  
Dr.rer.nat Gino V. Limmon, M.Sc. (Universitas Pattimura, Indonesia)

## DAFTAR ISI

Halaman Judul			i
Kata Pengantar			ii
Foreword			iii
Panitia			iv
Daftar Isi			v
<b><i>Materi Keynote Speaker</i></b>			
TEKNOLOGI NANO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DAN HIDROGEN HIJAU DARI AIR LAUT			viii
<b><i>Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng.Ph.D</i></b>			
FAST TRIMARAN PASSENGER SHIPS FOR THE ARCHIPELAGO REGIONS			xxxiii
<b><i>Dr. Ir. Wolter R. Hetharia, M.App.Sc.</i></b>			
OPTIMALISASI DIMENSI TRANSPORTASI LAUT BERBASIS POTENSI EKONOMI WILAYAH PULAU; SUATU MODEL PENDEKATAN EKONOMETRIKA			xliv
<b><i>Prof. Dr. Ir. Marcus Tukan, BSE., MT.</i></b>			
<b><i>Teknik Perkapalan</i></b>			
THE RESISTANCE ASPECT OF FISHING BOAT SKIPJACK POLE AND LINE	1	-	7
<b><i>Wolter R. Hetharia, Eliza R. de Fretes, Reico H. Siahainenina</i></b>			
ANALISIS PENGENDALIAN KOROSI PADA PERMUKAAN BASAH KAPAL-KAPAL BAJA DENGAN MENGGUNAKAN ZINK ANODA	8	-	12
<b><i>Sonja T. A. Lekatompessy</i></b>			
ANALISA NUMERIK PENGARUH KECEPATAN TERHADAP SEAKEEPING KAPAL PATROLI PADA DAERAH PELAYARAN SEA STATE 7	13	-	17
<b><i>Moh. Taufik Ar Zori, Betty Ariani, Dedy Wahyudi</i></b>			
PENGARUH KEMIRINGAN POROS BALING-BALING TERHADAP KECEPATAN PERAHU KETINTING	18	-	22
<b><i>M Nur Habib, Eliza R. de Fretes, Sonya T.A. Lekatompessy</i></b>			
ANALISA PARAMETER STABILITAS KAPAL UNTUK MENINGKATKAN OPERASIONAL PENANGKAPAN KAPAL PUKAT CINCIN DI PERAIRAN LAUT BANDA	23	-	29
<b><i>Obed Metekohy</i></b>			
PERBANDINGAN KAPAL MONOHULL, CATAMARAN, TRIMARAN BERDASARKAN TINJAUAN OPERASIONAL PENGGUNAAN BAHAN BAKAR	30	-	36
<b><i>Jacobus Tupan, Richard B. Luhulima</i></b>			
PENGEMBANGAN KAPAL PERIKANAN TRIMARAN: KAJIAN MENGENAI KEBUTUHAN TENAGA KAPAL, KEAMANAN DAN KENYAMANAN	37	-	43
<b><i>Richard B. Luhulima</i></b>			

ANALISA TITIK KRITIS GERAKAN ROLL KAPAL IKAN PUKAT CINCIN PADA DAERAH PENANGKAPAN DI MALUKU <i>Fella Gasperz, Richard B. Luhulima</i>	44 - 50
<b>Teknik Industri</b>	
DESAIN STRATEGI PENGEMBANGAN USAHA DENGAN METODE FUZZY-SWOT DALAM ANCAMAN PANDEMI COVID-19 (STUDI KASUS PADA BENGKEL ANUGERAH POKA) <i>Alfredo Tutuhatonewa, Lidya Pesulima</i>	51 - 59
INTEGRASI ANALITICAL HIERARCHY PROCESS-FUZZY DALAM PEMILIHAN SUPPLIER <i>Dolly Rommer, Daniel B. Paillin, Johan M. Tupan</i>	60 - 67
MODEL OPTIMISASI UNTUK MASALAH MINIMISASI BIAYA PERJALANAN WISATA TUR-TUNGGAL DI ZONA KEPULAUAN <i>Moh. Thezar Afifudin, Dian Pratiwi Sahar</i>	68 - 75
PREDIKSI FITUR KEMASAN PRODUK MINYAK KAYU PUTIH DENGAN SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) <i>Wilma Latuny, Victor O. Lawalata, Daniel B. Pailin, Rahman Ohoirenan</i>	76 - 82
PENGUKURAN PERSEPSI DOSEN FAKULTAS TEKNIK TENTANG IMPLEMENTASI REMUNERASI DI UNIVERSITAS PATTIMURA <i>Alfredo Tutuhatonewa, Ariviana L. Kakerissa, Tradessantia Syatauw</i>	83 - 88
AKSES TRANSPORTASI DALAM PENURUNAN BIAYA LOGISTIK WILAYAH KEPULAUAN BERBASIS KOMODITI UNGGULAN LOKAL <i>Markus Tukan, Hozairi, Billy J. Camerling</i>	89 - 95
<b>Teknik Sistem Perkapalan</b>	
DESAIN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM POMPA AIR TAWAR PADA KAPAL RAKYAT <i>Frangky Tanahitumessing</i>	96 - 103
PERILAKU CHAOS ALIRAN FLUIDA BERDENYUT DALAM SALURAN BERPENAMPANG SEGIEMPAT <i>Prayitno Ciptoadi, Mesak F. Noya, Gertruida S. Norimarna</i>	104 - 111
<b>Teknik Mesin</b>	
STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANCE KAVITASI WATERJET PROPULSI <i>Wulfilla M. Rumaherang, J. Louhenapessy, Mesak F. Noya, Cendy S. Tupamahu</i>	112 - 120
ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN IMPAK MATERIAL KOMPOSIT POLIMER DALAM APLIKASI FIBERBOAT <i>Rezza Ruzuqi, Victor D. Waas</i>	121 - 126
ANALISIS EFEKTIVITAS PENUKAR KALOR PIPA HELIKAL DESTILASI MINYAK ATSIRI KAYU PUTIH <i>Antonius Hatumessen, Nicolas Titahelu, Cendy S.E. Tupamahu</i>	127 - 132
KAJI PERFORMANSI REFRIGERAN R-290, R-32, DAN R-410A SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI R-22 <i>Rikhard Ufie, Cendy S.E. Tupamahu, Sefnath J.E. Sarwuna, Jufraetz Frans</i>	133 - 139

ANALISIS LAJU ALIRAN MASSA FLUIDA DINGIN TERHADAP EFEKTIVITAS HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE DESTILLASI MINYAK ATSIRI CENGKEH (*Syzygium aromaticum*) 140 - 145

*Rengga Said, Nicolas Titahelu, Rikhard Ufie*

ANALISIS SIFAT MEKANIS KOMPOSIT POLYESTER YANG DIPERKUAT SERAT KULIT DURIAN (*Durio zibethinus Murr*) AKIBAT VARIASI FRAKSI VOLUME 146 - 150

*Arthur Yanny Leiwakabessy, Benjamin G Tentua, Fany Laamena*

*Teknik Sipil*

ANALISIS TARIF ANGKUTAN UMUM BERDASARKAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN DI KOTA AMBON (STUDI KASUS KONDISI PSBB) 151 - 159

*Fuad H. Ohorella, Imran Oppier*

*Perencanaan Wilayah dan Kota*

MODEL STUKTURAL BERBASIS SISTIM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR SECARA BERKELANJUTAN 160 - 169

*Pieter Th. Berhutu*



# TEKNOLOGI NANO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DAN HIDROGEN HIJAU DARI AIR LAUT

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng.Ph.D  
Department of Mechanical Engineering,  
Brawijaya University

## Tantangan menuju 2045

(Kebutuhan beban puncak meningkat secara Exponensial)



Source: Draft General Plan of Electricity (RUKN) 2012-2031

## Tantangan menuju 2045



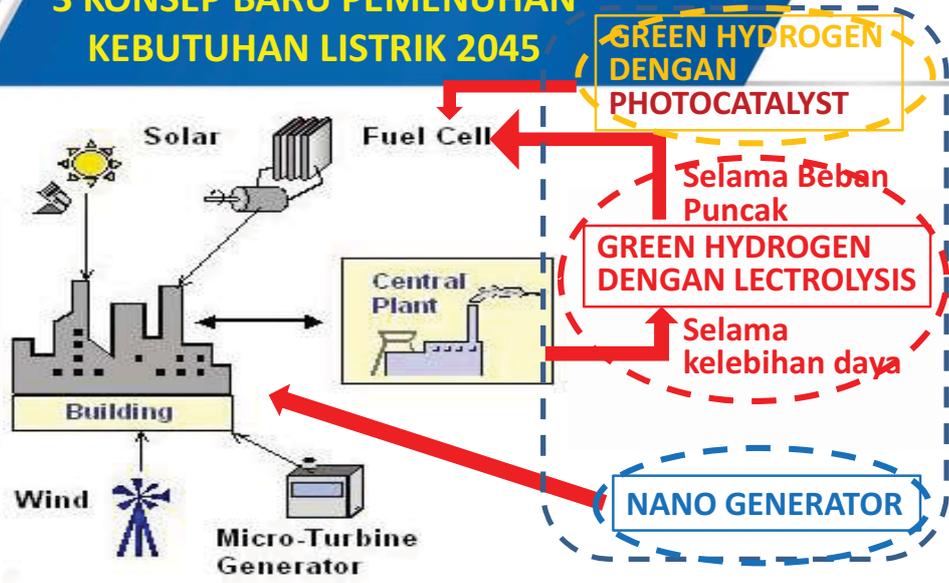
- Beban puncak listrik di 2045 akan melampaui **1 terawatt**
- **Sumber energi konvensional** terbatas
- **60 %** listrik harus dari **Energi Terbarukan**
- **Perubahan iklim** menjadi **factor pembatas** pembangkit konvensional
- **Pertumbuhan ekonomi & Transportasi** memicu **permintaan listrik merata ke seluruh kepulauan nusantara**

## Dampak perkembangan pesat Science & Technology di 2045



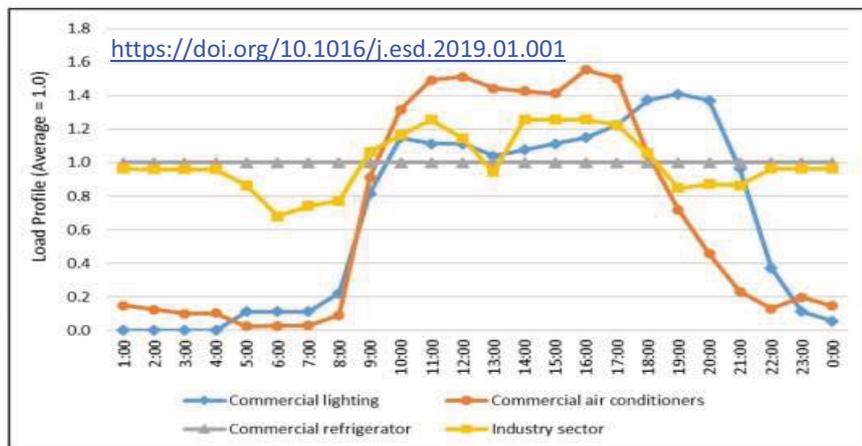
- **Quantum Mechanics** dan **Nano technology** merupakan **factors penentu** pembangkitan **listrik ramah lingkungan**
- **Hydrogen Hijau** berbasis **Nanotechnology** merupakan **alternative yang menjanjikan** karena bisa berfungsi sebagai **energy storage untuk kelebihan pembangkitan daya**
- **Desentralisasi pembangkitan daya** dengan **Artificial Intelligence (AI)** adalah solusi pemenuhan kebutuhan listrik di seluruh nusantara

### 3 KONSEP BARU PEMENUHAN KEBUTUHAN LISTRIK 2045

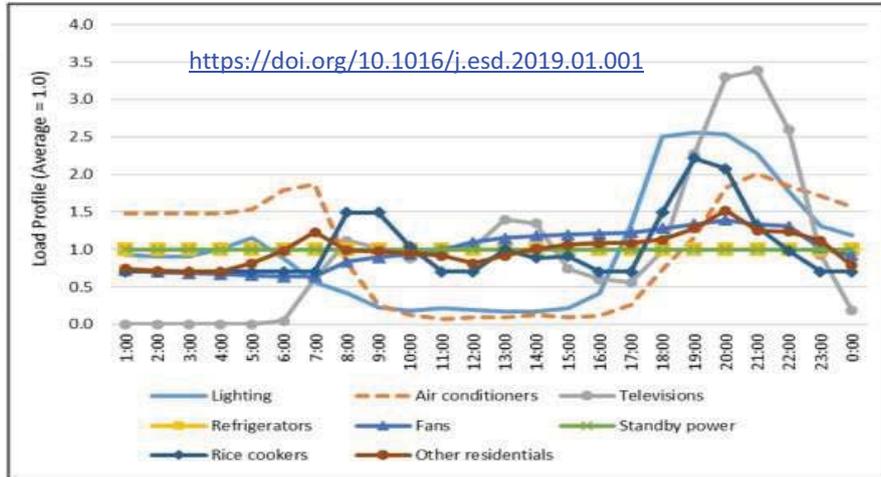


**3 KONSEP BARU DESENTRALISASI**

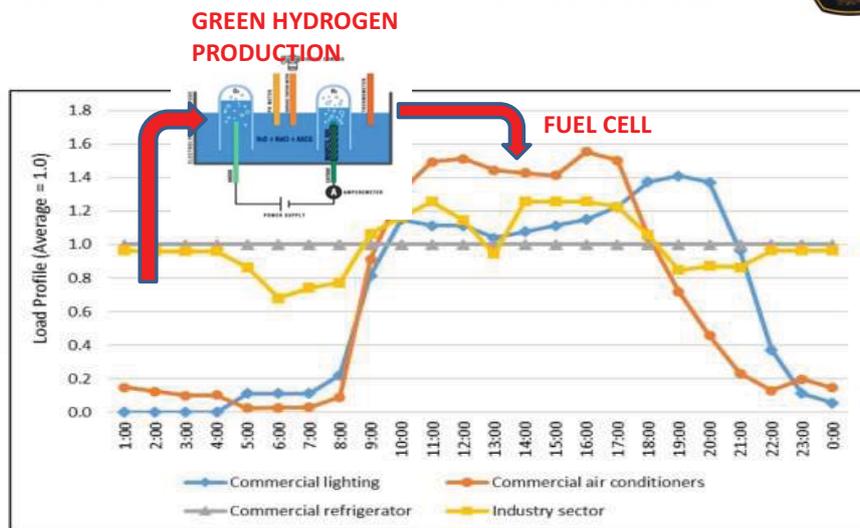
### Profil Beban di sektor industri dan komersial



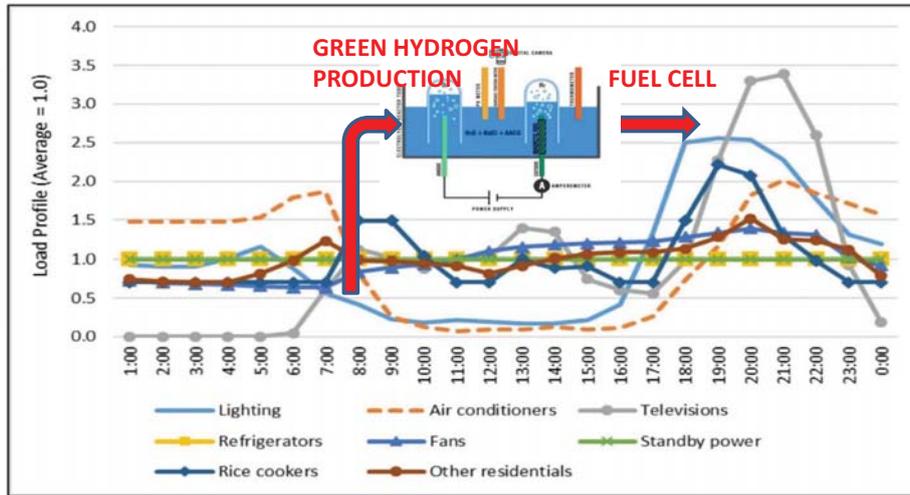
# Profil beban di rumah tangga



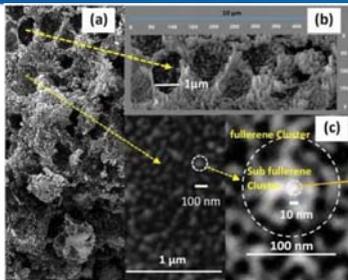
# IDE PENGELOLAAN ENERGI (EXCESS POWER STORAGE INTO GREEN HYDROGEN)



# IDE PENGELOLAAN ENERGI (EXCESS POWER STORAGE INTO GREEN HYDROGEN)

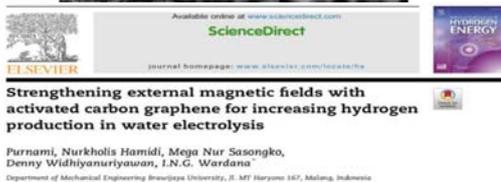


# PRODUKSI GREEN HYDROGEN DENGAN GRAPHENE OXIDE ACTIVATED CARBON NANOPARTICLE



Graphene oxide in the form of carbon oxide fullerene

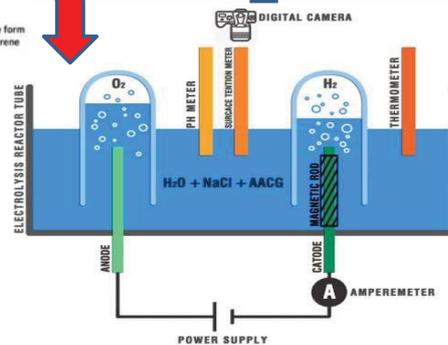
$$H_2 = 2.25 \frac{mL}{minute} = 0.027 \frac{KJ}{minute}$$



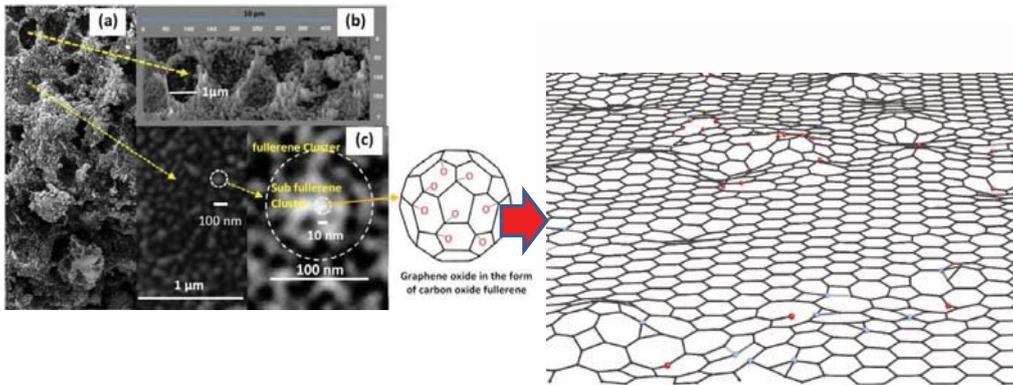
**Strengthening external magnetic fields with activated carbon graphene for increasing hydrogen production in water electrolysis**  
Purnami, Nurkholis Hamidi, Mega Nur Sasongko, Denny Widhiyansuryawan, I.N.G. Wardana  
Department of Mechanical Engineering Inerjaya University, Jl. MF Suryono 147, Malang, Indonesia

\* Corresponding author.  
E-mail address: wardana@ub.ac.id (I.N.G. Wardana).  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.148>

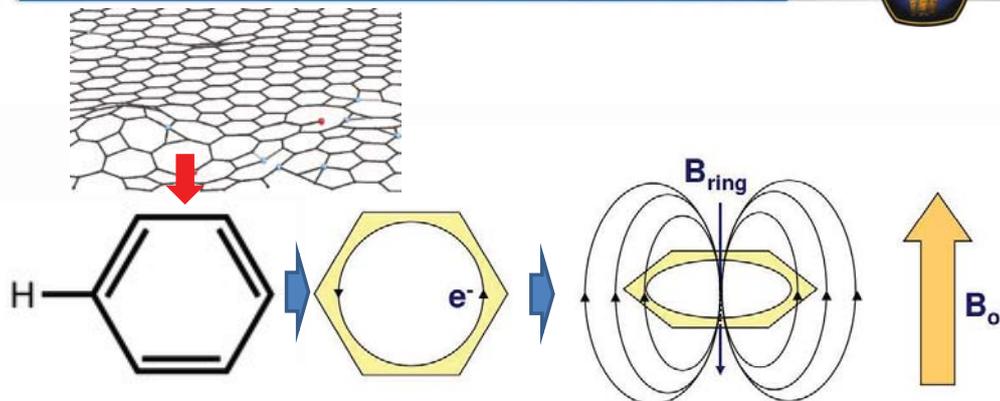
0360-3199/© 2020 Hydrogen Energy Publications LLC. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.



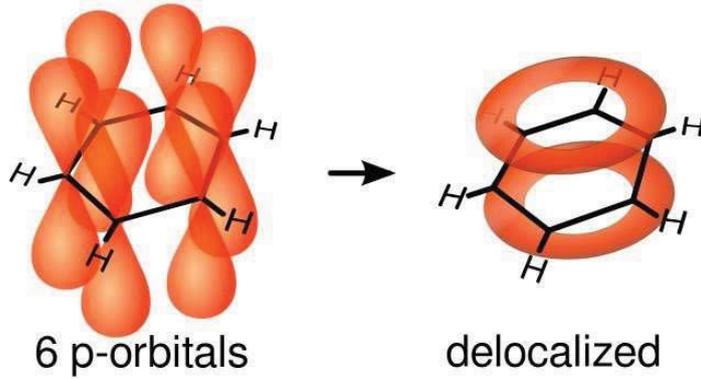
# DIFECTIVE GRAPHENE PADA GRAPHENE OXIDE



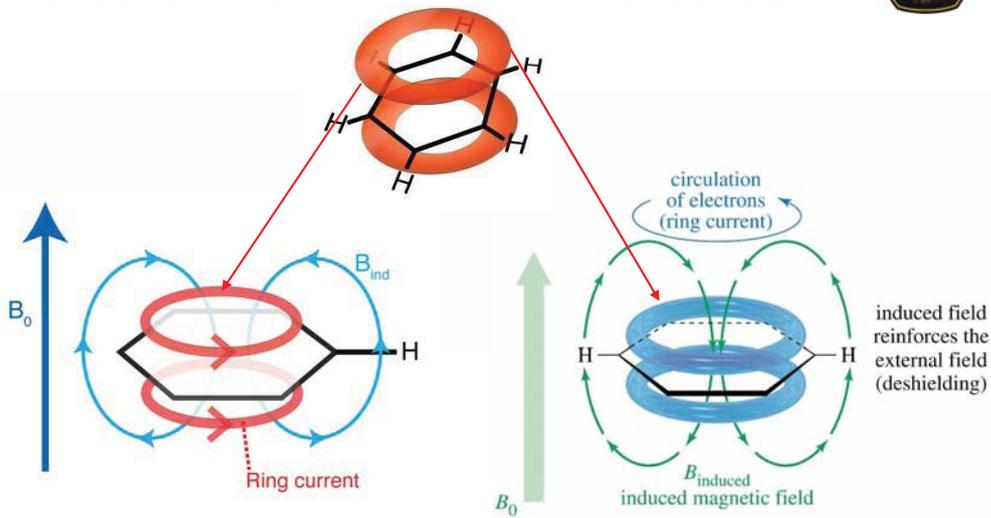
# GERAKAN MELINGKAR ELEKTRON DALAM CINCIN AROMATIC MEMBANGKITKAN MEDAN MAGNET



**ELEKTRON MELINGKAR DI ORBITAL P SEHINGGA  
POSISI GERAK ELEKTRON TERKESAN ADA DI ATAS  
DAN DI BAWAH CINCIN**



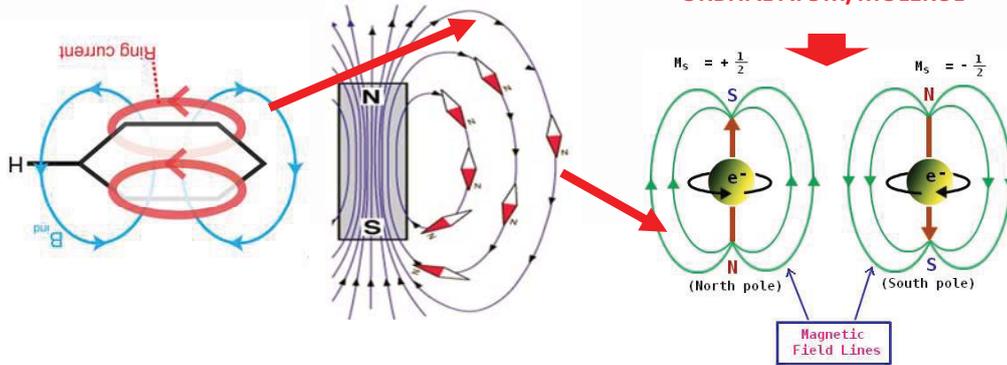
**POSISI GERAK MELINGKAR ELEKTRON DI CINCIN  
AROMATIK GRAPHENE DAN MEDAN MAGNET YANG  
DITIMBULKAN**



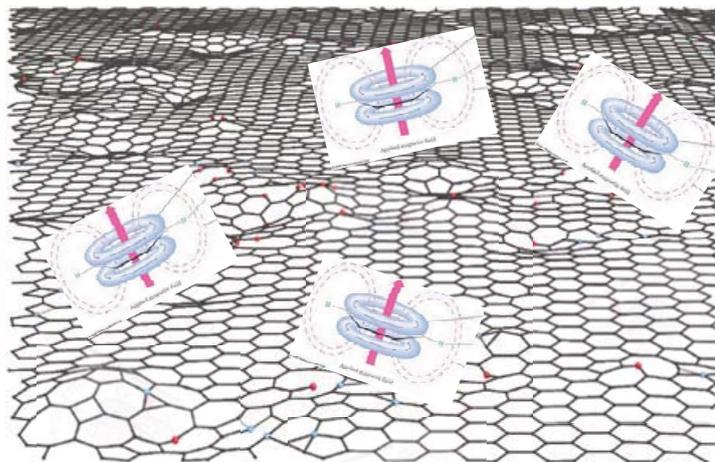
## CARA MEDAN MAGNET MENGINDUKSI ELEKTRON DI ATOM ATAU MOLEKUL LEWAT SPIN



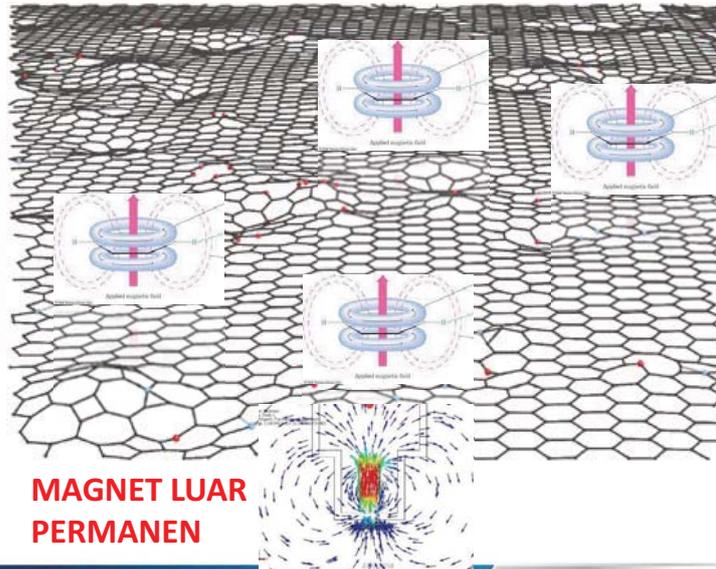
MAGNET YG DIBANGKITKAN OLEH SPIN ELEKTRON DI ORBITAL ATOM/MOLEKUL



## ORIENTASI MEDAN MAGNET DI DEFECTIVE GRAPHENE OXIDE PADA KARBON AKTIF (TIDAK SERAGAM AKIBAT DEFECT)



## MAGNET LUAR PERMANEN MENYERAGAMKAN ORIENTASI MEDAN MAGNET DI DEFECTIVE GRAPHENE OXIDE PADA KARBON AKTIF

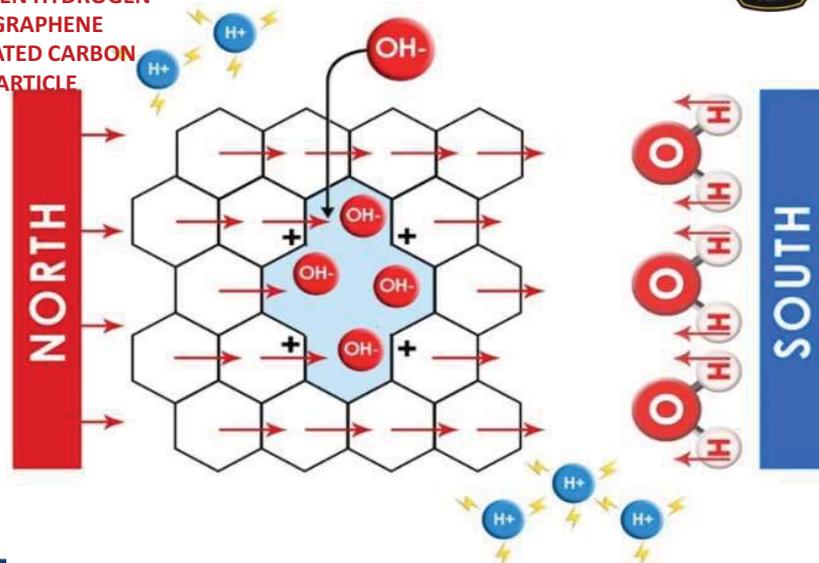


MAGNET LUAR PERMANEN

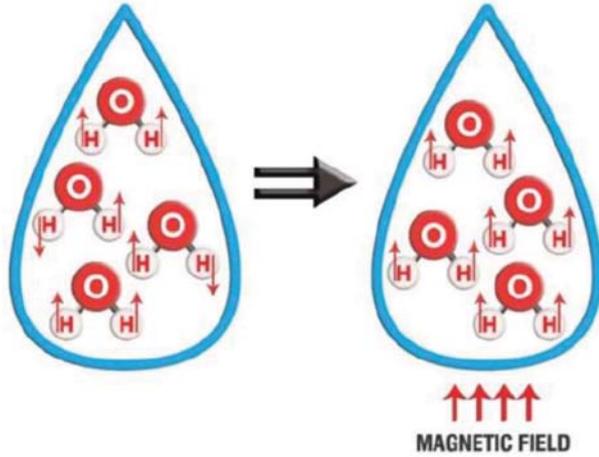
## KONSEP QUANTUM MECHANICS & NANOTECHNOLOGY



PRODUKSI GREEN HYDROGEN  
DENGAN GRAPHENE  
OXIDE ACTIVATED CARBON  
NANOPARTICLE



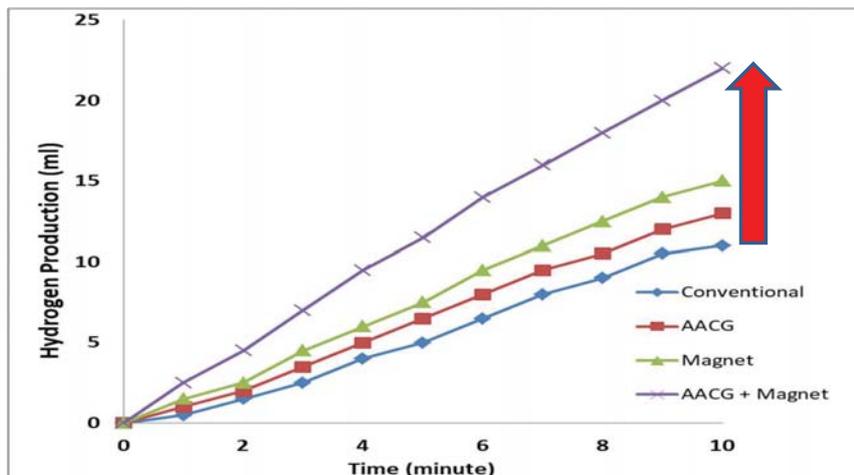
## PERAN MAGNET MENGUBAH SPIN PROTON H PADA AIR SEHINGGA IKATAN COVALENCE MELEMAH



Pauli's Exclusion Principles membuat H lepas dari O karena spin proton nya sama

Tidak boleh ada dua quantum particle fermion (spin proton) ada dalam keadaan quantum yang sama

## PENINGKATAN HASIL PRODUKSI HYDROGEN HIJAU



## PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN LAIN



Table 1. Hydrogen Production With Magnets

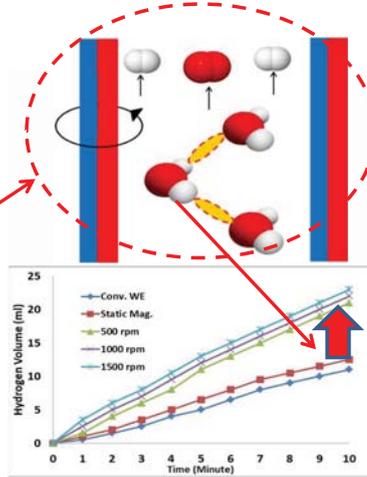
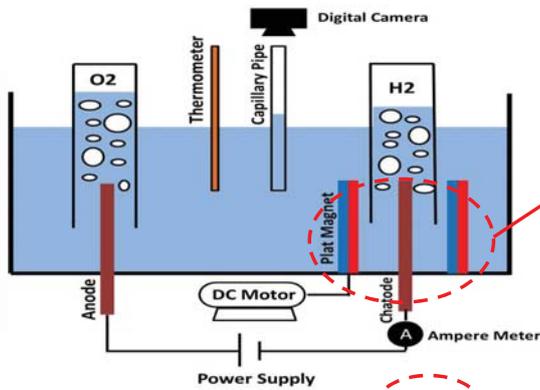
Magnetic strength	Supplement	Electrolyte	Electrodes	Power supply	Time (minutes)	H2 Total	Reference
500 mT	FL Up	KOH	Graphite and High Carbon steel	4	115	150 ml	[23]
500 mT	FL Down	KOH	Graphite and 316L Low Carbon steel	4	115	120 ml	[17]
45,7 mT	-	NaCl	Graphite	10	14	6,9 ml	[24]
45,7 mT	Laser of 532 nm 184 mW	NaCl	Graphite	10	14	8,3 ml	[18]
4,5 T	6 sheets of electrode	KOH	Nickel	3	30	446 ml	[25]
43 mT	AACG, F Lorentz Up	NaCl	316L Low Carbon Steel	5	10	22,5 ml	Hasil kami

## EFISIENSI PRODUKSI HYDROGEN HIJAU DARI GRAPHENE OXIDE



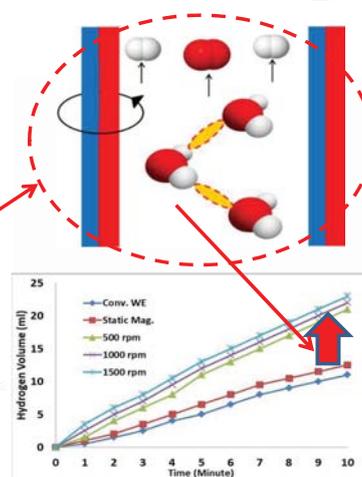
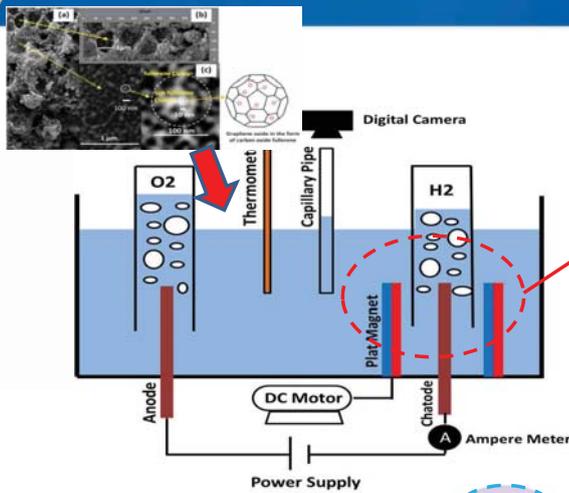
- EFISIENSI PRODUKSI HIDROGEN KONVENSIONAL DENGAN ELECTROLYSIS = **51 %**
- DENGAN GRAPHENE OXIDE DAN PARTIKEL NANO ACTIVATED CARBON, GREEN HYDROGEN YANG BISA DIPRODUKSI
  - 2.5 mL/(minute) = 0.5 J/s
  - Konsumsi daya = 0.8 Watt
  - **Efficiency = 62%**

## EFISIENSI DENGAN MEDAN MAGNET BERPUTAR



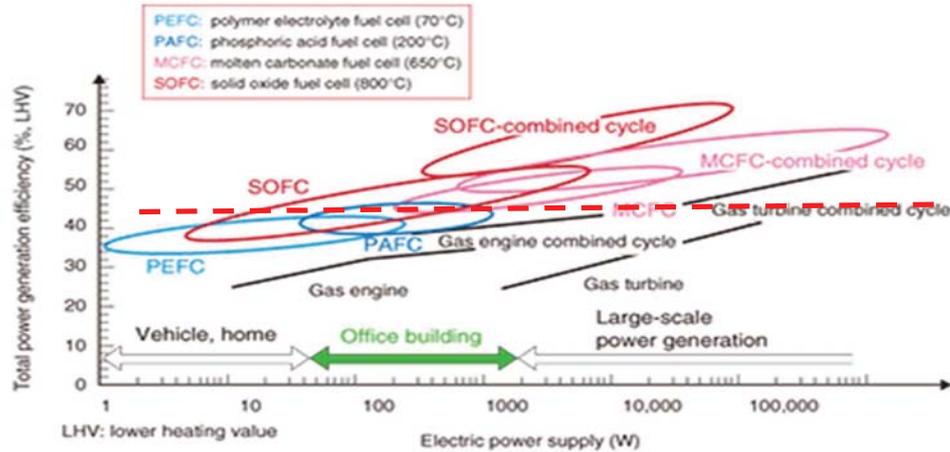
**EFFICIENCY MENCAPAI 75%**  
(Submitted to IJHE)

## MEDAN MAGNET ROTASI+GRAPHENE EFFICIENSI MELAMPAUI 85%



**EFFICIENCY MELAMPAUI 85%**  
(Submitted to IJHE)

## EFISIENSI FUEL CELL SEKITAR 50%

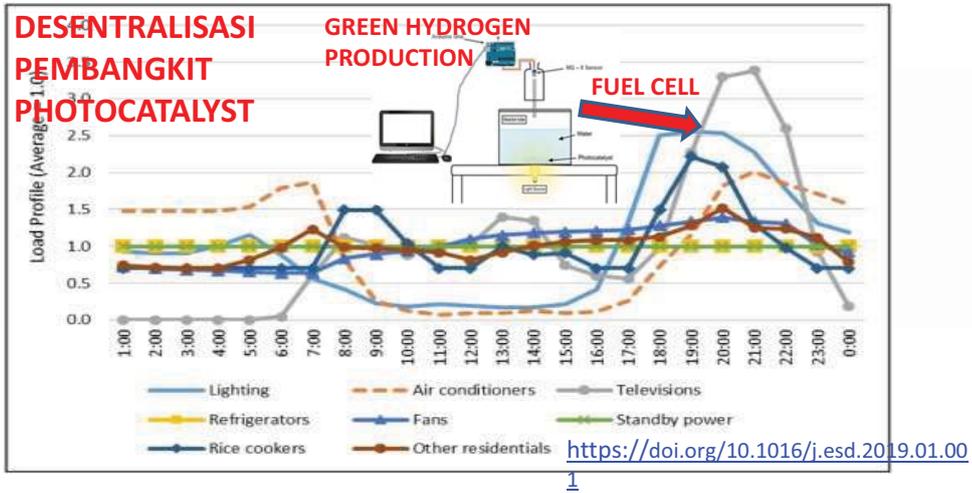


## PENGGUNAAN FUEL CELL DAN HYDROGEN HIJAU DENGAN TEKNOLOGI NANO



- HAMPIR 45% KELEBIHAN DAYA BISA DIRECOVER UNTUK BEBAN PUNCAK
- HASIL INI MENDEKATI PENYIMPAN DAYA TEKNOLOGI POMPA TURBIN DENGAN TANDON ELEVASI TINGGI YANG SANGAT MAHAL

# TEKNOLOGI PRODUKSI HYDROGEN HIJAU DENGAN FPHOTO CATALYST UNTUK BEBAN PUNCAK



# Photocatalysis Technology Untuk Produksi Green Hydrogen dengan Activated Carbon dan Serbuk Bunga Teleng

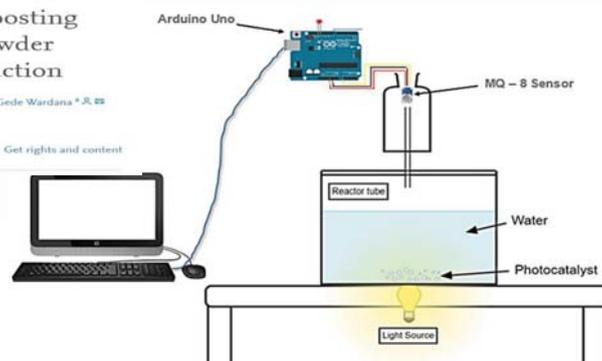


International Journal of Hydrogen Energy  
 Volume 45, Issue 43, 3 September 2020, Pages 22613–22628  
 ELSEVIER

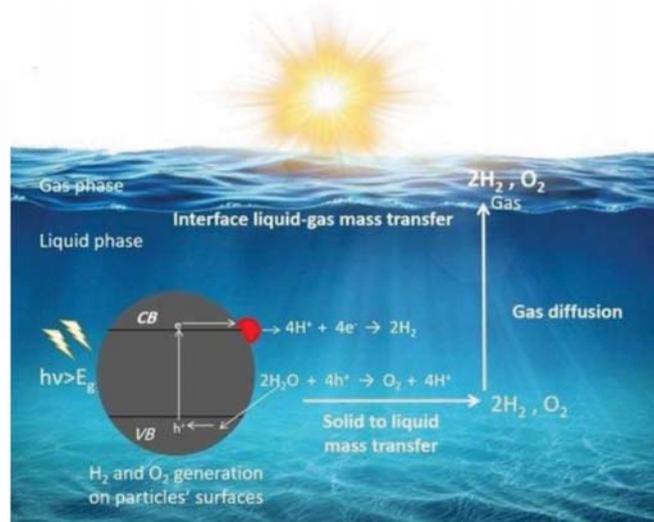
The role of activated carbon in boosting the activity of clitoria ternatea powder photocatalyst for hydrogen production

Yepy Komaril Sofri<sup>a</sup>, Eko Siswanto<sup>a</sup>, Winarto<sup>a</sup>, Toshihisa Ueda<sup>b</sup>, I Nyoman Gede Wardana<sup>a</sup>,<sup>c</sup>

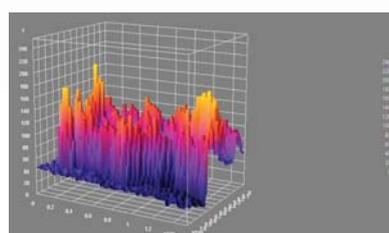
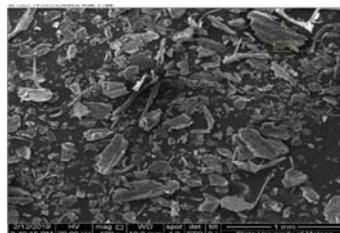
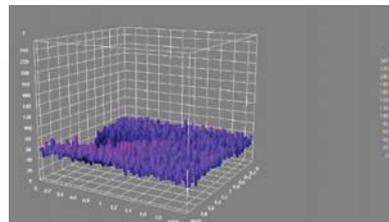
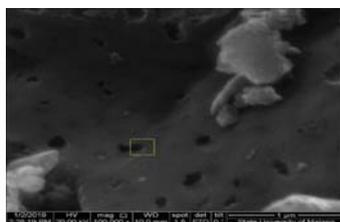
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.103>



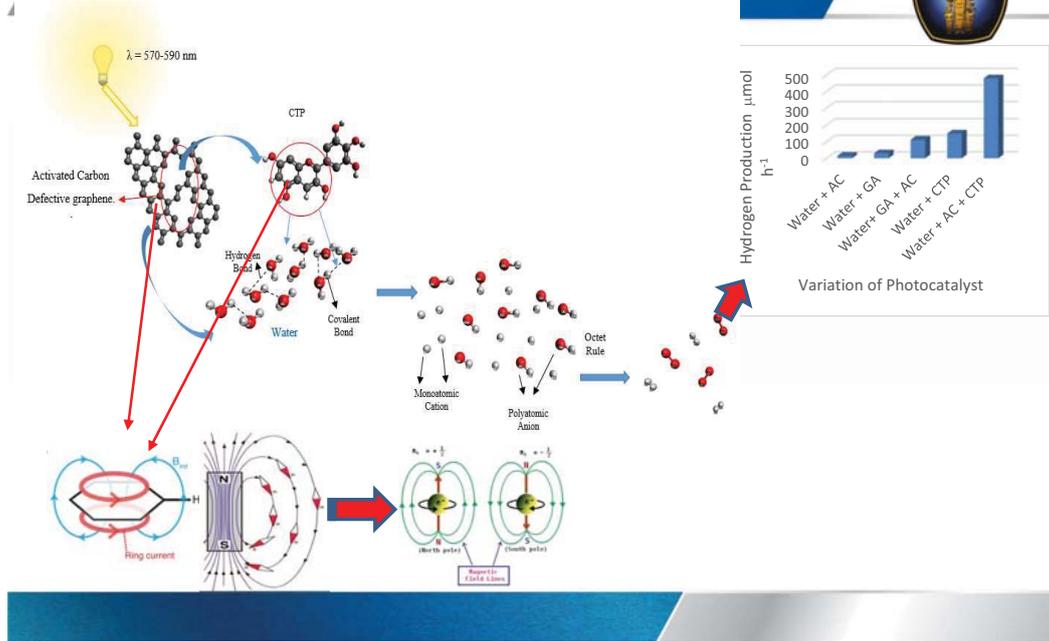
# ILUSTRASI CARA KERJA PARTIKEL PHOTOCATALYST



# PHOTOCATALYST



# KONSEP KERJA BIO PHOTOCATALYST



# PERUBAHAN ENERGI GAP BIO PHOTOCATALYST

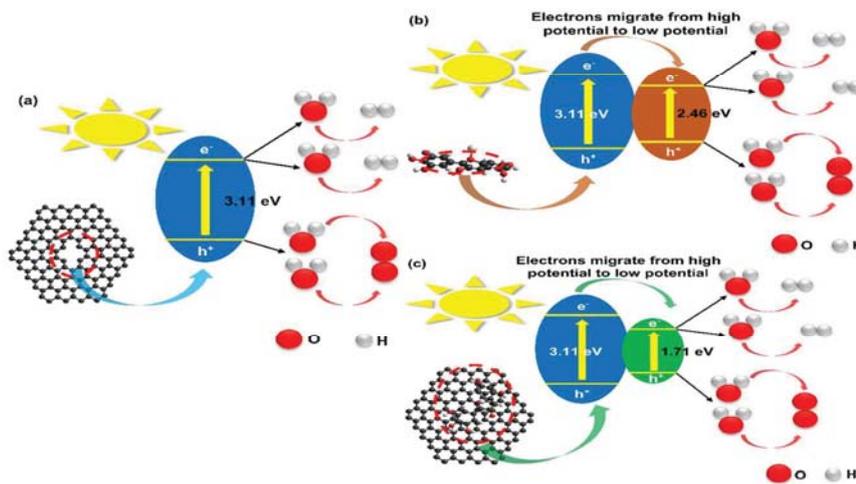




Table 4. A summary and comparison of the current results with those from previous publications.

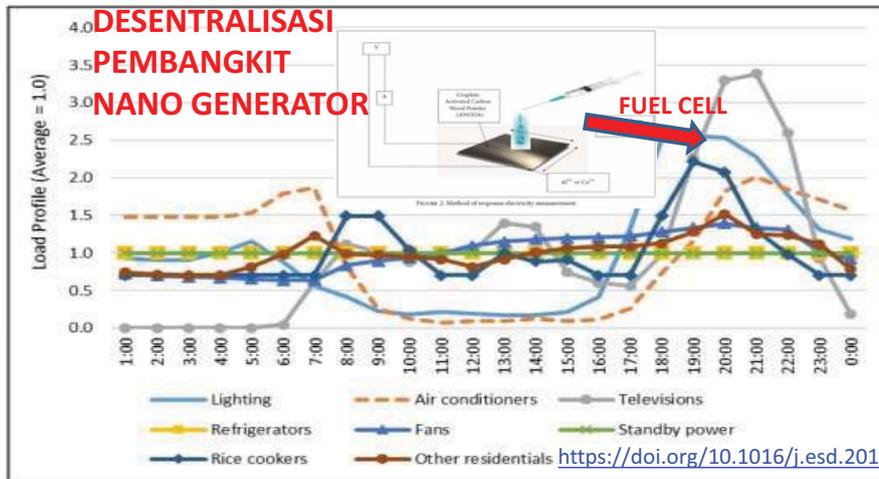
Photocatalyst	Irradiation	Hydrogen Production	References
TiO <sub>2</sub> nanoparticle, MoS <sub>2</sub> , Graphene.	350 W xenon arc lamp	165.3 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[39]
Carbon/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Visible light 190mW/cm <sup>2</sup>	410.1 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[40]
TiO <sub>2</sub> , Pt, reduced graphene oxide	Philips PL-S 9W lamp 315-400nm	700 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[41]
CdS-N doped graphene	Visible light 420nm	1200 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[42]
CdS, Pt, Coconut shell carbon nanosheets(CSC)	300 W xenon lamp	1679.5 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[34]
N doped graphene, ZnS	Solar simulator	1755.7 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[43]
CdS, WS <sub>2</sub> , graphene	350 W xenon arc lamp	1842 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[44]
Sulfonated graphene oxide- doped(SG), zincoxysulfide	UV Visible light	2100 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 700 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$	[45]
AC 7mg CTP 7mg AC 7mg, CTP 7mg AC 35mg, CP 35mg	Visible Light 398.469 nm – 633.364 nm	28 $\mu\text{mol g}^{-1}$ 302 $\mu\text{mol g}^{-1}$ 1200 $\mu\text{mol g}^{-1}$ 4666 $\mu\text{mol g}^{-1}$	Present study

## PRODUKSI HIDROGEN HIJAU DENGAN BIO-PHOTOCATALYST



- MENGHASILKAN 3 SAMPAI 10 KALI LIPAT DARI CARA KONVENSIONAL
- TEKNOLOGI INI SANGAT PROSPEKTIF DI INDONESIA

# TEKNOLOGI NANO GENERATOR UNTUK MENSUPLAI BEBAN PUNCAK



<https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.01.001>

# NANO GENERATOR menggunakan Graphite-electrode aluminum di AIR LAUT

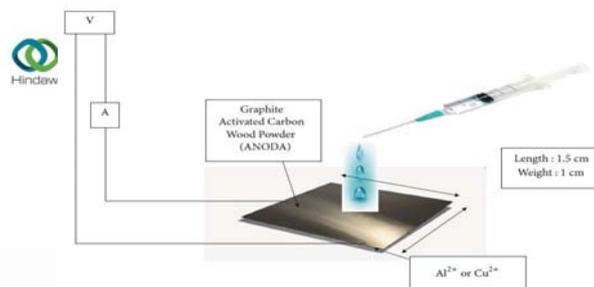


Hindawi  
The Scientific World Journal  
Volume 2019, Article ID 7028316, 12 pages  
<https://doi.org/10.1155/2019/7028316>

Research Article  
**The Role of Mineral Sea Water Bonding Process with Graphite-Aluminum Electrodes as Electric Generator**

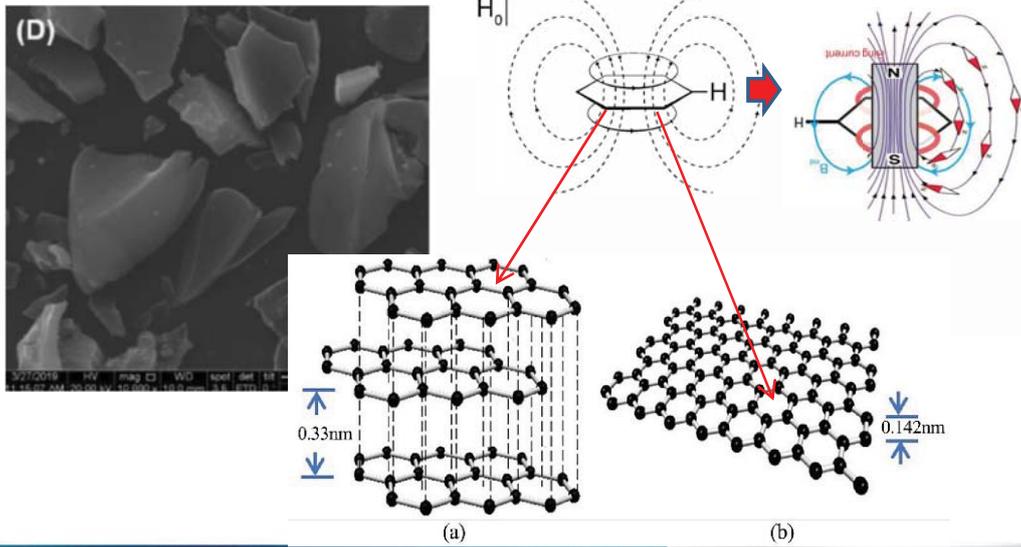
Satryo B. Utomo<sup>1</sup>, Winarto,<sup>2</sup> Agung S. Widodo,<sup>2</sup> and I. N. G. Wardana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University, Indonesia  
<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Indonesia



Hindawi The Scientific World Journal Volume 2019, Article ID 7028316, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2019/7028316>

# SERPIHAN KARBON MERUPAKAN SUSUNAN GRAPHENE DENGAN CINCIN-CINCIN AROMATIC BERMAGNET



# KONSEP Quantum Mechanics dan Nanotechnology

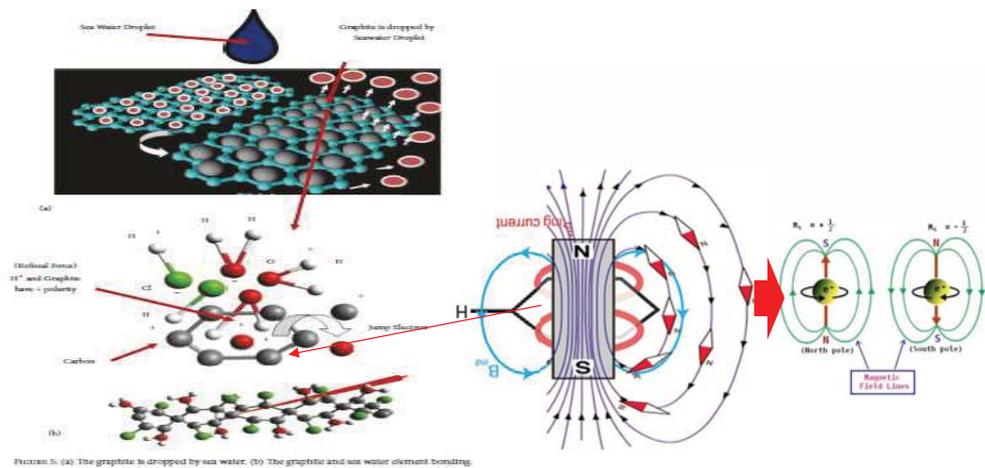
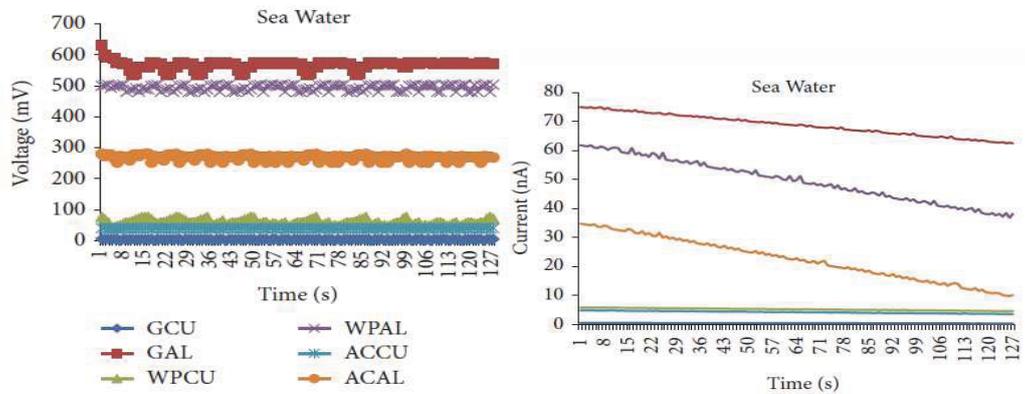


FIGURE 5: (a) The graphite is dropped by soap water, (b) The graphite and soap water element bonding.

## POWER YG DIBANGKITKAN

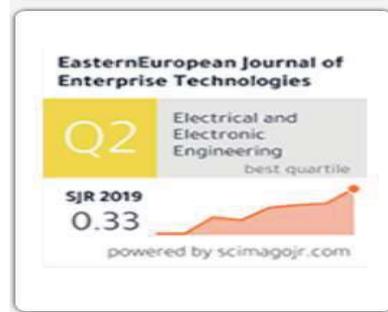
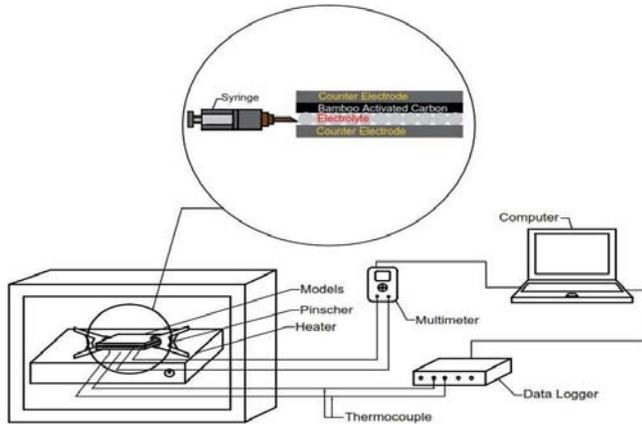


## PROSPEK MASA DEPAN



- Tiap 1mm droplet air laut memproduksi 43000 picoWatt
- 1m<sup>2</sup> elektroda setebal 0.2 mm memproduksi listrik 50 watt
- Susunan elektroda seluas 1m<sup>2</sup> dengan ketebalan 4 mm Ketika dibenamkan di air laut mampu memproduksi listrik 1 KW

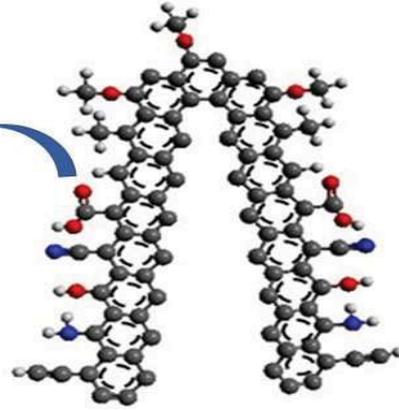
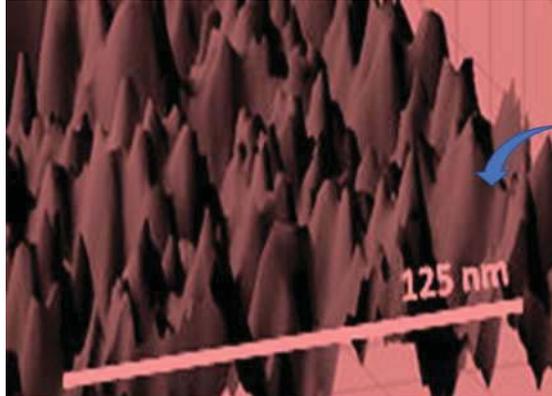
# NANO GENERATOR MENGGUNAKAN ELEKTRODA KARBON AKTIF NANO BAMBU (DIPUBLIKASI DI EEJET)



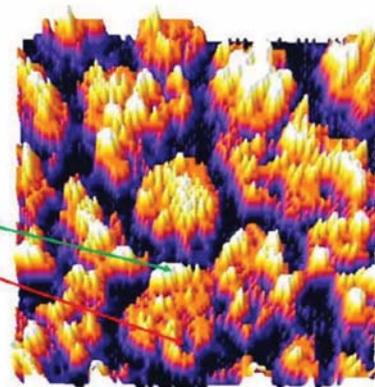
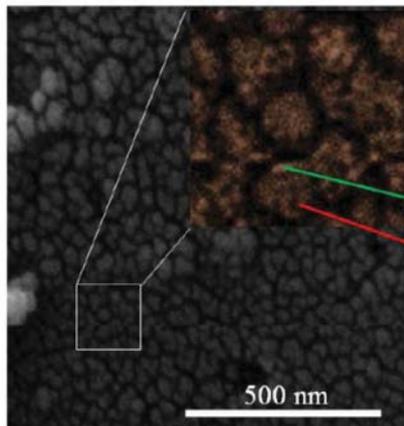
# PEMBUATAN PARTIKEL NANO BAMBU



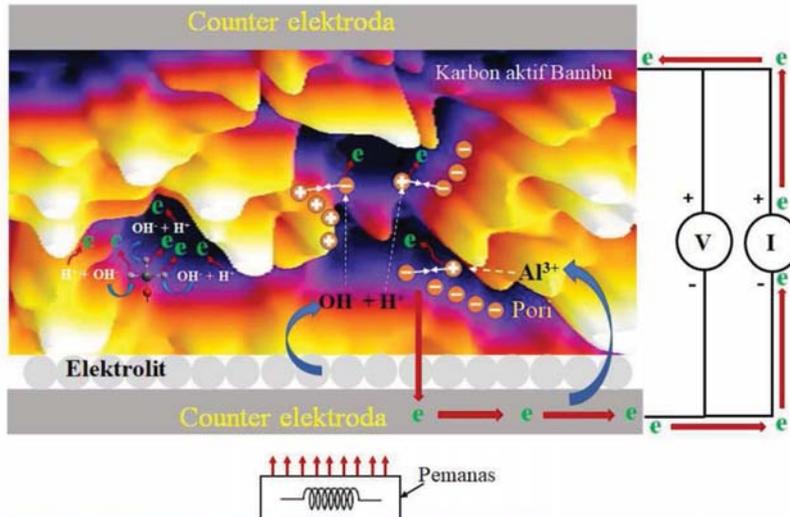
## FUNCTIONAL GROUPS PADA PERMUKAAN STRUKTUR KARBON AKTIF NANO BAMBU



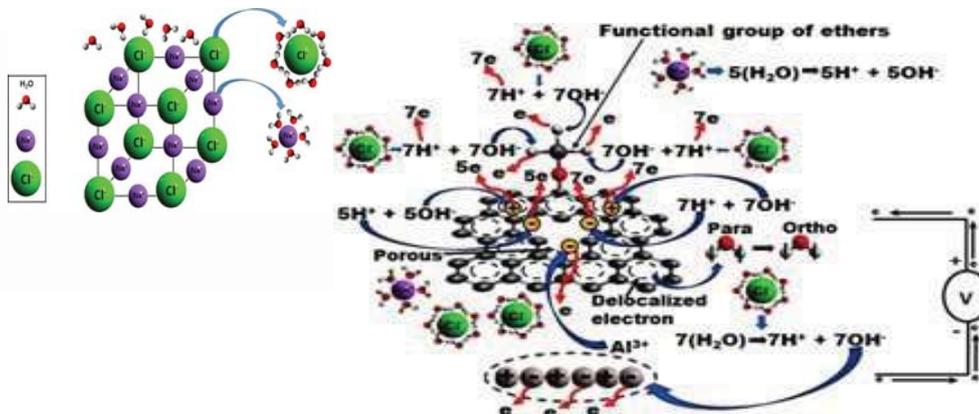
## MUATAN LISTRIK: PUNCAK PILAR NANO BERMUATAN POSITIF, DASAR KARBON AKTIF BERMUATAN NEGATIF

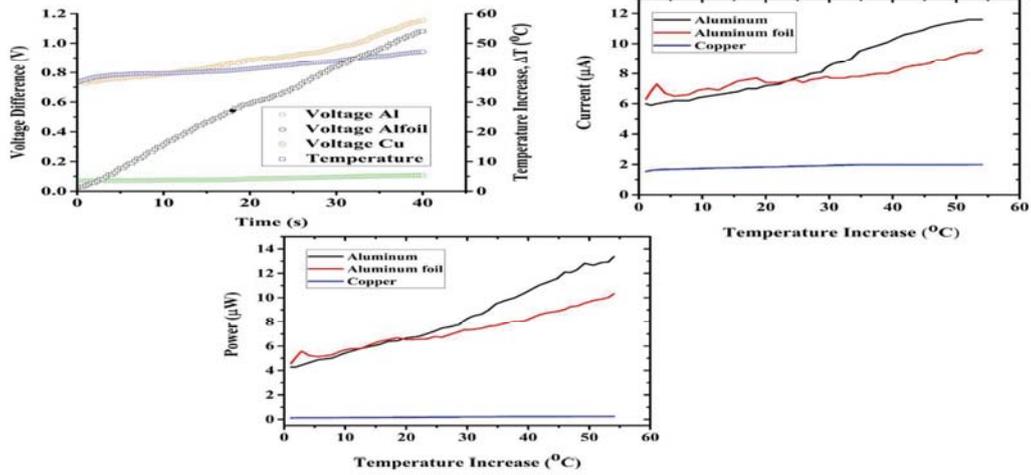


# MEKANISME PEMOMPAAN ELEKTRON DALAM PEMBANGKIT NANO



# ELECTRO DYNAMICS pada Nano Bamboo Activated Carbon





## HASIL DARI PEMBANGKIT LISTRIK KARBON AKTIF NANO BAMBU



- PEMBANGKITAN DAYA DENGAN TEKNOLOGI INI SERIBU KALI LEBIH BESAR DARI NANO GENERATOR GRAFIT DENGAN AIR LAUT
- TEKNOLOGI INI SANGAT POTENSIAL UNTUK NANOGENERATOR

## PENUTUP



- TEKNOLOGI NANO GENERATOR DAN GREEN HYDROGEN SANGAT MENJANJIKAN UNTUK MENGATASI KEBUTUHAN LISTRIK DI TAHUN 2045 MELALUI DESENTRALISASI PEMBANGKIT LISTRIK DAN HIDROGEN DARI AIR LAUT
- MENGELOLA KELEBIHAN DAYA DAN MENGEMBALIKANNYA KE BEBAN PUNCAK MELALUI TEKNOLOGI PRODUKSI GREEN HYDROGEN DARI AIR LAUT MENGGUNAKAN TEKNOLOGI NANO DALAM JANGKA PENDEK SEABNDING DENGAN TEKNOLOGI WADUK AIR ELEVASI TINGGI DENGAN SISTEM PUMPA/TURBINE. DALAM JANGKA PANJANG TEKNOLOGI INI AKAN JAUH LEBIH UNGGUL



## FAST TRIMARAN PASSENGER SHIPS FOR THE ARCHIPELAGO REGIONS

### SEMINAR NASIONAL ARCHIPELAGO ENGINEERING (ALE)

*"Inovasi Teknologi Pengembangan Wilayah Kelautan-Kepulauan  
Dalam Era Normal Baru"*

FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PATTIMURA AMBON

WOLTER R HETHARIA

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF ENGINEERING – PATTIMURA UNIVERSITY, AMBON

*Seminar Nasional Archipelago Engineering – ALE, - Selasa, 6 Juli 2021*



## FAST TRIMARAN PASSENGER SHIPS FOR THE ARCHIPELAGO REGIONS



### 1. INTRODUCTION

- ▶ Global marine transportation play an importance role in the archipelago regions to connect the islands → developing the nations
- ▶ The typical archipelago regions : many small islands with low passenger rate



Eastern Indonesia



Riau Archipelago



Philippine Archipelago



Solomon Archipelago

- ▶ Others .....

*Seminar Nasional Archipelago Engineering – ALE, - Selasa, 6 Juli 2021*

*Page 3 of 23*



## 1. INTRODUCTION

- ▶ The typical archipelago regions :
  - ▶ Low passenger rate due to small island residents,
  - ▶ Worse sea conditions with high waves and winds,
  - ▶ There a lot of marine accidents, uncomfortable ridings, seasickness, trip cancellation.
  - ▶ The need of fast passenger transport to reduce the travel time, etc.



## 1. INTRODUCTION

- ▶ The operation of monohull ships in the archipelago regions isrestricted for some reasons
- ▶ The existence of trimaran ships with certain advantages will helpfull
- ▶ The first modern trimaran was launched by British Navy, the research vessel RV Triton → embryo for the modern Trimaran ships





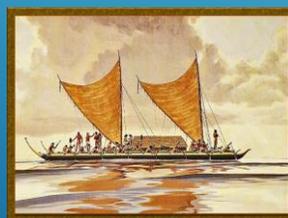
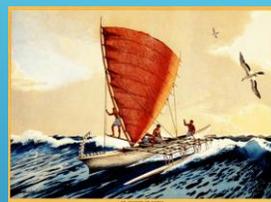
## 2. STATE OF THE ART

- ▶ 2.1 The Origin of Trimaran
- ▶ The design and names for the Trimaran components are derived from the original *proa* constructed by native *Pacific Islanders*.
- ▶ The first Trimaran was built by indigenous *Polynesians* almost 4000 years ago.
- ▶ According to Definition (Wikipedia): A *Trimaran* is a *multihull boat* consisting of a *main hull (vaka)* and two smaller *outrigger hulls (amas)*, attached to the main hull with lateral struts (*akas*).



## 2. STATE OF THE ART

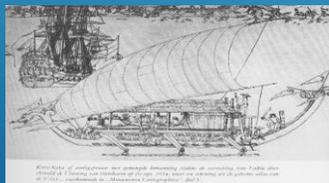
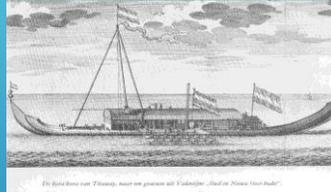
- ▶ 2.1 The Origin of Trimaran
- ▶ The *Original Pacific Trimaran*.





## 2. STATE OF THE ART

- ▶ 2.1 The Origin of Trimaran
- ▶ The **Original Moluccas Trimaran.**
- ▶ Its name is Kora-Kora
- ▶ Function: transport passengers cargo, special task and marine combat



## 2. STATE OF THE ART

- ▶ 2.2 The Existing Traditional Trimaran
- ▶ The Indonesia Trimaran → Small fishing boats



- ▶ The Philippine fishing and leisure boats





## 2. STATE OF THE ART

- ▶ 2.3 The Existing Modern Trimaran
- ▶ Passenger-Car Ferry Trimaran



- ▶ Leisure Trimaran Vessels



- ▶ Others



## 2. STATE OF THE ART

- ▶ 2.3 *What is missing in the development of trimaran ships?*  
→ *fast Passenger Trimaran to operate in the Archipelago Regions”.*

The archipelago regions are selected for the reason:

- ▶ The place where the traditional trimaran boats was born and operated
- ▶ The need of fast passenger transport (short travel time) in the archipelago regions
- ▶ Small payload due to the low-rate of travel passengers
- ▶ Worse sea conditions with high waves and wind in certain period
- ▶ The need high stability vessels with performance and good seaworthiness.



### 3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN

#### 3.1. The Design Concept

- ▶ The design procedures was fulfilled as requirements in ship standart ship design
- ▶ 2 options to overcome the worst sea condition in the archipelago region
  - The ships configurations are greater than the waves → but there is low payload → this is not feasible
  - *Small ship that run through the waves → Wave Piercing Trimaran*  
*The wave piercing trimaran can be performed in the big waves due to its low impact of wave pressures on the hull.*
- ▶ A design concept was introduced by the author which is *Small Waterplane Area-Wider Deck (SWA-WD)*. This concept was introduced in order to reduce the resistance while the stability parameters are satisfy the rules
- ▶ Those concepts are used during design process !



### 3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN

#### 3.2 Advantages and Weakness of Trimaran.

*The advantages of Trimaran Ships are:*

- ▶ *Longer and slender center and side hulls* cause low resistance and to increase the performance of propulsion systems, increase speeds or low fuel consumption.
- ▶ *Larger deck area to provide the spaces* for passenger accommodations, cars, cargoes and special tasks.
- ▶ *Better operation performance* in calm and rough seas
- ▶ *Higher initial transverse stability (GMT)* due to the contribution of side hulls
- ▶ *Better stability* to operate at calm and rough seas.
- ▶ *Lower resistance in waves or low impact of wave pressures on the hull*

**3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN****3.2 Advantages and Weakness of Trimaran.**

*The weakness Trimarans are described as follows:*

- ▶ Wider beam, **larger transversal bending moment** acting on the side hulls
- ▶ **Greater WSA** which contributes for greater frictional resistance and ship motions
- ▶ **Wider beam** which is difficult for docking and entering ports and narrow channels
- ▶ **Narrow engine room** which is difficult to arrange the main engine
- ▶ **High construction cost** at the same payload compared to its counterpart of monohull

**3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN****3.3. Results of Design Trimaran Multi-Function**

- ▶ Trimaran Multi-Function: Fishing Boats and Passenger Transport at restricted route, Material FRP, Dimension 2 GT and 4.5 GT, Hull form SWA-WD



Table 1. The Parameters of Small Multipurpose Trimaran Fishing Boats

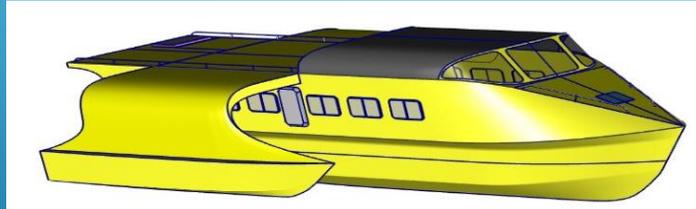
No	Parameter of Vessel	2 GT	4.5 GT	Unit
1	Length overall, $L_{OA}$	9.80	10.84	m
2	Beam, B	0.80	0.90	m
3	Beam maximum, $B_{max}$	1.10	1.10	m
4	Breadth overall, $B_{OA}$	4.06	4.65	m
5	Draft, d	0.50	0.60	m
6	Deck height, H	0.85	0.90	m
7	Payload	0.80	1.20	tons
8	Total weight	2.87	4.02	tons
9	Prime mover (out board)	25	40	hp
10	Service speed	12.5	11	knots
11	Autonomy	50	50	n.m
12	Passenger accomodation	Small deckhouse	Small deckhouse	



### 3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN

#### 3.4. Results of Design Trimaran Passenger Capacity 25 pax

- ▶ Passenger Trimaran, type Wave Piercing, Hull form SWA-WD, Material FRP



➤ Capacity	: 25 passengers	Crew	: 3 persons
➤ Autonomy	: 75 n.m	Service speed	: 15 to 20 knots
➤ Service speed	: 15 – 20 knots	Hull material	: FRP
➤ Propulsion power	: 160 to 200 hp (outboard engine)		
➤ Length Overall	: 11.12 m	Deck beam	: 2.24 m
➤ Beam of waterline	: 1.50 m		
➤ Draft	: 0.60 m	Deck height	: 2.35 m



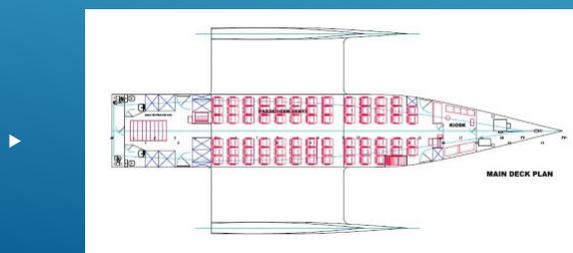
### 3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN

#### 3.4. Results of Design Trimaran Passenger Capacity 75 pax

- ▶ Passenger Trimaran, type Wave Piercing, Hull form SWA-WD, Material Aluminum



Lines Plan



Generall Arrangement

### 3. THE APPLICATION OF PASSENGER TRIMARAN

#### 3.4. Results of Design Trimaran Passenger Capacity 75 pax

- ▶ Passenger Trimaran, type Wave Piercing, Hull form SWA-WD, Material Aluminum

##### Design Specifications

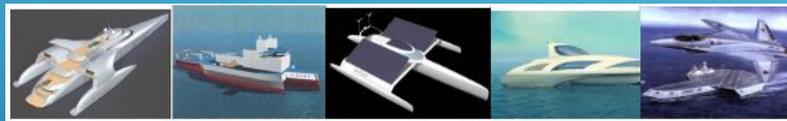
###### A. Principal Dimensions

- ▶ 

• Length Overall $L_{OA}$	: 27.23 m	Breadth maximum $B_{max}$	: 12.38 m
• Breadth of WL (CH) $B_{WL}$	: 3.60 m	Breadth of Deck (CH) $B_{deck}$	: 4.37 m
• Draft (centre hull) T	: 1.20 m	Deck height H	: 2.40 m
• Length of outriggers $L_{out}$	: 11.84 m	Breadth of outriggers $B_{out}$	: 0.70 m
• Engine type	: MAN V12-1360 CRM	Quantity	: 2 units
• Engine output	: 1360 hp (1000 kW)	Service speed	: 30 knot
• Capacity of passenger	: 75 passengers	Number of crews	: 5
• Maximum distance	: 150 nautical mile		
• Classifications	: Bureau Veritas	Framing system	: Longitudinal
• Hull material	: Marine Aluminium Alloy (ALU 5083-H312 (S&P))		

### 4. FUTURE APPLICATION OF TRIMARAN VESELS

- ▶ Some applications of future works include mega-yacht, aircraft carrier, workboat (OSH = Oil Spill Harvester) and solar powered boat

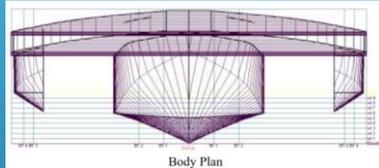


- ▶ Potential application in Archipelago Regions including: tourist boat, patrol boat, hospital ships, etc.
- ▶ An intensive research work is executing by the author and his team concerning the trimaran Patrol Boat

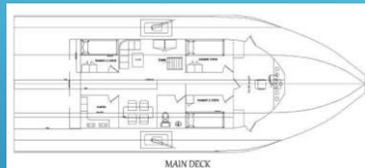


#### 4. FUTURE APPLICATION OF TRIMARAN VESELS

- ▶ An intensive research work is executing by the author and his team concerning the trimaran Patrol Boat



The Lines Plan



The General Arrangement

The configuration of the boat are:

- Length overall,  $L_{OA}$  : 18.40 m
- Maximum beam,  $B_{max}$  : 7.00 m
- Deck height,  $H$  : 2.50 m
- Operation range : Central Moluccas water
- Breadth main hull,  $B_{MH}$  : 3.00 m
- Draft,  $T$  : 1.00 m
- Speed,  $V_s$  (optional) : 25 knots



#### 5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

##### 5.1 Conclusion

- ▶ The contribution of passenger trimaran ships is still not exist in the archipelago regions. The effort have been made by the author and his research team by introducing some particular ship configurations.
- ▶ The design concept of *Wave Piercing Trimaran* and hullform of Small Waterplane Area-Wider Deck (SWA-WD) was introduce by the author in design process. However, some future works should be performed to validate the design concept for future application.
- ▶ The design process ended-up the real trimarans multi-function that had been operated. Meanwhile, three trimaran ships has been developed with design blue print for the next building process. The design specification are provided for three passenger trimarans.



## 5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

### 5.2 Recommendation

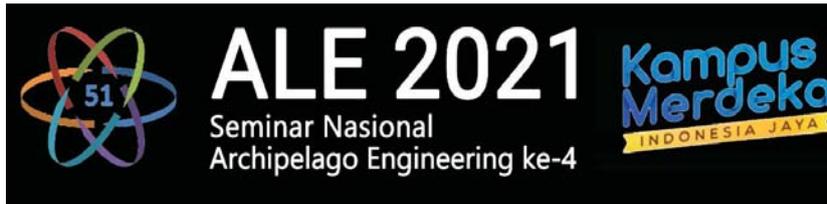
- ▶ It is recommended that the results of design concept should be tested in the towing tank in order to validate several design parameters before preparing for ship building.
- ▶ The results of preliminary concept design of SWA-WD and Wave Piercing Trimaran were the first step of the whole design project. It still need more efforts, time, financial contribution to complete the project.



## 4. PENUTUP

**THANK YOU FOR YOUR ATTENTION**

**[hethariawr@yahoo.com](mailto:hethariawr@yahoo.com)**



## Inovasi Teknologi Bagi Pengembangan Wilayah Kelautan Kepulauan Dalam Era Normal Baru



OPTIMALISASI DIMENSI TRANSPORTASI LAUT BERBASIS POTENSI EKONOMI WILAYAH PULAU

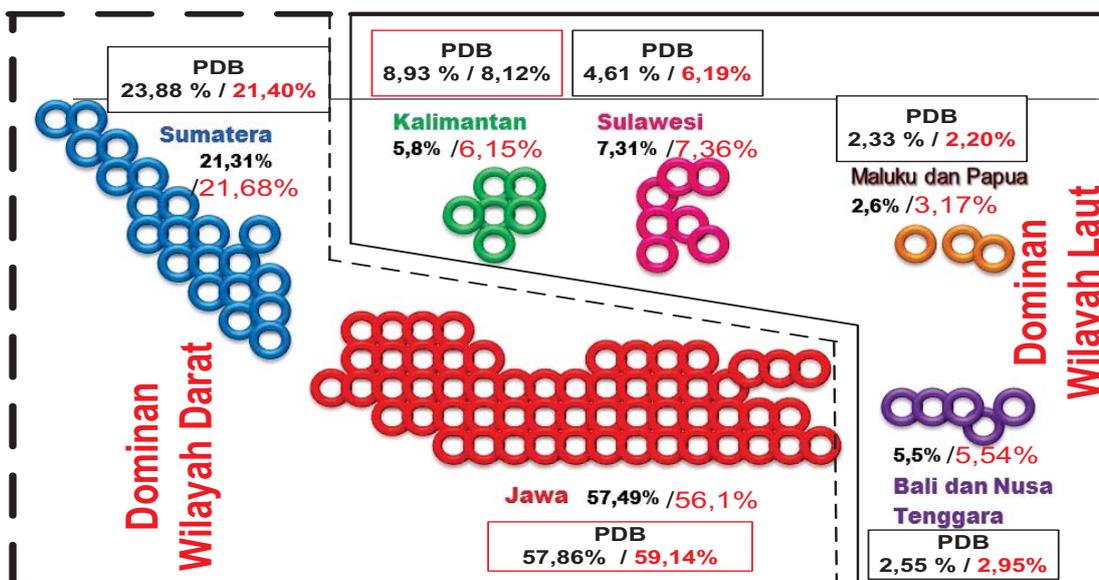
*Suatu model pendekatan ekonometrika*

**Marcus Tukan**

**Profesor Maritim Transport Universitas Pattimura**

Ambon 6 Juli 2021

Geo Transport Sebaran Penduduk dan PDB Tiap Pulau di Indonesia  
*hasil sensus 2010 dan 2020*



Sumber : Marcus Tukan, 2017. Transportasi Kepulauan Dalam Mendukung Tol Laut Penerbit Polimedia Publishing, ISBN. 978-602-6372-11-6.

# Problem GEOTRANSPORT WILAYAH PULAU Di INDONESIA

## 1. Konektivitas antar *pulau* antar *moda*

Fenomena Transportasi Kepulauan  
(sulit-mahal-tidak ada muatan-tidak ada kapal)



## 2. Load Factor ( $L_f$ ) alat angkut

> 65 Ekonomis

< 65 Tarip carter

## 3. Kelangkaan berbagai kebutuhan masyarakat

## 4. Terjadinya Ekonomi biaya tinggi

# OPTIMALISASI DIMENSI TRANSPORTASI LAUT

## TUJUAN

Menentukan dimensi alat angkut yang optimal untuk meningkatkan kinerja transportasi dalam mendukung pembangunan ekonomi

Memperkaya referensi / cetak biru DOKUMEN KEBIJAKAN yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah maupun pusat dalam penataan pembangunan pada sektor transportasi kepulauan di Indonesia

Menentukan *dimensi transport* vs *potensi muatan* pada wilayah kepulauan untuk meningkatkan efisiensi transportasi

Dengan mengatur pola pelayaran kapal, dapat meningkatkan efisiensi yang berdampak pada penghematan biaya operasional kapal, meningkatkan provit perusahaan dan mampu menekan biaya angkut sehingga berakibat pada naiknya daya beli masyarakat pada sektor transportasi di pulau-pulau



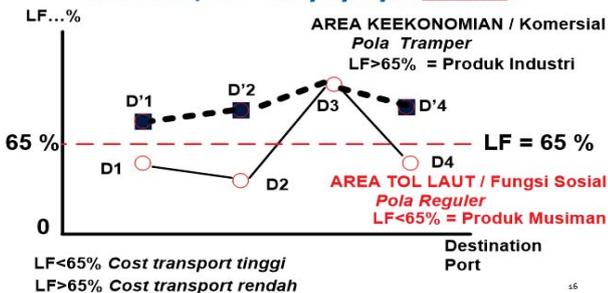
KMP. Bobot Masiwang



KMP. Marsela

KINERJA KEEKONOMIAN PENGOPERASIAN KAPAL WILAYAH KEPULAUAN (hasil riset di wilayah Maluku 2017)

$n$   
 $Cost\ transport = f(L, T, R, Q_{muatan})$

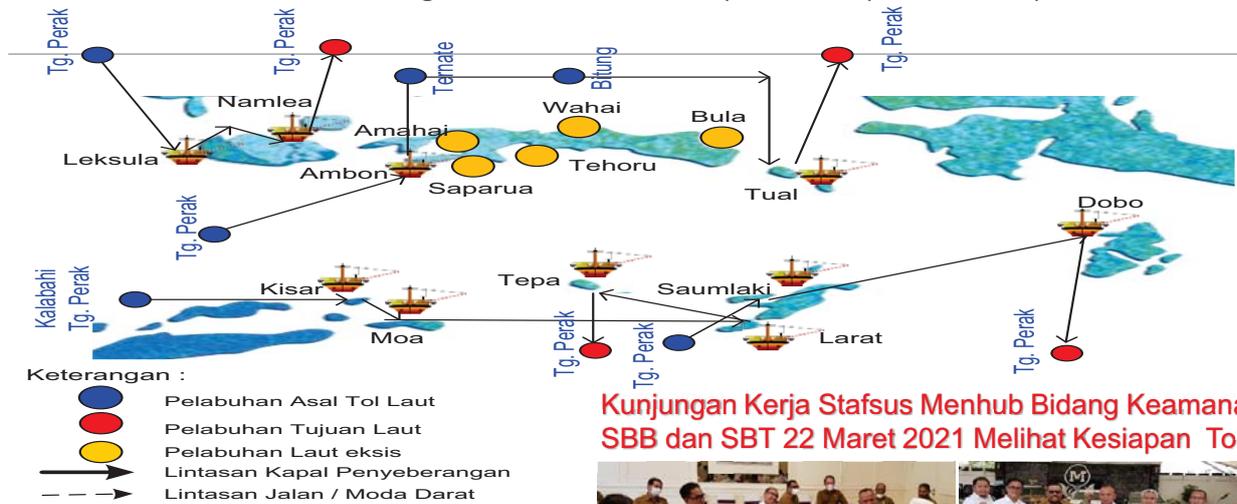


PEMODELAN INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI BERBASIS POTENSI EKONOMI WILAYAH



# PETA RENCANA TOL LAUT KEPULAWAN MALUKU TA-2021

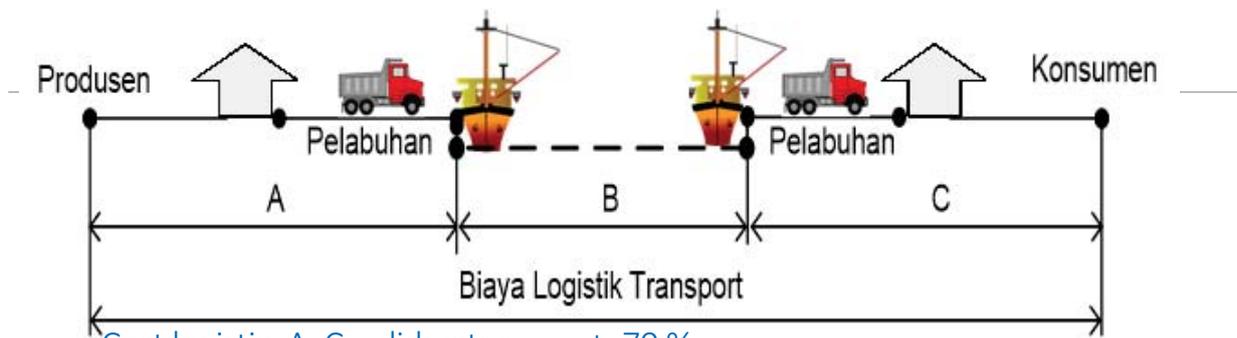
sumber : Studi Angkutan Penyeberangan sebagai Feeder Tol Laut Kerjasama LITBANGHUB RI dengan Pusat Studi Transportasi Kepulauan Unpatti 2020



Kunjungan Kerja Stafus Menhub Bidang Keamana ke SBB dan SBT 22 Maret 2021 Melihat Kesiapan Tol Laut



## Logistik Cost Transportasi Wilayah Kepulauan Maluku



Cost logistic A, C = didaratan = ± 70 %  
 B = dipelayaran = ± 20 % - 30 %

sumber : hasil penelitian "Peran Transportasi Dalam Penurunan Biaya Logistik Wilayah Kepulauan Maluku, PNDP Fakultas Teknik UNPATTI, 2019"

$$\eta_{C\_Logistik} = f(C_{all}, Q_{muatan}, K_{-B/M}, PDRB_{Sektoral}, \text{faktor eksternal})$$

6 Rabu  
28 Agustus 2013  
**OPINI**  
Maritime Highway Solusi Mengatasi Kepadatan Ambon Sebagai Ibu Kota Provinsi Maluku

**atut**  
i?  
alu untuk  
e Makariki,  
jagai pihak  
da dari Am-  
luburur,  
sanganakan  
Makariki,  
-langkahi  
lu akhirnya  
ri berbagai  
an ibukota  
ID. Siwalima  
4. tentang  
in (3) serta  
at (5) maka  
PRD.  
eharungnya  
an apasial  
ustru tidak  
gakakakan,  
endali bagi  
di kawasan  
ur tersebut  
rison P2CH-  
aminidahan  
-ubupaten/  
luu masih  
garan untuk  
kan untuk  
erorientasi  
arakat dan  
ota itu tetap  
ang rentang  
khususnya  
ikan pusat  
Kota Ambon  
g memiliki  
yasan untuk  
ah relokasi  
laji secara  
akuh akan  
ng ada-tian  
ota provinsi  
han ibukota  
penunjang

Polemik seputar relokasi ibu kota provinsi Maluku menimbulkan pro dan kontra hal ini mengakibatkan semakin kritis dan cerdasnya masyarakat Maluku dalam menilai berbagai kebijakan pembangunan yang di gagas pemerintah daerah maupun pemerintah pusat dalam menjawab tantangan kewilayahan. adalah satu isu sensitif dan rencana relokasi ibu kota provinsi Maluku adalah semakin terbatasnya daya dukung pulau Ambon sebagai ibu kota Provinsi Maluku. Sebagai ibu kota provinsi secara otomatis akumulasi berbagai aktivitas baik itu pemerintahan, ekonomi & perdagangan, pendidikan, pariwisata dan pemukiman akan membuat menjadi satu mengakibatkan daya dukung pulau Ambon semakin terbatas hal ini mendorong pemerintah untuk menemukan solusi terbaik dalam menghubungkan ibu kota provinsi Maluku kelepulauan. Antara Relokasi Ibu Kota Provinsi Maluku ke Makariki dan pembangunan Tol Laut (Maritime High Way) untuk menghubungkan pulau-pulau dapat dijadikan solusi untuk mendukung pulau Ambon sebagai kota Provinsi Maluku dengan demikian pemertanian, Serani dan Pulau Ambon juga berdampak terhadap pertumbuhan ekonomi pulau Haruku dan Pulau Saparua yang berujung pulau tengah-terengah tetapi kini kedua pulau tersebut sudah tergilas Provinsi bisa terjadi secara alami menurut skenario waktu dengan reformasi sosial yang berubah secara pasti namun tidak menimbulkan konflik.

Dari sisi pembayaaan diperkirakan biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan Maritime High Way jauh lebih murah jika harus membangun infrastruktur ibu kota baru serta dapat memberikan dampak yang besar terhadap aksesibilitas masyarakat dan ekonomi yang ditimbulkan. Dengan Maritime High Way waktu tempuh Ambon-Maluku dapat dipangkas serta dapat diakses setiap waktu tanpa dipengaruhi oleh cuaca dan gelombang laut yang buruk seperti terlihat pada table dibawah ini :

MODEL PENGEMBANGAN KOTA PROPINSI MALUKU	COST	AKSESIBILITAS ANTAR PULAU	SELUPTA YEREFTEK EKONOMI
RELOKASI IBU KOTA	Sangat besar	Dibatasi waktu dan musim	Hanya Ambon & Serani
MARITIME HIGH WAY	Cukup besar	Dapat di akses 15-24 jam x 365 hari tanpa terhalangi musim	Haruku-Saparua dapat dikembangkan Pariwisata Pulau



Ketika Menjawab Pertanyaan Wartawan ttg Tol Laut di damping Menteri Perhubungan RI

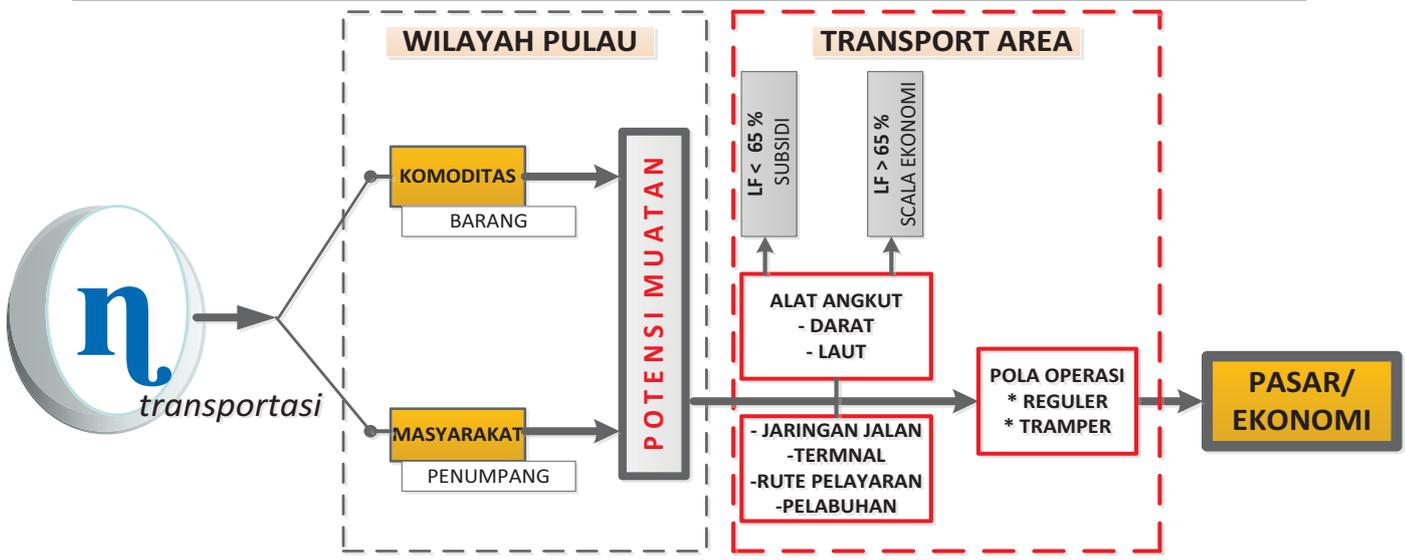


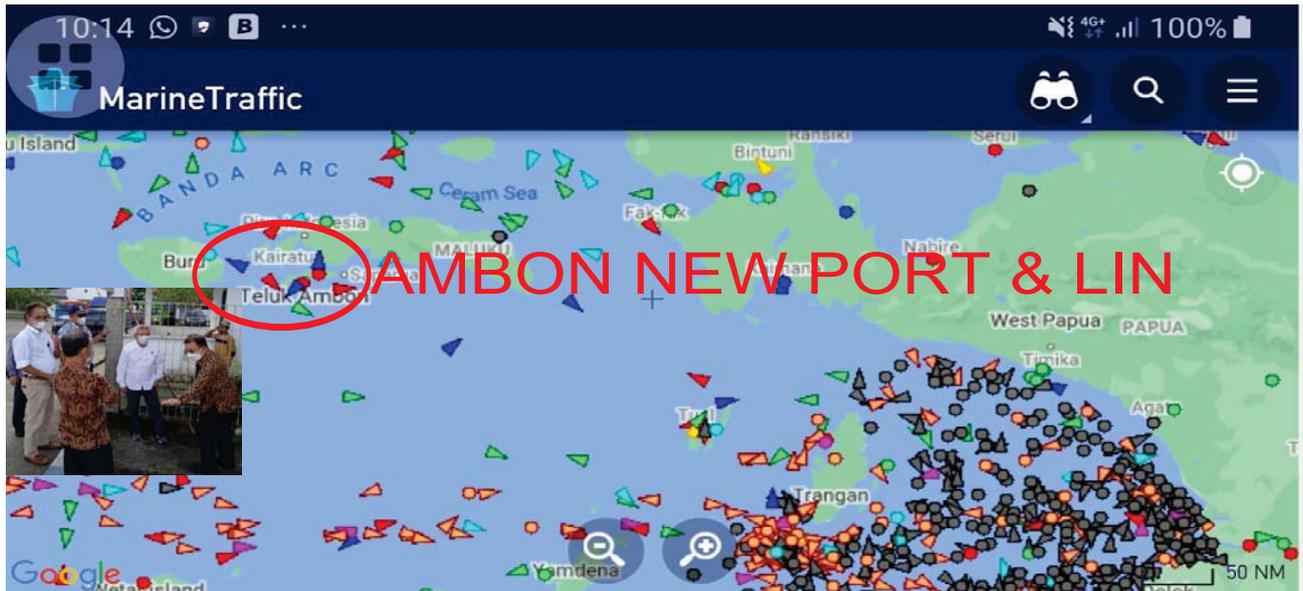
Konsep **Tol Laut** pertamakali digulirkan oleh Marcus Tukan  
Harian pagi SIWALIMA  
Rabu, 28 Agustus 2013



- Intinya :
- 1). Tol Laut jawaban terhadap tantangan kewilayahan
  - 2). Konektivitas, Kontinuitas & Pertumbuhan Ekonomi

**Model Transportasi & Ekonomi Berbasis Potensi Wilayah Pulau (Hasil SWOT)**





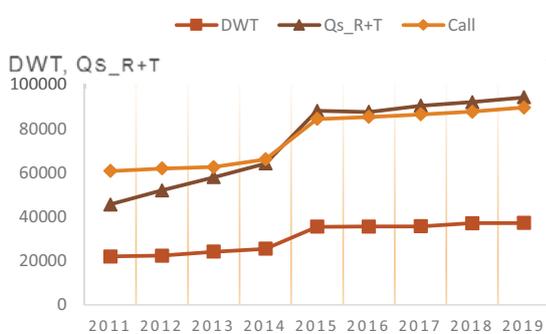
# AMBON NEW PORT & LIN

Keterangan :

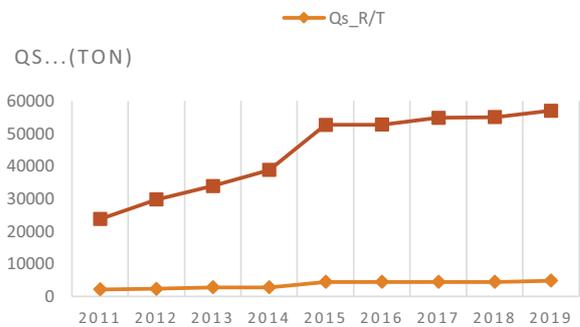
- ▶ Kapal Ikan
- ▶ Kapal Penumpang
- ▶ Kapal Barang
- Kapal Tanker

Sumber : Marine Traffic, Sabtu 4 Juli 2021, jam 10.20 WIT

## Data Kinerja Transportasi di Pelabuhan Berbasis Pola Pelayaran



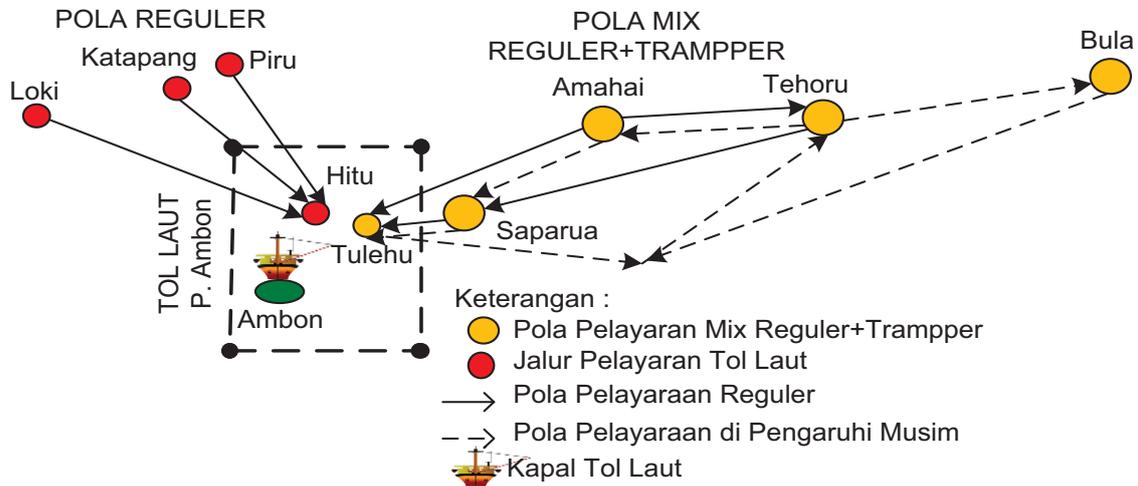
Kinerja Pola Pelayaran Wilayah Kepulauan



Perbedaan Potensi Muatan  $Q_s$  Pada Pola Pelayaran Kapal Wilayah Kepulauan

# Hasil dan Pembahasan

## Peta Pemodelan Pola Pelayaran Kapal Rakyat Dalam Mendukung TOL LAUT di Pulau Seram dan Saparua



## Model Analisis MADM & Ekonometrika



Reting Pola Pengoperasian Kapal Dengan Metode MADM

Recapitulation Equation Model Parameter Relations between the  $Q_s$  and the Call, DWT. Untuk Pola Pelayaran Campuran Reguler + Tramper

Test Parameters	Equation Model	$R^2$	$\beta_0$
Call vs $Q_{S_{R+T}}$ , DWT	Call = $\beta_0 + 0,001 Q_{S_{R+T}} + 0,024 DWT$	99,43	218,2
Call vs $Q_{S_{R+T}}$	Call = $\beta_0 + 0,011 Q_{S_{R+T}}$	95,4	394,8
Call vs DWT	Call = $\beta_0 + 0,022 DWT$	99,41	230,4
DWT vs $Q_{S_{R+T}}$ , Call	DWT = $\beta_0 + 0,101 Q_{S_{R+T}} + 36,08 Call$	99,58	-972
DWT vs $Q_{S_{R+T}}$	DWT = $\beta_0 + 0,523 Q_{S_{R+T}}$	96,58	7272
DWT vs Call	DWT = $\beta_0 + 44,40 Call$	99,41	-1004
$Q_{S_{R+T}}$ vs Call, DWT	$Q_{S_{R+T}} = \beta_0 - 41,4 Call + 2,77 DWT$	96,73	-2349
$Q_{S_{R+T}}$ vs Call	$Q_{S_{R+T}} = \beta_0 + 81,60 Call$	95,44	-0197
$Q_{S_{R+T}}$ vs DWT	$Q_{S_{R+T}} = \beta_0 + 1,84 DWT$	96,58	-11895

Source: Results of analysis

Analisis Kinerja dengan model Ekonometrika

## Closing Statement

1. Pengembangan Transportasi harus memperhatikan skala Ekonomi Wilayahnya
2. Dominannya factor NONTEKNIS dapat mempengaruhi kinerja Transportasi dan berdampak pada Ekonomi
3. Wilayah kepulauan harus mampu meningkatkan potensi wilayahnya menjadi muatan kapal sebagai upaya membangun kekuatan ekonomi wilayah tersebut hingga dapat meningkatkan Lf kapal serta mengatasi kesenjangan ekonomi antar wilayah kepulauan dalam mendukung Tol Laut Indonesia.



## THE RESISTANCE ASPECT OF FISHING BOAT SKIPJACK POLE AND LINE

Wolter R. Hetharia<sup>1\*</sup>, Eliza R. de Fretes<sup>2</sup> and Reico H. Siahainenia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Naval Architecture – Faculty of Engineering, Pattimura University, Ambon 97233

\* Email: [hethariawr@yahoo.com](mailto:hethariawr@yahoo.com)

<sup>2</sup>Department of Naval Architecture – Faculty of Engineering, Pattimura University, Ambon 97233

Email: [defretes@gmail.com](mailto:defretes@gmail.com)

<sup>3</sup>Department of Naval Architecture – Faculty of Engineering, Pattimura University, Ambon 97233

Email: [ekoadvmal@gmail.com](mailto:ekoadvmal@gmail.com)

**Abstrak.** Pengoperasian kapal penangkap ikan cakalang turut andil dalam penangkapan ikan tuna dan cakalang khususnya di perairan Indonesia. Sebuah studi sebelumnya yang dilakukan oleh penulis menemukan bahwa tidak ada metode yang sesuai untuk perhitungan hambatan pada tahap desain kapal awal. Selain itu, ada trim awal pada kapal selama operasi yang berkontribusi terhadap resistensi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan hambatan antara model uji dan metode yang ada. Penelitian dilakukan juga untuk mengetahui pengaruh trim awal kapal. Studi dimulai dengan mengumpulkan database kapal induk kemudian dikembangkan dan ditransformasikan menjadi skala model untuk tujuan pengujian di tangki penarik. Hasil uji model dikonversi ke kapal skala penuh. Hambatan kapal skala penuh dihitung berdasarkan metode Holtrop dan Guldhammer. Hasil full-of resistance yang diperoleh dari uji model dan metode dikumpulkan, dievaluasi dan dibandingkan. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan resistansi untuk semua metode. Hasil pengujian model lebih besar 21% dibandingkan dengan metode Holtrop pada kecepatan layan 10 knot. Sedangkan hasil pengujian model lebih rendah 14% dibandingkan dengan metode Gulhammer pada kecepatan yang sama. Selain itu, pada kecepatan 10 knot trim awal 0,50 meningkatkan 5% resistensi, trim awal 10 meningkatkan 10% resistensi dan trim awal 20 meningkatkan 16% resistensi dibandingkan dengan kapal tanpa trim awal. Kesimpulannya, metode resistensi yang ada tidak cocok untuk diterapkan pada kapal penangkap ikan cakalang pole and line. Selain itu, trim awal berkontribusi untuk meningkatkan resistensi dan harus dihindari selama operasi kapal.

Kata kunci: metode resistensi, efek trim

**Abstract.** The operation of fishing vessels skipjack pole and line contributes in catching tuna and skipjack fishes particularly in Indonesian waters. A previous study conducted by the authors found that there was no suitable method provided for the resistance computation at early ship design phase. Besides, there was an initial trim existed on the vessel during the operation which contributes for the resistance. The purpose of the study is to find the difference of resistance between the model test and the existing methods. The study was executed also to find the effect of initial trim of the vessel. The study began with collecting the database of a parent ship then to develop and transform into a model-scale for testing purpose in the towing tank. The results of model test were converted to the full-scale vessel. The resistance of full-scale vessel was computed based on the Holtrop and Guldhammer methods. The result of full-of resistance obtained from the model test and the methods were collected, evaluated and compared. The results showed the difference of the resistance for all methods. The result of model test is greater 21 % than that of Holtrop method at the service speed of 10 knots. Meanwhile, the result of model test is lower 14 % than that of Gulhammer method at the same speed. In addition, at the speed of 10 knots the initial trim of 0.5° increase 5 % of the resistance, the initial trim of 1° increase 10 % of resistance and the initial trim of 2° increase 16 % of resistance compared to the vessel without initial trim. In conclusion, the existing resistance methods are not suitable to be applied for skipjack pole and line fishing vessels. In addition, the initial trim contributes to increase the resistance and should be avoided during the vessel operation.

**Keywords:** resistance methods, trim effects

## 1. INTRODUCTION

The Indonesian waters contain a lot of *Tunas* and *Katsuwonus Pelamis*. By the benefit of the geographical condition which is located at the cross of continents and oceans, the Indonesian waters have the potential of such kind of big pelagic fishes. These fishes are caught by skipjack pole and line fishing vessels to fulfill the domestic and international market demanding. In fact, those vessels are built by local boat makers without considering some technical aspects required in ship design procedures. One ship parameter that should be considered is the resistance. This parameter will impact the ship engine power, fuel consumption and the ship operational cost. Ship resistance database is not available for this kind of vessels due to their unique configurations. In fact, some methods are still applied for the resistance computation as an approach. In addition, the vessels operate in initial trim conditions where this phenomena affects the vessels' resistance. The initial trim condition occurs due to different of vessels' load arrangement.

The research was conducted by the authors in order to find the resistance based on the model test compared to that was obtained from the available methods. In addition, the initial trim effect occurred at the vessels during the operation was investigated by conducting the model test to find the resistance effect. The initial trim effect for the resistance was varied for several degree levels. This level can reach 2° of trim at an extreme operation condition. The resistance results of the model test were converted to the full-scale vessels. In addition, other parameters such as trim behavior and engine power will be determined during the model test. A full-scale skipjack pole and line fishing vessel of MV Zamirun was selected and used as a prototype. The vessel were developed further for model test procedure and requirements. The results of model tests were presented to be applied for future consideration of resistance aspect.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Theoretical Background

When a ship is moving through a still water surface with speed of  $V_s$ , it needs an Effective Horsepower (EHP) to overcome the total resistance ( $R_{TS}$ ) acting on its opposite direction. The effective horsepower comes from the main engine which is known as the Brake Horsepower (BHP). The power transfer from BHP to EHP have some losses. The ratio of EHP/BHP is represented as PC (Propulsive Coefficient) which consists of: the hull

efficiency ( $\eta_H$ ), the propeller efficiency ( $\eta_O$ ), the relative rotation efficiency ( $\eta_R$ ), the shaft efficiency ( $\eta_S$ ) and the transmission efficiency ( $\eta_T$ ). This relation is represented by the following formula [1]:

$$\text{BHP} = \text{EHP}/\text{PC} = R_{TS} \times V_s / \eta_H \eta_O \eta_R \eta_S \eta_T \quad (1)$$

The total resistance  $R_{TS}$  consists of some components interact one-another in a complicated ways. In practical way, those components may be classified as 2-D frictional resistance ( $R_F$ ) and residuary resistance ( $R_R$ ) [1, 2, 3]:

$$R_{TS} = R_{FS} + R_{RS} = 0.5 \rho C_{TS} S V_s^2 \\ = 0.5 \rho (C_{FS} + C_{RS} + C_A) S S V_s^2 \quad (2)$$

$$C_{FS} = 0.075 / (\log_{10} Rn_S - 2)^2 \quad (3)$$

where:

$C_{TS}$  = Total resistance coefficient.

$C_{RS}$  = Residuary resistance coefficient (from statistical data or model experiment).

$C_{FS}$  = 2-D Flat-plate frictional coefficient, obtained from the ITTC 57 model-ship correlation line

$C_A$  = Correlation allowance.

$S_S$  = Wetted surface area of the ship

$Rn_S$  = Reynolds number of the ship

$$Rn_S = V_s L_S / \nu \quad (4)$$

$L_S$  = Length of the ship

$\nu$  = Kinematics viscosity of fluid,

$\rho$  = Specific mass of fluid.

$S$  = Subscript for ship & M for model.

### 2.2. The Procedure of Model Experiment.

The experiment of ship model in order to find the parameter of ship resistance and effective horsepower should be conducted by fulfilling all aspects and procedures starting from designing ship's model up to predict the results to the full-scale ship. The hydrodynamic aspects that should be included are dimensional analysis, laws of comparisons and model-ship correlation of resistance [1-7]. The dimensional analysis results in the Pi-theorem where in form of non-dimensional is represented as:

$$C_T = C_F (Rn) + C_R (Fn) \quad (5)$$

The coefficient of total resistance ( $C_T$ ) consists of frictional resistance coefficient ( $C_F$ ) and the residuary resistance coefficient ( $C_R$ ). In addition, the effects of forces in fluid movement give Froude Law of similarity and is formulated as:

$$[Fn]_M = [Fn]_S \quad (6)$$

The correlation of model-ship gives a non-dimensional relationship where the coefficient of

total resistance  $C_T$  which is a function of  $F_n$  and  $R_n$  may be separated as:

$$C_T(R_n, F_n) = C_F(R_n) + C_R(F_n) \quad (7)$$

The results of model experiment non-dimensionally is represented as:

$$(C_R)_M = (C_T)_M - (C_F)_M \quad (8)$$

The aspect of model-ship correlation gives also a Froude assumption which states that the residuary resistance coefficient of model equals to that of the ship. In non-dimensional form, it is represented as:

$$(C_R)_M = (C_R)_S \quad (9)$$

The prediction of total resistance of ship from the results of model experiment is represented non-dimensionally in the relationship:

$$(C_T)_S = (C_R)_M + (C_F)_S + C_A \quad (10)$$

### 2.3. Resistance Computation Based on Holtrop Method

Holtrop method requires the total resistance composed on viscous and wave resistances [8,9].

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F(1+k) + C_A] + R_W/W \times W \quad (11)$$

Where:

- $C_F$  = coefficient of frictional resistance
- $C_A$  = correlation allowance
- $(1+k)$  = the form factor
- $R_W$  = wave resistance
- $W$  = weight displacement.
- $V$  = ship speed
- $S_{tot}$  = wetted surface area

### 2.4. Resistance Computation Based on Guldhammer Method

A series of resistance curves published by Guldhammer and Harlvald is collected from the resistance test of the towing tanks [10]. The total resistance is expressed as follows:

$$R_T = 0,5 C_{TP} S V^2 \quad (12)$$

where the total resistance coefficient  $C_T$  consists of

$$C_T = C_F + C_R + C_A \quad (13)$$

- $C_F$  = coefficient of frictional resistance
- $C_R$  = residuary resistance coefficient obtained from the curves provided by Guldhammer
- $C_A$  = correlation allowance.

### 2.5. Prediction of Model Test to Full-Scale Ship

The results of model test are presented in the form of total resistance coefficient of model ( $C_{TM}$ ) and residuary resistance coefficient of model ( $C_{RM}$ ).

$$C_{TM} = R_{TM} / (0,5 \rho_M S_M V_M^2) \quad (14)$$

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM} \quad (15)$$

where,  $C_{FM}$  was obtained from the ITTC 57 frictional line. Using Froude's Assumption where  $C_{RS} = C_{RM}$  then the total resistance for full-scale ship will be:

$$R_{TS} = 0,5 \rho (C_{FS} + C_{RM} + C_A) S_S V_S^2 \quad (16)$$

A correlation allowance  $C_A$  will be added for full-scale ship which account for the extrapolation factor and surface roughness of full-scale ship.

### 2.6. Design of Ship Model

The design of ship models should be based on hydrodynamic and technical aspects [1-5, 7]. Basic hydrodynamic aspects such as the dimensional analysis, the laws of comparison and the correlation of ship-model should be fulfilled. The effects such as blockage, side wall interference and shallow water effect should be avoided. The dimension and geometrical hull form of the model are obtained from the full-scale ship in determining the resistance of designed ship. During the process of developing the model, a parameter of ship-model ratio  $\lambda$  which is ratio of  $L_S / L_M$  was used to determine the dimensions and configuration of the model.

### 2.7. The Steps of Model Testing

The steps are recommended to be followed in conducting the model test: The facilities provided in the towing tank should satisfy all requirements for model test. The load cell was calibrated as a standard procedure in model test. The turbulence stimulator was used to create a turbulence flow. The model was tested for a volume displacement and  $L_{CB}$  suited to full-scale ship. The model was set in the trimming tank to achieve an even keel condition at the design draft. The center of towing force should be in line with propeller thrust line. Data acquisition was executed by collecting the results of testing such as speed, resistance trim and fluid properties. The effects such as tank wall interference, blockage and shallow water should be avoided during the test.

### 2.8. The Data of Parent Ship.

One parent fishing vessel skipjack pole and line which is MV. Zamirun was introduced in this study. The dimensions and configuration of the vessel are presented at Table 1. The ship models were constructed manually from the material of

plywood and wood filler. A ratio of  $\lambda$  was set 10 for MV. Zamirun.

Table 1. Dimension of the Parent Ship and Model

No	Ship Parameters	$\lambda = 10$ , speed 10 kt	
		Full-Scale Ship	Model
2	Length Overall, $L_{OA}$ (m)	21.60	2.160
3	Length Bet. Perpend., $L_{BP}$ (m)	17.35	1.735
4	Length of Waterline, $L_{WL}$ (m)	18.92	1.892
5	Breadth, $B$ (m)	4.00	0.400
6	Breadth Overall, $B_{OA}$ (m)	5.00	0.500
7	Draft, $T$ (m)	1.50	0.150
8	Deck Height, $D$ (m)	2.05	0.205
9	Service Speed, $V_s$ (kt), m/sec	9.70	1.576
10	Froude Number, $F_n$	0.382	0.382
11	Block Coefficient, $C_B$	0.484	0.484
12	Midship Coefficient, $C_M$	0.726	0.726
13	Prismatic Coefficient, $C_P$	0.677	0.677
14	Waterplane Coefficient, $C_W$	0.753	0.753
15	Volume Displacement, $\nabla$ ( $m^3$ )	53.50	0.053
16	Weight Displacement, $\Delta$ (t)	54.84	0.055
17	Wetted Surface Area, $S$ ( $m^2$ )	88.40	0.884
18	Long. Center of Buoyancy, $L_{CB}$ (m)	+0.755	+0.075

## 2.9. Constructing of The Model

Constructing of model was started by drawing a set of lines plan then, this configuration was plotted to wooden planks for the next steps which were cutting the waterlines and frames. Frames and waterlines were set together to make hull of models. Handling sand process was required to achieve an accuracy dimensions and smooth surface of models. The final coating and painting were applied to avoid humidity of models (Figure 1). Turbulence stimulators type of pins were attached at 5 % LBP from FP.

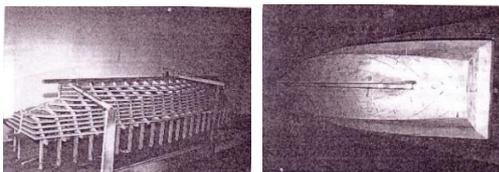


Figure 1. Constructing the Model



Figure 2. Model Skipjack Pole and Line

## 2.10. Executing The Model Test.

The test was conducting at The Towing Tank of Faculty of Engineering, Pattimura University, Ambon. The facility is equipped with resistance dynamometer, towing guides with trim meters, speed control, clamp apparatus and measurement devices. All test activities were operated directly on the carriage (Figure 3). A turbulence stimulator type of pins were attached at frame 19 to generate turbulence flow around models' hull. The data of resistance and trim were recorded by recording instruments. During the test, the model was set to be free of heave and trim but, it was restricted to yaw, sway, surge and roll.

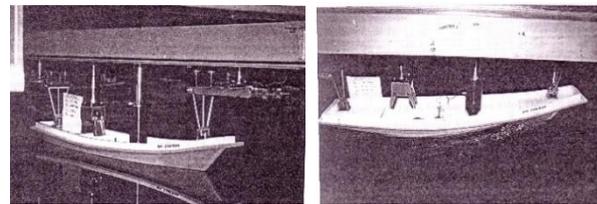


Figure 3. Model Test

All data were collected as follows:

- Speed of carriage and model was controlled and measured by speed meter (m/second)
- Resistance force was measured by load cell of resistance dynamometer (volt)
- Fore and aft trims were measured by trim meter, attached at trim guides (volt)
- Fluid temperature measured during the test.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. The Results of Model Test.

The results of resistance were presented in term of the resistance coefficients as shown in Figure 4. The resistance coefficients were obtained directly from model test. Using Froude assumption  $C_{RS} = C_{RM}$  and  $C_T = C_F + C_R$  then prediction for full-scale ships can be done. The trim level for the model and full-scale parent ships presented in Figure 5. This trim effects exist when there are some external factors when the ship is in operation condition.

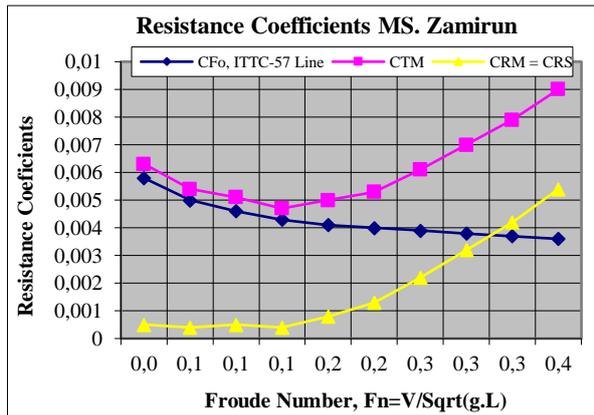


Figure 4. Resistance Coefficients of Model

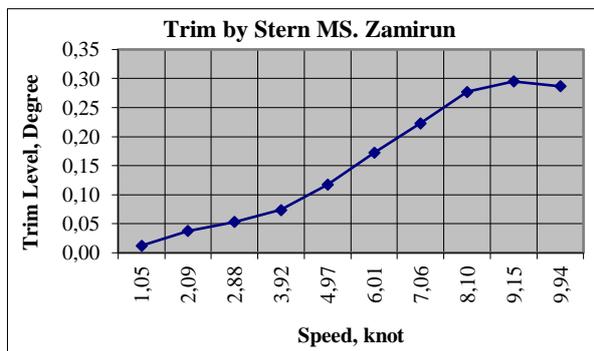


Figure 5. Trim Level of the Full-Scale Ship

**3.2. Prediction for The Full-Scale Ship**

The full-scale ship resistance is presented in Figure 6 while the Effective Horsepower is presented in Figure 7.

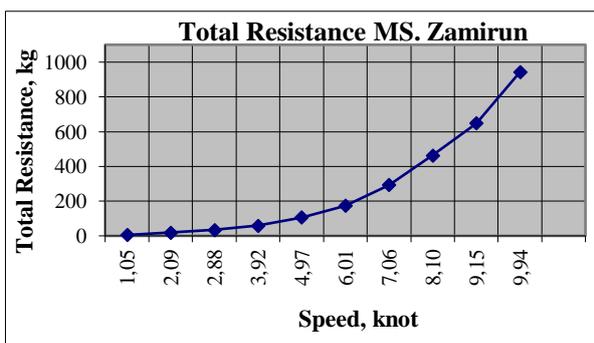


Figure 6. Total Resistance of Full-Scale Ship

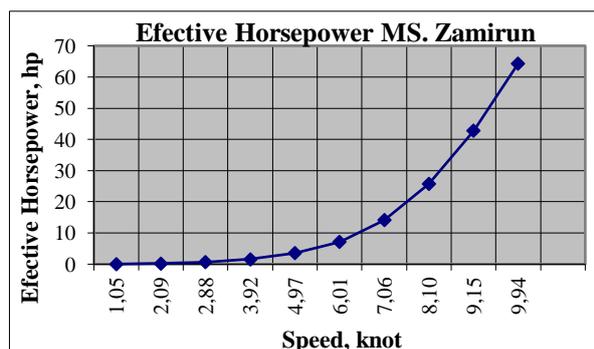


Figure 7. Effective Horsepower of Full-Scale Ship

**3.3. The Resistance from The Existing Methods**

The results of computation of the resistance based on the existing methods are presented at Figure 8. In this study, two existing methods were used namely the Holtrop and Guldhammer methods. Figure 8 shows the existence of total ship resistance of two methods and result from model test.

**3.4. Initial Trim Effect on Ship Resistance**

The trim effect was evaluated during the test. The scenario of initial trim effects was developed for trim 0° (even keel condition), trim by stern 0.5°, trim by stern 1° and trim by stern 2°. The result of trim effect is presented in Figure 9.

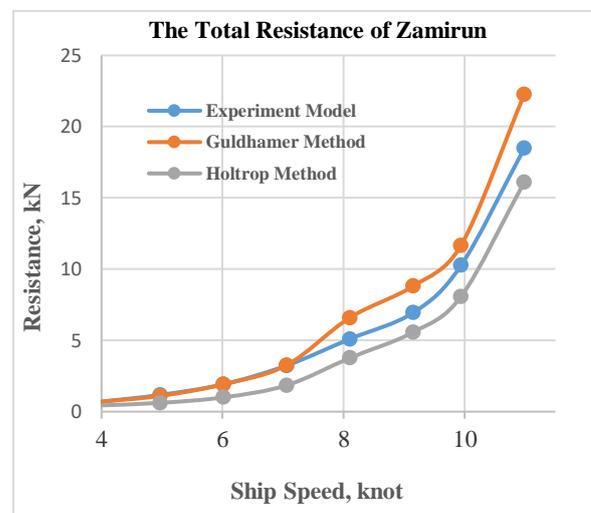


Figure 8. The Resistance from Existing Methods

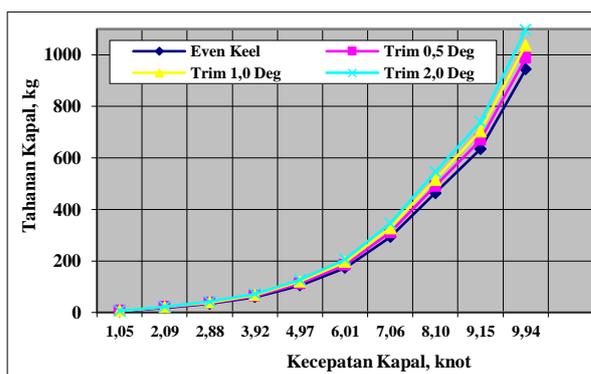


Figure 9. Effect of Initial Trim for the Resistance

**3.5. Discussion**

The study on model test was executed based on the proper requirements and test procedures to ensure the best test results. The model construction was developed in a proper way to guarantee the performance of model resistance. The calibration of load cell dynamometer to ensure data acquisition during the test. The results of model test show proper resistance curves as showed in

Figure 4. It is also shown the residuary resistance curve is obtained as a result of the total resistance deduced to the frictional line. The frictional line was obtained from the ITTC-57 frictional line. Meanwhile, the trim effect due to hydrodynamic forces around the hull can be seen in Figure 5 where the higher the speed the higher trim by stern. The predictions of full-scale resistance and effective horsepower are presented in Figures 6 and 7. This prediction was based on the Froude assumption.

Figure 8 describes concerning the difference of the resistance based on the model test compared to the existing resistance methods. It is clear that the result of model test is higher than that of Holtrop method but lower than that of Guldhammer method for a range of lower to higher speeds. At the service speed of 10 knots, the resistance based on model test is higher 21 % compared to the result of Holtrop Method. Meanwhile, the resistance based on model test is lower 14 % compared to that of Guldhammer method at the same service speed. In this case, some doubts concerning those two existing methods are arising due to the fact that those two methods are not suitable for skipjack pole and line fishing boat. On the other hand, the results of model tests are usually used to confirm the existing methods or some computational results.

Figure 9 describes the effects of initial trim to the ship resistance. The variation of initial trim gives the difference of the resistance for a range of speed as presented by the resistance curves. This phenomena will end-up with the increasing of ship power and operational cost. It can be drawn from the curves that the effect of  $0.5^\circ$  initial trim can increase the resistance varied from 9 % to 5 %. Also,  $1^\circ$  initial trim can increase the resistance varied from 15 % to 10 %. Meanwhile,  $2^\circ$  initial trim can increase the resistance varied from 23% to 16 %. At the service speed of 10 knots the initial trim of  $0.5^\circ$  contributes the additional resistance of 5 % while initial trim  $1^\circ$  contributes 10 % and  $2^\circ$  contributes 16 %.

## 4. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

### 4.1. Conclusion

It can be concluded from the study that:

- The application of the existing resistance methods for the fishing boat skip-jack pole and line may be not appropriate. This is due to the configuration of hull form which is not suitable for the existing resistance methods.
- Compared to the Holtrop method, the resistance of model test is higher for a range of

speed numbers and at the service speed of 10 knots this value is 21 %.

- The resistance result based on the model test is lower than that of Guldhammer method and at the service this value is 14 %.
- Generally, the initial trim contributes to the increasing of resistance compared to that of even keel condition for a range of speed numbers. The higher initial trim the higher the resistance can be obtained
- At the ship speed of 10 knots, the increase of resistance is 5 % for initial trim  $0.5^\circ$ , 10 % for initial trim of  $1^\circ$  and 16% for initial trim  $2^\circ$ .

### 4.2. Recommendation

- It should be considered more for the future application of using the existing resistance methods for skipjack pole and line fishing boat.
- The operation of skipjack pole and line fishing boats should be avoided the initial trim to avoid the excessive trim effect in order to reduce the resistance

## REFERENCES

- [1]. Lewis, E. V., 1988, Principles of Naval Architecture, Vol. II, Ship Resistance and Propulsion, SNAME, Jersey City, N.J.
- [2]. Cough, R.B., et. al., (1984), The Use of Model Basins in The Design of Ships and Marine Structures, SNAME Proceedings – Ninth Ship Technology and Research (STAR) Symposium.
- [3]. Moor, D. I. and Silverleaf, A., (1960), A Procedure for Resistance and Propulsion Experiments with Ships, Proceeding of the Symposium on the Towing Tank Facilities Instrumentation and Measuring Techniques, Paper No. 19, Yugoslav Ship Hydrodynamics Institute Publication, Zagreb
- [4]. Newman, J. N., (1977), Marine Hydrodynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [5]. Harvald, Sv. Aa, (1983), Resistance and Propulsion of Ships, John Wiley & Sons Publication, Denmark.
- [6]. Rawson, K. J., and Tupper, E. C., (1984), Basic Ship Theory, Vol. 2, 3<sup>rd</sup> Edition, Longman Group Ltd., London.
- [7]. Clayton, B. R. and Bishop, R. E. D., (1982), Mechanics of Marine Vehicles, J.W. Arrowsmith Ltd, Great Britain.

- [8]. Holtrop, J., 1989, “ A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data”, Delft University of Technology, Delft
- [9]. Molland, A. F., Turnock, S. R., and Hudson, D. A., ‘Ship Resistance and Propulsion – Practical Estimation of Ship Propulsive Power’, *Cambridge University Press, 32 Avenue of the Americas, New York, USA, 2011.*
- [10]. Guldhammer, H. E. and Harvald, Sv. Aa., 1974, *Ship Resistance*, Akademisk Forlag, Copenhagen.

## ANALISIS PENGENDALIAN KOROSI PADA PERMUKAAN BASAH KAPAL-KAPAL BAJA DENGAN MENGGUNAKAN ZINK ANODA

Sonja T. A. Lekatompessy<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [sonja.lekatompessy@gmail.com](mailto:sonja.lekatompessy@gmail.com)

**Abstrak.** Zink anoda sangat penting untuk mereduksi laju korosi pada permukaan basah kapal. Zink anoda ditempelkan ke bagian-bagian kapal yang rawan terhadap korosi air laut. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kuat arus terpasang terhadap laju korosi dengan cara melakukan analisis terhadap data penggunaan zink anoda di lapangan dan data penggunaan zink anoda hasil perhitungan sehingga penggunaan kuat arus terpasang sesuai dengan kebutuhan akan mengurangi laju korosi. Untuk melihat pengaruh kuat arus terhadap laju korosi maka dibutuhkan data laju korosi 5 tahun terakhir dari 9 buah kapal dan juga jumlah zink anoda yang dipergunakan setiap tahunnya. Dari grafik hasil perhitungan kuat arus sesuai teori dan hasil pemakaian zink anoda pada sembilan kapal, hasil yang didapat terlihat jelas bahwa kuat arus terpasang harus mencukupi kebutuhan masing-masing kapal karena akan berpengaruh terhadap penurunan laju korosi. Pada Kapal No.3 ada kelebihan kuat arus 0,539Amp hingga 1,386 Amp terjadi penurunan laju korosi mencapai 0,0317 mm/tahun pada tahun ke-5. Pada kapal No. 4 ada kelebihan kuat arus 0,444 Amp hingga 1,822 Amp terjadi penurunan laju korosi mencapai 0,0138 mm/tahun pada tahun ke-5. Pada kapal No. 9 ada kelebihan kuat arus 4,894 Amp hingga 5,793 Amp terjadi penurunan laju korosi mencapai 0,0371 mm/tahun pada tahun ke-5.

Kata kunci: Zink anoda, laju korosi

**Abstract.** Zink anodes are very important for reducing the corrosion rate on underwater surface area of hull plates. Zink anodes are affixed to parts of the vessel that are prone to seawater corrosion. This study aims to find out how much influence the installed current has on the corrosion rate by analyzing the data on the use of zink anodes in the field and the data on the use of zink anodes as a result of calculations so that the use of strong currents installed according to the need will reduce the rate of corrosion. To see the strong influence of current on the rate of corrosion, it takes data on the corrosion rate of the last 5 years from 9 vessels and also the number of zink anodes used each year. From the graph of the results of the calculation of strong current according to the theory and the results of the use of zinc anodes on nine vessels, the results obtained it is clear that the installed current strength must meet the needs of each vessel because it will affect the decrease in corrosion rate. On vessel No.3, an excess current strength of 0.539Amp to 1,386 Amp, a decrease in corrosion rate reaching 0.0317 mm/year in the 5<sup>th</sup> year. On vessel No. 4, an excess current strength of 0.444 Amp to 1.822 Amp there is a decrease in corrosion rate reaching 0.0138 mm/year in the 5<sup>th</sup> year. On vessel No. 9, an excess strong current of 4,894 Amp to 5,793 Amp there is a decrease in corrosion rate reaching 0.0371 mm/year in the 5<sup>th</sup> year.

Keywords: Zink anode, corrosion rate

### 1. PENDAHULUAN

Kapal terbuat dari baja, komponen utamanya adalah besi. Besi adalah elemen positif

elektrokimia yang memiliki kecenderungan untuk melepaskan elektron untuk menjadi ion bebas. Air laut terdiri dari oksigen dan hidrogen, dan

menghasilkan ion hidroksil negatif elektrokimia yang dapat menerima elektron yang diberikan oleh Besi. Dengan cara ini ion Besi dikombinasikan dengan ion hidroksil air untuk membentuk Iron Hydroxide. Ini disebut oksidasi Zat Besi atau dikenal sebagai korosi [1].

Sistem anoda korban yang dirancang sesuai dengan kebutuhan akan mencegah korosi pada permukaan selama pelat baja tercelup dalam air [2].

Zink anoda digunakan untuk perlindungan cathodic, kemudian pengaruh waktu pencelupan (10, 20, dan 30 hari) dan jarak anoda dari katoda (1, 2, dan 3 cm) diteliti. Perlindungan terbaik untuk korosi diperoleh pada waktu pencelupan 10 hari dan jarak elektroda 1 cm, memungkinkan tingkat korosi 0,694 mpy dengan efisiensi 81,8% [3].

Proses reaksi perlindungan cathodic dievaluasi dengan metode penurunan berat, perhitungan tingkat korosi dan metode pengukuran potensial. Efektivitas zink anoda korban ditemukan secara cathodically protektif pada baja ringan dalam asam klorida pada suhu ruangan (27 ° C) dan suhu tinggi (60 ° C). Ada korelasi dekat dari hasil yang diperoleh untuk metode penurunan berat dan pengukuran potensial [4].

Pemasangan zink Anoda pada lambung kapal general kargo untuk mencegah korosi dikaitkan dengan jumlah dan umur zink anode adalah berlebihan sehingga perbandingan umur pakai dari hasil perhitungan dapat dijadikan sebagai pedoman [5].

Hasil pengujian memperlihatkan korosi dan laju korosi terjadi pada pelat tanpa perlindungan anoda baik pada sampel diam maupun pada sampel berputar. Perlindungan katode pada sampel diam menunjukkan laju korosi yang rendah pada pelat baja, sedangkan pada sampel berputar laju korosi terjadi pada pelat walaupun telah diberikan perlindungan. Pada sampel berputar, semakin tinggi laju korosi pada anode korban maka semakin rendah laju korosi pada pelat baja yang dilindunginya [6].

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan anoda korban sesuai dasar pembahasan pada KMP. Citra Mandala Sakti, secara teknis dapat diketahui bahwa untuk memperlambat laju korosi plat lambung area bawah garis air kapal selama 3 tahun berlayar, dibutuhkan anoda korban paduan zink sebanyak 8 kg x 21 buah. Anoda korban paduan zink yang dipasang pada plat lambung kapal secara arus ternyata dapat memperlambat laju korosi rata-rata sebesar 0,308 mm/tahun [7].

Tes pengukuran korosi menggunakan metode penurunan berat dan polarisasi potentiodynamik.

Dari studi eksperimental, ditemukan bahwa tingkat korosi baja ringan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan zink. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat korosi baja ringan dengan tes semprotan garam lebih tinggi daripada tes pencelupan [8].

Desain penelitian dilakukan dengan memvariasikan jenis anoda dalam bentuk Al, anoda untuk jarak katoda 1 cm, 2 cm, 3 cm. Data diproses dengan menggunakan metode penurunan berat badan dengan unit (mpy). Perlindungan terbaik terjadi pada perendaman 15 hari, dengan menggunakan Al anode, tingkat korosi terendah adalah 1,448 mpy. Dalam penelitian ini, anoda Al terbukti efektif untuk melindungi baja karbon pada jarak 1 cm, dan dengan efektivitas 69,06% [9].

Perlindungan katodik untuk struktur beton yang diperkuat dengan cara anoda korban seng adalah teknologi perlindungan korosi yang sangat efektif di lingkungan laut [10].

Berdasarkan hasil wawancara dengan pemilik-pemilik kapal yang beroperasi di perairan Maluku tentang efisiensi penggunaan zink anoda dijelaskan bahwa ada yang menggunakan zink anoda lebih, dan ada juga yang kurang daripada yang diharuskan karena dari hasil ultrasonik terbukti bahwa dengan menambah zink anoda laju korosi yang diperoleh pada tahun berikutnya mengalami penurunan.

Adapun masalah yang ditinjau adalah kebutuhan kuat arus terpasang pada zink anoda yang masih belum mencukupi kebutuhan kapal. Masalah ini ditinjau karena berhubungan langsung dengan efisiensi kerja dari zink anoda, yang dari hasil perhitungan akan terlihat apakah masalah yang ditinjau tersebut berpengaruh pada laju korosi pada pelat lambung basah kapal baja.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat arus zink anoda terpasang terhadap laju korosi kapal baja.

## 2. BAHAN DAN METODE

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi dapat terjadi apabila memiliki anoda, katoda, media elektrolit, adanya arus listrik akibat pergerakan elektron [6].

Diperlukan data ukuran pokok 9 buah kapal yang menggunakan anoda tumbal tipe zink anodan data ketebalan pelat kapal setiap tahun selama 5 tahun. Untuk mendapatkan data berat pelat terkorosi dengan cara merubah pengurangan ketebalan pelat (mm) tiap tahun ke dalam ukuran weight loss (gr) untuk mendapatkan laju korosi dari persamaan berikut [11]:

$$C_R = 87,6 \times \left(\frac{W}{DAT}\right) \text{ (mm/tahun)} \quad (1)$$

di mana,

- W = massa yang hilang akibat terkorosi (mg)
- D = rapat massa (gr/cm<sup>3</sup>)  
= 7.8 mgr/m<sup>3</sup> atau 490 lb/ft<sup>3</sup>
- A = luas permukaan (in<sup>2</sup>)
- T = lama pengujian (hari).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Tabel dan Gambar

Tabel 1. Kuat arus teoritis dan kuat arus terpasang

I Butuh Teoritis	Kuat Arus Terpasang					Selisih Kuat Arus Teoritis dan Kuat Arus Terpasang				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
12.3	11.2	10.5	11.2	10.5	10.5	1.0	1.7	1.0	1.7	1.7
13.4	14.6	14.6	14.6	17.6	17.6	-1.2	-1.2	-1.2	-4.2	-4.2
12.5	13.0	13.9	13.0	13.9	13.9	-0.5	-1.4	-0.5	-1.4	-1.4
10.9	11.3	11.3	11.5	12.7	12.7	-0.4	-0.4	-0.7	-1.8	-1.8
11.1	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
9.0	9.0	8.3	8.6	6.4	8.6	0.1	0.1	0.5	2.7	0.5
9.7	8.3	8.3	7.5	10.9	10.9	1.3	1.3	2.1	-1.3	-1.3
15.3	7.3	7.3	7.3	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	7.4	7.4
9.9	14.8	14.8	14.8	14.8	15.6	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9	-5.8

Keterangan :

- I butuh teoritis = kuat arus total yang dibutuhkan
- Kuat arus terpasang (1) = kuat arus total yang mampu dikeluarkan oleh sejumlah anoda yang terpasang tahun pertama (Amp)
- Kuat arus terpasang (2) = kuat arus total yang mampu dikeluarkan oleh sejumlah anoda yang terpasang tahun kedua (Amp)
- Kuat arus terpasang (3) = kuat arus total yang mampu dikeluarkan oleh sejumlah anoda yang terpasang tahun ketiga (Amp)
- Kuat arus terpasang (4) = kuat arus total yang mampu dikeluarkan oleh sejumlah anoda yang terpasang tahun keempat (Amp)
- Kuat arus terpasang (5) = kuat arus total yang mampu dikeluarkan oleh sejumlah anoda yang terpasang tahun kelima (Amp)
- Selisih kuat arus yang dibutuhkan dengan kuat arus terpasang yang dikeluarkan oleh anoda tahun pertama
- Selisih kuat arus yang dibutuhkan dengan kuat arus terpasang yang dikeluarkan oleh anoda tahun kedua
- Selisih kuat arus yang dibutuhkan dengan kuat arus terpasang yang dikeluarkan oleh anoda tahun ketiga

- Selisih kuat arus yang dibutuhkan dengan kuat arus terpasang yang dikeluarkan oleh anoda tahun keempat
- Selisih kuat arus yang dibutuhkan dengan kuat arus terpasang yang dikeluarkan oleh anoda tahun kelima

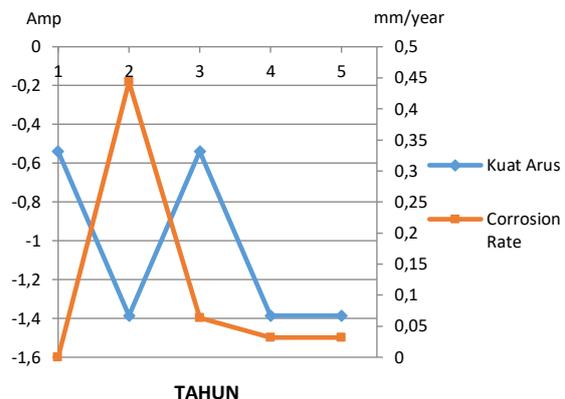
Tabel 2. Laju Korosi Pada Kapal

YEAR	CORROSION RATE (mm/year)				
	1	2	3	4	5
VESSEL 1	-	0.0310	0.0621	0.0155	0.1708
2	-	0.0848	0.0509	0.0339	0.0339
3	-	0.4433	0.0633	0.0317	0.0317
4	-	0.2063	0.1100	0.0275	0.0138
5	-	0.1270	0.0423	0.0564	0.0706
6	-	0.2408	0.0459	0.0459	0.0688
7	-	0.0612	0.0612	0.0245	0.0735
8	-	0.2523	0.0194	0.0582	0.0388
9	-	0.0989	0.0495	0.0495	0.0371

Keterangan:

*Corrosion Rate* pada tahun pertama tidak mempunyai nilai karena merupakan titik awal yang mana laju korosi diambil dari pengurangan berat (*weight loss*) setelah satu tahun periode *docking* berlalu.

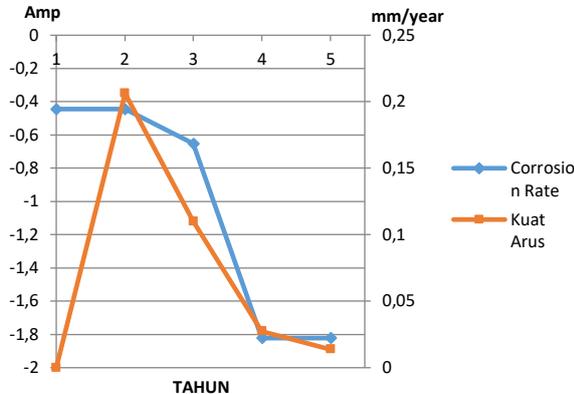
Analisis dilakukan pada 9 kapal, yang masing-masing dibuat dalam analisis tersendiri dengan memperhatikan permasalahan yang ditinjau. Dari 9 kapal yang ditinjau, hanya beberapa kapal yang akan ditampilkan dalam grafik hubungan korelasi yang terjadi antara selisih kuat arus teoritis dan kuat arus terpasang hubungannya dengan laju korosi.



Gambar 1. Grafik korelasi *corrosion rate* dan selisih kuat arus teoritis dan kuat arus terpasang pada kapal no. 3

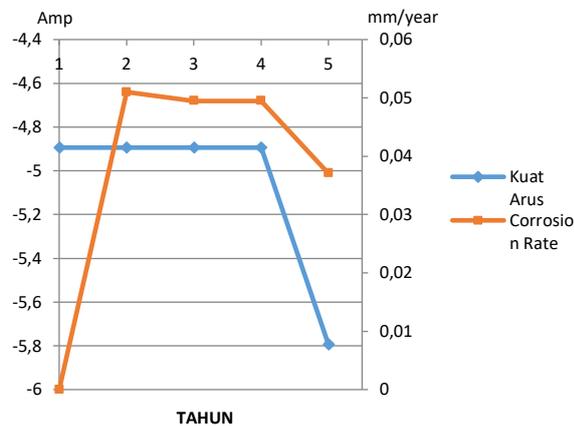
Pada tahun ke-2 hingga tahun ke-5 dalam Gambar 1 terlihat kuat arus terpasang mencukupi

kebutuhan kapal ini dengan kelebihan arus antara 0,539 Amp hingga 1,386 Amp. Pada tahun ke-3 dengan kuat arus lebih 0,539 Amp terjadi laju korosi 0,0633 mm/tahun terus terjadi penurunan hingga tahun ke-5 dengan kuat arus lebih 1,386 Amp laju korosi mencapai 0,0317 mm/tahun.



Gambar 2. Grafik korelasi *corrosion rate* dan selisih kuat arus teoritis dan kuat arus terpasang pada kapal no. 4

Pada Gambar 2 di atas terlihat kuat arus terpasang mencukupi kebutuhan kapal nomor 4, kelebihan kuat arus masih dalam batas normal. Pada tahun ke-2 dengan kuat arus lebih 0,444 Amp, pada tahun ke-3 hingga tahun ke-5 dengan kelebihan kuat arus terpasang 1,822 Amp terjadi penurunan laju korosi sebesar 0,0138 mm/tahun.



Gambar 3. Grafik korelasi *corrosion rate* dan selisih kuat arus teoritis dan kuat arus terpasang pada kapal no. 9

Dari grafik pada Gambar 3, kuat arus terpasang terlihat sangat mencukupi bahkan lebih jika dibandingkan dengan gambar 1 dan gambar 2. Tahun ke-2 hingga tahun ke-4 dengan kuat arus terpasang lebih yang sama besar 4,894 Amp terjadi penurunan laju korosi tahun ke-2 sebesar 0,051 mm/tahun hingga pada tahun ke-4 mencapai 0,0495 mm/tahun. Pada tahun ke-5

kelebihan arus naik menjadi 5,793 Amp mencapai laju korosi sebesar 0,0371 mm/tahun,

#### 4. KESIMPULAN

Pada ketiga kapal terlihat jelas bahwa kebutuhan kuat arus terpasang tidak boleh kurang dari kuat arus secara teoritis. Kuat arus terpasang harus mencukupi kebutuhan masing-masing kapal karena berpengaruh terhadap penurunan laju korosi. Pada kapal No.3, No.4, dan No.9 terlihat bahwa kuat arus terpasang sangat mencukupi kebutuhan kapal. Pada Kapal No.3 ada kelebihan kuat arus 0,539 Amp-1,386 Amp terjadi penurunan laju korosi mencapai 0,0317 mm/tahun pada tahun ke-5. Pada kapal No. 4 ada kelebihan kuat arus 0,444 Amp-1,822 Amp terjadi penurunan laju korosi mencapai 0,0138 mm/tahun pada tahun ke-5. Pada kapal No. 9 ada kelebihan kuat arus 4,894 Amp-5,793 Amp terjadi penurunan laju korosi mencapai 0,0371 mm/tahun pada tahun ke-5.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura sebagai penyandang dana (dana PNPB Fakultas Teknik tahun 2020) sehingga penelitian ini dapat selesai sesuai jadwal yang ditetapkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Team The Naval Arch - Ship Corrosion - Cathodic Protection and Sacrificial Anodes [https://thenavalarch.com/ship-corrosion-cathodic-protection-sacrificial-anodes/] (Diakses tanggal: 27Maret 2017).
- [2] Class Guideline DNVGL-CG-0288, Corrosion Protection of Ships, Edition May 2017.
- [3] Komalasari, Komalasari & Evelyn, Evelyn & Situmeang, I & Heltina, Desi. (2020). Cathodic protection on structures of carbon steel using sacrificial anode method for corrosion control. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 845. 012015. 10.1088/175-899X/845/1/012015.
- [4] Cleophas Akintoye Loto, Roland Tolulope Loto, Abimbola Patricia Popoola, Performance evaluation of zinc anodes for cathodic protection of mild steel corrosion in HCL, Chemical Data Collections, Volume 24, 2019, 100280, ISSN 2405-8300
- [5] Bambang S., Purwo J. S., Hernia S.: Analisis Kebutuhan Pemasangan Zink Anode untuk Mencegah Korosi pada Lambung Kapal General Cargo, Bina Teknika Vol 14, 2018.
- [6] Ngatmin, Ngatmin & Purwanto, Helmy &

- Riwayati, Indah. (2019). Analisis Laju Korosi Pada Plat Baja Lambung Kapal dengan Umpan Anoda Korban Aluminium. *Jurnal Ilmiah Momentum*. 15. 10.36499/jim.v15i2.3085.
- [7] Sunarto Sunarto, Deni Septian. (2015). Analisa Kebutuhan Anoda Korban Seng Pada Plat Bottom Kapal Di PT. Indonesia Marina Shipyard. *Wahana Teknik*. Vol 4 No.1.
- [8] Noor Idora, M. M. Rahman, M. Ismail, W. B. Wan Nik. (2014). Effect of Zinc Coating Thickness on Corrosion Performance of Mild Steel in Atmospheric and Seawater Environment. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 554. Pp.213-217.
- [9] A. A. T. Adriana, Komalasari, Drastinawati. (2018). Pengendalian Laju Korosi Baja dalam Air Laut Dengan Menggunakan Proteksi Katodik Metoda Anoda Korban. *Jom FTeknik Volume 5 Edisi 2 juli s/d Desember*
- [10] Jeong, J. A. (2015). Cathodic Protection Effect of Reinforced Concrete Beam Specimens with Zinc Sacrificial Anode in Marine Environment. *Advanced Materials Research*, 1125, 345–349. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1125.345>
- [11] Trethewey, K. R. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 1993.

## ANALISIS NUMERIK PENGARUH KECEPATAN TERHADAP SEAKEEPING KAPAL PATROLI PADA DAERAH PELAYARAN SEASTATE 7

Mohammad Taufik Ar Rozi<sup>1\*</sup>, Betty Ariani<sup>2</sup>, Dedy Wahyudi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya 60113

\*Email: [taufik.umsurabaya@gmail.com](mailto:taufik.umsurabaya@gmail.com)

<sup>2</sup>Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya 60113

Email: [betty.ariani@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:betty.ariani@ft.um-surabaya.ac.id)

<sup>3</sup>Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya 60113

Email: [dewahyudi79@gmail.com](mailto:dewahyudi79@gmail.com)

**Abstrak.** Kapal patrol didesain untuk tidak lambat dalam pergerakannya dipermukaan air. Untuk dapat bergerak dengan dengan cepat dan lincah, kebutuhan yang paling penting bagi kapal jenis ini adalah terletak pada olah gerakannya. Olah gerak kapal di laut (*seakeeping*) dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya kecepatan, bentuk badan kapal, dan arah datang kapal terhadap datangnya gelombang. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap enam derajat kebebasan, khususnya pada respon gerakan kapal secara vertikal yaitu *rolling* pada gelombang laut *seastate 7* khususnya pada cuaca ekstrim di laut Cina Selatan. Standar batasan yang digunakan ialah NORDFORSK 1987 dengan kriteria *Light Manual Work*. Dengan memasukkan parameter yaitu variasi kecepatan serta sudut gelombang yaitu  $0^\circ, 45^\circ, 180^\circ$  dan  $270^\circ$  akan didapatkan nilai kritis pada setiap gerakan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan komputasi *software* Maxsurf Motions Advanced 20 V8i, Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai gerakan roll maksimum terjadi pada saat kecepatan 14 knots, kondisi sudut datang gelombang  $45^\circ$  dengan nilai sudut *roll* sebesar  $6.40^\circ$ . Selanjutnya terjadi penurunan nilai gerakan *roll* seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai *roll* minimum terjadi sudut datang gelombang  $270^\circ$  saat kecepatan kapal 28 knots dengan nilai  $5.69^\circ$ .

*Kata kunci: Seakeeping, Sudut Roll, Wave heading, kapal patroli, kecepatan kapal*

**Abstract.** Patrol boat is designed not to be slow in its movement on the water surface. To be able to move quickly and agilely, the most important requirement for this type of ship is in its maneuverability. The ship's motion at sea (*seakeeping*) is influenced by several things, speed, body shape, and the direction of the ship's heading waves. In this study, we analyze the six degrees of freedom, especially on the response of the ship's vertical movement, namely rolling on the sea waves of *Seastate 7*, especially in extreme weather in the South China Sea. The standard limit used is NORDFORSK 1987 with *Light Manual Work Criteria*. By entering parameters such as variations in speed and wave angle, such as  $0^\circ, 45^\circ, 180^\circ$  and  $270^\circ$ , then from the graph it can be seen the critical value for each movement. The calculation is carried out with the help of computational software Maxsurf Motions Advanced 20 V8i. The results of this study are the maximum roll movement value that occurs at a speed of 14 knots with a wave angle of  $45^\circ$  with a roll angle value of  $6.40^\circ$ . Furthermore, there is a decrease in the value of the movement along with the increase in the speed of the ship. The minimum roll value occurs when the wave angle is  $270^\circ$  when the ship's speed is 28 knots with a value of  $5.69^\circ$ .

*Keywords: Seakeeping, Roll angle, Wave heading, fast patrol boat, ship speed*

### 1. PENDAHULUAN

Kapal dalam operasinya sangat dipengaruhi oleh kondisi laut terutama besar kecilnya

gelombang. Salah satu contohnya adalah Kapal Cepat Rudal. Gerakan kapal akibat gelombang sangat perlu diperhitungkan dalam tahap awal

desain. Kapal ini didesain untuk tidak lambat dalam pergerakannya dipermukaan air. Untuk dapat bergerak dengan dengan cepat dan lincah, kebutuhan yang paling penting bagi kapal jenis ini adalah terletak pada olah gerakannya.

Kapal patroli merupakan salah satu armada laut yang menjadi bagian dari struktur kekuatan yang dibutuhkan negara dalam menghadapi ancaman kedaulatan dan keutuhan sebuah negara. Kriteria khusus yang harus dimiliki oleh sebuah kapal cepat patroli adalah kemampuan bermanuver dipermukaan air, kemampuan untuk mengejar musuh dan menyerang tanpa bisa terdeteksi terlebih dahulu.

Gelombang merupakan faktor yang penting dalam pelayanan informasi meteorologi kelautan (*marine meteorological services*). Sering terjadinya gelombang tinggi tentu dapat menyebabkan terganggunya aktivitas dilaut seperti nelayan, transportasi laut antar pulau yang dapat berdampak pada kehidupan masyarakat di darat, seperti kelangkaan bahan pangan di beberapa pulau kecil dan terganggunya berbagai aktifitas pembangunan karena terhambatnya suplai bahan-bahan konstruksi (Marelsa, 2019). Pada umumnya gelombang laut dibangkitkan oleh angin (*sea wave*) sehingga sifat-sifat gelombang tertentu dipengaruhi oleh angin, misalnya semakin kencang atau tinggi kecepatan angin maka kecepatan dan panjang gelombang semakin besar. Menurut BMKG, ada beberapa kriteria tingkat bahaya gelombang laut yaitu 1,25 – 2 meter berbahaya bagi perahu nelayan, 2 – 3 meter berbahaya bagi perahu nelayan dan tongkang, 3 – 4 meter berbahaya bagi perahu nelayan, tongkang dan kapal feri, diatas 4 meter berbahaya bagi semua kapal.

Pengaruh Samudera Pasifik menjadi dominan pada periode angin baratan kecuali pada sebagian besar Sumatera, yang dipengaruhi oleh karakteristik Samudera Hindia sebelah barat. Sebaliknya pada musim angin timuran, pengaruh Samudera Hindia menjadi dominan dengan ditandai oleh berkurangnya curah hujan di Pulau Jawa, dan kepulauan Nusa Tenggara, sementara di sebagian besar Sumatera, dan Kalimantan masih berpeluang terjadinya curah hujan dengan intensitas sedang. Dinamika ini akan berpengaruh secara langsung terhadap dinamika yang terjadi di perairan Indonesia.

Wilayah perairan Utara Equator dalam penelitian ini meliputi 6 (enam) wilayah diantaranya adalah perairan Laut Cina Selatan, Samudera *Pasific*, Perairan Barat Sumatera Utara, perairan Utara Papua, Laut Sulawesi, dan Laut Maluku. Di daerah belahan Utara Equator,

ketinggian gelombang ekstrim (H.eks) di atas 4.73 m dimana merupakan batas tertinggi gelombang yang tidak bisa dilalui kapal patroli terjadi di perairan Laut Cina Selatan dengan ketinggian gelombang ekstrim mencapai 6,1 hingga 7.2 m, diperairan Samudera *Pasific* dengan ketinggian antara 4.8 hingga 5.2 m di musim *moonsun Asia* dan *Australia* serta perairan Barat Sumatera Utara dengan ketinggian 4.8 m di bulan Agustus. Sedangkan diwilayah Utara Papua, Laut Sulawesi dan Laut Maluku rata-rata tinggi gelombang ekstrim dibawah 4.73 m baik dimusim *moonsun Asia*, *moonsun Australia* maupun ke dua *moonsun* peralihan yaitu periode antara *moonsun Asia* dan *moonsun Australia* yaitu bulan Maret, April dan Mei serta periode antara *moonsun* Australia dan *moonsun Asia* yaitu bulan September, Oktober dan Nopember

Terdapat kriteria *seakeeping* oleh NORDFORSK 1987 berupa percepatan vertikal, percepatan lateral, dan gerakan *rolling* yang dialami oleh kapal jenis tertentu yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria *untuk percepatan dan roll* NORDFORSK 1987

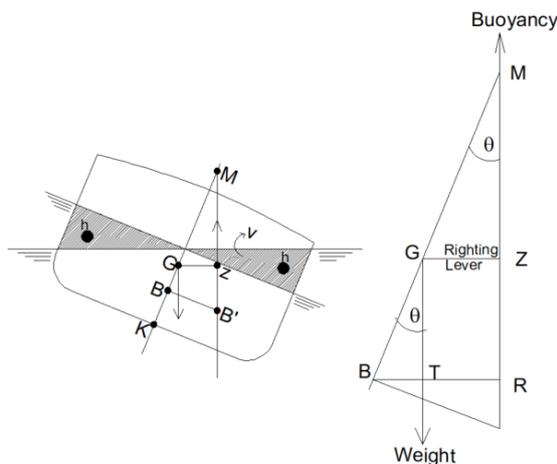
No.	Deskripsi	RMS percepatan vertikal	RMS percepatan lateral	RMS Sudut <i>roll</i>
1	<i>Light manual work</i>	0.20 g	0.10 g	6°
2	<i>Heavy manual work</i>	0.15 g	0.07 g	4°
3	<i>Intellectual work</i>	0.10 g	0.05 g	3°
4	<i>Transit passengers</i>	0.05 g	0.04 g	2.5°
5	<i>Cruise liner</i>	0.02 g	0.03 g	2°

Perhitungan stabilitas kapal menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dan momen. Ketika kapal mengapung di atas permukaan air, bekerja dua jenis gaya yang sama besar yaitu: gaya berat (G) yang arahnya ke bawah dan gaya apung (B) yang arahnya ke atas. Ketika kapal berlayar, kapal akan menerima gaya dari luar berupa angin dan gelombang, yang akan membuat kapal oleng (Gambar 1).

Gaya B dan G mula-mula terletak pada satu garis lurus di *centerline*, namun saat mendapat gaya dari luar kapal akan miring. Posisi tersebut membuat gaya B akan berpindah menyesuaikan bentuk badan kapal yang masuk ke dalam air, sedangkan gaya G posisinya tetap tetapi arahnya

tidak lagi segaris dengan *centerline*. Saat gaya luar hilang, gaya berat dan gaya apung akan membentuk momen kopel dan lengan momen kopel kedua gaya tersebut disebut GZ seperti pada Gambar 1. Jika lengan GZ ini positif kapal akan mampu kembali ke posisi semula (stabil) dan jika GZ negatif maka kapal akan terbalik (labil) setelah gaya dari luar hilang.

Nilai GZ positif belum tentu menjamin kapal tidak akan terbalik. International Maritime Organization (IMO) telah menetapkan kriteria stabilitas kapal dalam peraturan A.749 Code on Intact Stability 2008 (IS 2008).



Gambar 1. Lengan stabilitas

Penelitian dilakukan melalui metode simulasi seakeeping menggunakan software maxsurf motion dan perhitungan manual lainnya. Standar yang digunakan untuk kriteria penilaian seakeeping kapal patroli yaitu NORDFOSK 1987.

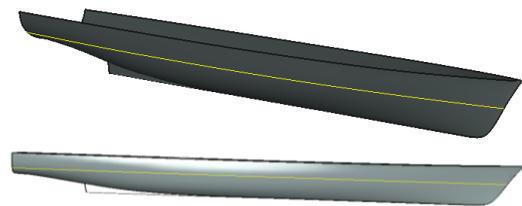
## 2. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di salah satu galangan kapal yang terletak di Tanjung Perak Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Tahapan pertama dalam penelitian adalah mengumpulkan data berupa gambar sketsa dan ukuran kapal, yang meliputi dimensi utama kapal dan koordinat lambung kapal dan bobot kapal. Tahapan selanjutnya adalah pemodelan lambung kapal dengan bantuan software Maxsurf Motions Advanced 20 V8i. Pada tahapan ini, hasil sketsa dan pengukuran koordinat kapal di lapangan, direkonstruksi ulang untuk mendapatkan model lambung yang menyerupai bentuk kapal aslinya. Hasil pemodelan divalidasi dengan hasil perkiraan berat kapal kosong.

Hasil pengukuran kapal langsung di lapangan didapatkan bahwa ukuran utama kapal yaitu, panjang kapal total adalah 59.8 meter, lebar 8.1 meter, dalam 4.85 meter, dan sarat 2.6 meter.

Tabel 2. Parameter yang diinputkan untuk simulasi kapal patroli

No.	Input Data	Parameter komputasi hidrostatik
1	Draft maksimum	2.6 m
2	Jumlah <i>section</i>	41
3	Tipe kapal	Monohull
4	Spectra	JONSWAP
	<i>a. Characteristic height</i>	7.2 m
	<i>b. Modal periode</i>	9.977 s
5	Sudut datang gelombang	0°, 45°, 180°, 270°
6	Kecepatan maksimum	28 knot
7	<i>Vertical Centre of Gravity</i>	2.612 m



Gambar 2. Pemodelan lambung kapal dengan menggunakan software Maxsurf Motions

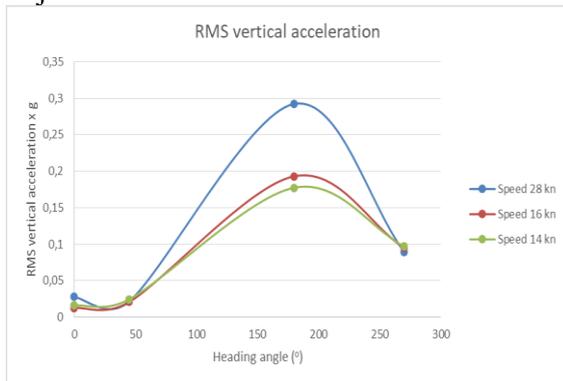
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa olah gerak kapal (*seakeeping*) ini bertujuan untuk menentukan kondisi kritis kapal dan dilakukan dengan memvariasikan beberapa komponen yang berpengaruh dalam menentukan besarnya amplitudo simpangan *lateral acceleration*, *vertical acceleration* dan *roll*. Pada analisa olah gerak kapal ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan kapal yaitu pada kecepatan 14 *knots*, 16 *knots* dan *full speed* 28 *knots*.

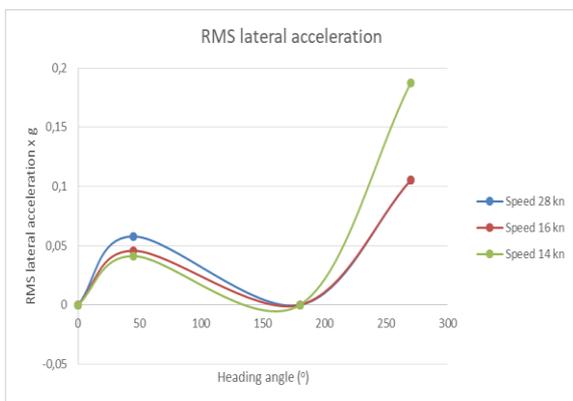
Pada kondisi kecepatan kapal 14 *knot*, respon gerakan *roll* kapal paling besar terjadi ketika *wave heading* 45 derajat (*Quartering beam seas*), sudut *roll* yang terjadi mencapai 6.40 derajat. Sedangkan respon gerakan *roll* kapal paling kecil terjadi ketika *wave heading* 270 derajat (*Port beam seas*), sudut *roll* yang terjadi mencapai 5.70 derajat. Kapal mengalami respon signifikan gerakan *roll* yang cukup besar yaitu hingga melebihi 6 derajat pada kondisi VCG 2,6 mdengan kecepatan kapal sebesar 14 *knots*. Dan untuk nilai RMS *vertical acceleration* dan RMS *lateral acceleration* masih di bawah standar.

Pada kondisi kecepatan kapal 16 *knot*, respon gerakan *roll* kapal paling besar terjadi ketika *wave heading* 45 derajat (*Quartering beam seas*), sudut *roll* yang terjadi mencapai 6.16 derajat. Sedangkan respon gerakan *roll* kapal paling kecil terjadi ketika *wave heading* 270 derajat (*Port*

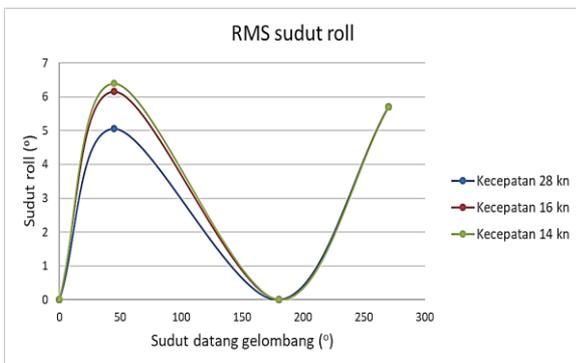
beam seas), sudut roll yang terjadi mencapai 5.70 derajat.



Gambar 3. Variasi kecepatan terhadap RMS vertical accelerations



Gambar 4. Variasi kecepatan terhadap RMS lateral accelerations



Gambar 5. Grafik hubungan antara sudut roll dengan sudut datang gelombang pada beberapa variasi kecepatan

Pada kondisi kecepatan kapal 28 knot, respon gerakan roll kapal paling kecil terjadi ketika wave heading 45 derajat (Quarterming beam seas), sudut roll yang terjadi mencapai 5,07 derajat. Sedangkan respon gerakan roll kapal paling besar terjadi ketika wave heading 270 derajat (Port beam seas), sudut roll yang terjadi mencapai 5,69 derajat

Perlu digaris bawahi kembali di sini bahwa frekuensi gelombang adalah merupakan salah satu

faktor penting yang mempengaruhi perilaku bangunan laut, karena dari adanya frekuensi pada nilai tertentu akan menimbulkan kondisi resonansi atau magnifikasi respons. Secara teoritis semakin tinggi gelombang laut maka nilai frekuensinya akan semakin rendah. Bila titik tinjau gelombang, atau bangunan laut yang dikaji, tidak lagi stasioner tetapi bergerak melaju dengan kecepatan tertentu maka efek frekuensi gelombang yang diterima pada bangunan laut akan berubah. Perubahan frekuensi ini tidak lain adalah karena adanya kecepatan relatif antara gelombang dan bangunan laut yang melaju. Sebagai akibatnya perubahan tersebut tentunya akan merubah hasil-hasil perhitungan parameter-parameter ataupun koefisien-koefisien hidrodinamika, yang akhirnya memberikan hasil akhir berupa respons yang berbeda pula. Frekuensi yang berubah karena gelombang berpapasan dengan bangunan laut yang melaju disebut sebagai frekuensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency*, sering disingkat sebagai frekuensi papasan atau *encountering frequency*, yang diberi notasi  $\omega_e$ .

$$\omega_e = \omega \left[ 1 - \frac{\omega V_s}{g} \cos \mu \right]$$

Dimana:

$\omega_e$  = Frekuensi papasan

$\omega$  = Frekuensi riil gelombang

$V_s$  = Kecepatan Struktur

$\mu$  = Sudut hadap

Respon gerakan kapal terhadap gelombang regular dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitudo Operator*), dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu. RAO memuat informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut yang disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu,  $\zeta_0$ , dengan amplitudo gelombang,  $\zeta_0$

$$RAO = \frac{a_0}{\omega_e^2 \zeta_0}$$

Karakteristik gerak roll kapal patroli pada gelombang di *seastate 7* dipengaruhi oleh kecepatan, arah gelombang. Hasil analisis RAO model kapal adalah sebagai berikut

Dari ketiga variasi tersebut, sudut roll paling kecil ialah pada saat kapal melaju pada kecepatan maksimum (28 knots). Kecepatan kapal berbanding lurus dengan frekuensi *encountering*

atau frekuensi papasan antara gelombang dengan laju kapal. Sedangkan frekuensi *encountering* berbanding terbalik dengan RAO sehingga menyebabkan nilai RAO semakin rendah dan terjadi penurunan sudut *roll* seiring dengan penambahan kecepatan kapal.

Menurut analisa bahwa sudut *roll* akan maksimal pada sudut datang gelombang 90° atau 270°. dan akan minimum pada saat arah datang gelombang searah dengan arah laju kapal karena pada kenyataannya pada saat pelayaran kapal selalu bergerak memotong gelombang tertinggi jadi sangat kecil kemungkinannya kapal terdorong oleh gelombang tertinggi pada bagian samping kapal atau pada sudut datang 90°.

$$RAO_{Roll}(\mu) = RAO_{Roll} \sin(\mu)$$

Berdasarkan hasil simulasi ditemukan fakta bahwa ketika kapal melaju dibawah kecepatan 20 *knots* pada tinggi gelombang 7,2m, kapal akan mengalami sudut *roll* sebesar  $\pm 7,5^\circ$  dengan kondisi pelayaran dengan cuaca ekstrim. Kondisi ini sangat membahayakan jika kapal digunakan untuk berlayar.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa: Pada kecepatan kapal 14 dan 16 *knots*, sudut *roll* kapal tidak memenuhi kriteria NORDFORSK 1987 untuk *Light Manual Work*.

Karakteristik gerak model kapal pada gelombang laut seastate 7 dipengaruhi oleh kecepatan, arah gelombang. Hasil simulasi model kapal cepat patroli adalah nilai gerakan *roll* maksimum terjadi pada saat kecepatan 14 *knots* kondisi sudut datang gelombang 45° dengan nilai sudut *roll* sebesar 6,40°. Selanjutnya terjadi penurunan nilai gerakan *roll* seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai *roll* minimum terjadi sudut datang gelombang 270° saat kecepatan kapal 28 *knots* dengan nilai 5,69°.

Penambahan kecepatan kapal secara umum dapat meningkatkan kualitas stabilitas kapal pada daerah dengan gelombang tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin cepat suatu kapal maka gerakan *roll*-nya akan lebih stabil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marelsa, Nadia Friska dan Yosyea Oktaviandra. Analisis Karakteristik Gelombang Laut Menggunakan *Software Windwave-12* (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai). Oseana, 10 – 24, 2019
- [2] Hasanudin, Y. Totok, dan A. Rizky Chandra, *Modifikasi Kapal Purse Seine 30 GT Dengan Menambahkan Cadik Untuk Meningkatkan Survival Of Intact Stability*, Marine Fisheries, 205-213, 2019.
- [3] IMO. 1990. *Intact Stability Code. Assembly Res. A. 749*. London: International Maritime Organization.
- [4] Prasetyo, Bonaventura Danis., Suastika, Ketut. Kajian Eksperimental dan Numeris Olah Gerak (*Seakeeping*) Kapal *Crew Boat* Orela Dengan dan Tanpa *Foil* Belakang, JURNAL TEKNIK ITS, 2301-9271, 2016.
- [5] Hutauruk, Ronald Mangasi dan Rengi, Pareng. Respons Gerakan Kapal Perikanan Hasil Optimisasi Terhadap Gelombang. Jurnal Perikanan Dan Kelautan. 2014
- [6] Hardjono, Soengeng. *Analisa Ketinggian Gelombang yang Sesuai untuk Pengoperasian Kapal Cepat Rudal 60m di Perairan Indonesia*. 2018.
- [7] Muh AA, Iskandar BH, Novita Y. 2017. Kajian Desain Kapal *Purse Seine* Tradisional di Kabupaten Pinang (Studi Kasus KM Cahaya Arafah). *ALBACORE*. 1(1): 69-76.
- [8] Romadhoni. Analisa Seakeeping Performance Kapal Cepat Model Planing *Hull Chine*. JURNAL INOVTEK POLBENG. 2019
- [9] Brillin, Dimas Berifka, Agoes Santoso, dan Irfan Syarif Arief. Analisa Seakeeping pada Offshore Supply Vessel 56 Meter. 2301-9271. 2015.
- [10] *Bhattacharyya. (1978). Dynamic of marine Vehicles. United State of America.*
- [11] Putra, Dian Purnama, Deddy Chrismianto, dan Muhammad Iqbal. Analisa Seakeeping Dan Prediksi Motion Sickness Incidence (MSI) Pada Kapal Perintis 500 Dwt Dalam Tahap Desain Awal (Initial Design). Jurnal Teknik Perkapalan UNDIP. 562-575. 2016.
- [12] Hayatul Fajar, Azhabul, Deddy Chrismianto, dan Eko Sasmito Hadi. Studi Analisa Slamming & Deck Wetness Akibat Gerakan Heaving – Pitching Coupling & Gerakan Non-Linier Rolling (Studi Kasus Kapal MT. Pandan). 677-687. 2017.

## PENGARUH KEMIRINGAN POROS BALING-BALING TERHADAP KECEPATAN PERAHU KETINTING

M. Nur Habib<sup>1\*</sup>, E. R. de Fretes<sup>2</sup>, S. T. A. Lekatompessy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [nurkhabib1997@gmail.com](mailto:nurkhabib1997@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [defretesera@gmail.com](mailto:defretesera@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [sonja.lekatompessy@gmail.com](mailto:sonja.lekatompessy@gmail.com)

**Abstrak.** Perahu ketinting dalam pengoperasiannya menggunakan *propeller* dengan mesin terletak diatas geladak. Posisi ini mengakibatkan *propeller* tercelup dengan membuat sudut tertentu, selain itu kedalaman *propeller* juga mempengaruhi kecepatan kapal. Fenomena ini merupakan sesuatu yang sangat penting untuk di teliti dengan tujuan mendapatkan kecepatan maksimum dalam kaitannya dengan sudut kemiringan *propeller* dan besarnya daya dorong maksimum yang dibutuhkan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dimana model kapal dan *propeller* dibuat sesuai dengan skala yang diinginkan, dan seterusnya melakukan pengujian di towing tank. Hasil pengujian yang diperoleh yaitu kemiringan yang menciptakan kecepatan optimal perahu ketinting berada pada kemiringan 18° dengan kecepatan  $V = 5,05$  knot serta daya dorong maksimal  $PT = 13,15$  kW.

Kata kunci: Kemiringan Poros, Daya Dorong, Kecepatan. Kemiringan *propeller*, perahu ketinting

**Abstract.** *Ketinting boat in operation using propeller with engine located on deck. This position resulted in the propeller dipping by making a certain angle, in addition the depth of the propeller also overlapped the speed of the ship. This phenomenon is something very important to be examined with the aim of obtaining maximum speed in relation to the angle of tilt of the propeller and the amount of maximum thrust required. The method used is an experimental method in which the model of the ship and propeller are made according to the desired scale, and so conduct testing on the towing tank. The test result obtained is a slope that creates the optimal speed of the ketinting boat is at a slope of 18° with a speed of  $V = 5.05$  knots and a maximum thrust of  $PT = 13.15$  kW.*

*Keywords: Shaft Tilt, Thrust, Speed, propeller slope, ketinting boat*

### 1. PENDAHULUAN

Pengoperasian perahu ketinting memiliki sistimpenggerak baling-baling, poros baling-baling merupakan salah satu bagian dari sistim penggerak kapal yang digerakan oleh mesin dan berfungsi untuk meneruskan gaya dorong. Putaran mesin ditransmisikan ke baling-baling melalui poros dengan posisi kemiringan tertentu kemudian dengan kemiringan poros yang digunakan untuk menentukan besar kecilnya gaya dorong yang merupakan fungsi dari daya dorong dan kecepatan. Pada sistim ini apabila baling-

baling pada sudut tertentu tercelup sebahagian, maka daya dorong yang dihasilkanpun tidak terlalu besar, sedangkan pada saat baling-baling tercelup secara penuh daya dorong dan kecepatanpun jadi berubah dan seterusnya ampai dengan sudut yang besar maka daya dorong dan kecepatan makin kecil karena kosinus arah yang terjadi. Sehingga permasalahan yang terjadi adalah seberapa besar pengaruh kemiringan poros baling- baling terhadap daya dorong dan kecepatan perahu ketinting.

Penggunaan kemiringan poros yang digunakan di lapangan adalah kemiringan  $16^\circ$  dengan daya dorong 12,77 kW dan kecepatan 4,4 knot, dimana perahu memiliki kecepatan yang tidak maksimal dengan daya mesin yang maksimal, (Masroeri, Asianto, 1999 & studi kasus). Penggunaan kemiringan poros tidak memiliki standard pengoperasian, mereka hanya menggunakan tali atau kawat sebagai penahan beban poros baling-baling tanpa mengetahui berapa kemiringan poros baling-baling yang di gunakan, sehingga pengaruhnya terhadap daya dorong yang dihasilkan tidak maksimal, kecepatan perahu ketinting tidak stabil serta banyaknya bahan bakar yang digunakan dalam jarak pengoperasian tertentu tidak optimal, sehingga perlu dilakukan analisis dengan teliti.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Sabik dan Purwaka (2018) menjelaskan tentang aplikasi penggerak perahu ketinting, yang dilanjutkan oleh Windyandari dan Wahyudi 2011 yang sistem propulsi kapal ketinting dalam kaitannya dengandaya dorong, Abar et al (2018) menjelaskan tentang kemiringan hub dalam kaitannya dengan efisiensi baling-baling, munawir et al (2017) menngambarkan tentang pengaruh sudut kemiringan baling-naling pada perahu jukung terhadap daya dorong kapal. Dari penelitian-penelitian diatas, digunakan untuk kapal-kapal yang menggunakan mesin dalam bukan mesin ketinting yang letaknya di atas kapal, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mesin yang berada di atas geladak kapal. Beberapa formulasi yang digunakan adalah :

$$T = \frac{EHP}{(1-t)xVs} \quad (1)$$

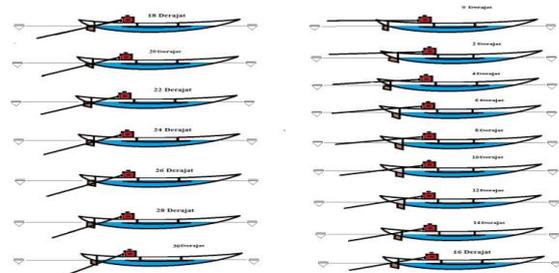
Dimana :

- EHP = *Effective Horse Power*
- Vs = Kecepatan Dinas
- t = *Trusth deduction factor*
- T = Gaya Dorong

Penelitian ini berlangsung di Rumah Tiga, Tulehu, Ureng, Seith dan Hitu, proses penelitian untuk mendapatkan data-data primer langsung pada objek perahu ketinting. Hasil penelitian kemudian dilakukan perhitungan dan simulasi di *towing*. Objek dalam penelitian ini adalah pengaruh kemiringan poros baling- baling perahu ketinting. Tipe penelitian ini adalah pengujian eksperimen pembuktian dengan menggunakan model yang diuji pada laboratorium *towink tank*. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen

yang bertujuan mengetahui pengaruh kemiringan poros baling-baling terhadap kecepatan perahu ketinting. Rancangan penelitian menggunakan faktor variasi kemiringan  $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ, 24^\circ, 26^\circ, 28^\circ, 30^\circ$ . Demikian dalam uji laboratorium dengan beberapa variasi yang ada diharapkan dari setiap hasil uji eksperimen variasi kemiringan tertentu dapat mempresentasikan waktu dan kecepatan maksimal terhadap pengaruh penggunaan kemiringan poros baling-baling.

Pengujian kecepatan model dan kecepatan putar mesin, dimana kecepatan yang diuji menggunakan variasi kemiringan poros baling-baling adalah 0.718 m/s dan besar maksimal putaran mesin 1500 RPM, dengan variasi sudut kemiringan yang digunakan adalah  $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ, 24^\circ, 26^\circ, 28^\circ, 30^\circ$ , dengan keterangan kondisi di lapangan pada Gambar 1.



Gambar 1. Outlet Uji Coba Laboratorium

### 2.2. Fasilitas Pengujian dan Model

Adapun fasilitas yang digunakan untuk pengujian model adalah Tangki Uji (*Towing Tank*) dengan memiliki ukuran sebagai berikut:

- a. Panjang : 90 m
- b. Lebar : 5 m
- c. Tinggi : 2,5 m
- d. Sarat air : 1,5 m

Spesifikasi Model Perahu Ketinting

- a. Panjang keseluruhan (Loa) : 0,70 m
- b. Panjang Garis air (Lwl) : 0,67 m
- c. Lebar (B) : 0,65 m
- d. Tinggi perahu ketinting (H) : 0,50 m
- e. Tinggi sarat (T) : 0,30 m
- f. Koefisien Blok : 0,54
- g. Luas Permukaan Basah (s) : 0,395 m<sup>2</sup>
- h. Kecepatan : 0,718 m/s
- i. Jenis Baling-baling : 2 Sudu

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Kapal

Perahu ketinting yang digunakan sebagai subjek pada penelitian ini adalah yang berada di daerah sekitar Kota Ambon. Adapun spesifikasi dan ukuran pokok perahu ketinting.

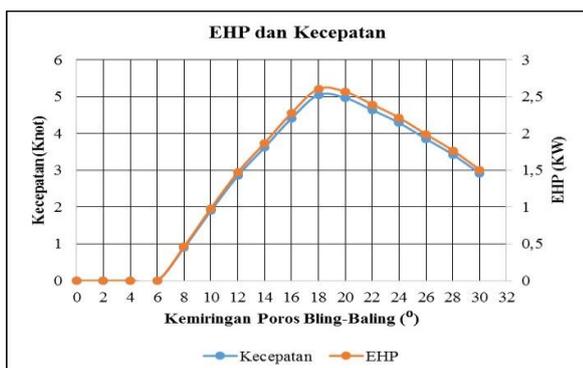
- a. Panjang keseluruhan (Loa) : 7,0m
- b. Panjang Garis air (Lwl) : 6,7 m
- c. Lebar (B) : 6,5 m
- d. Tinggi perahu ketinting (H) : 0,50 m
- e. Tinggi sarat (T) : 0,30 m
- f. Koefisien Blok : 0,54
- g. Kecepatan : 4,40 Knot
- h. Jenis Mesin : GX 160
- i. Jenis Baling-Baling : 2 Sudu
- j. Panjang Poros : 2 m
- h. Kemiringan Poros : 16-20°

**3.2. Hasil Pengujian**



Gambar 2. Kecepatan dan Gaya Dorong

Gambar 2 menjelaskan hubungan antara kecepatan dan gaya dorong perahu ketinting yang dihasilkan dari penggunaan variasi kemiringan tertentu dan pengurangan kecepatan terhadap penggunaan kemiringan poros baling-baling perahu ketinting. Berdasarkan grafik di atas maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan dari sudut kemiringan poros baling-baling 8°-18° perahu mengalami peningkatan yang *continue*, pada kemiringan 20°-30° perahu mengalami penurunan yang *continue*. Kemiringan poros baling-baling yang digunakan di lapangan berada pada sudut 16° dengan kecepatan 4.4 knot dan gaya dorong 6,28 kN, sedangkan kecepatan dan gaya dorong yang di teliti berada pada sudut 18° dengan kecepatan 5.05 knot dan gaya dorong 8,21 kN.



Gambar 3. EHP dan Kecepatan

Gambar 3 Menunjukkan hubungan antara kecepatan dan EHP perahu ketinting, dapat dilihat bahwa kecepatan tertentu EHP ( $R_{tdinas} \times V$ ) perahu berubah untuk menghasilkan daya motor perahu ketinting karena penggunaan variasi kemiringan poros baling-baling perahu ketinting yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan perhitungan tabel diatas menunjukan bahwa kecepatan dan EHP perahu pada kemiringan poros baling-baling 8°-18° perahu mengalami peningkatan yang *continue*, dengan kecepatan dan gaya dorong terbesar pada kemiringan 18°. Pada kemiringan poros baling-baling 20°-30° perahu mengalami penurunan yang *continue*. Menjelaskan hubungan antara kecepatan dan EHP perahu ketinting yang dihasilkan dari penggunaan variasi kemiringan tertentu dan pengurangan kecepatan terhadap penggunaan kemiringan poros baling-baling perahu ketinting. Berdasarkan grafik di atas maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan dari sudut kemiringan poros baling-baling 8 -18 perahu mengalami peningkatan yang *continue*, pada kemiringan 20 -30 perahu mengalami penurunan yang *continue*. Kemiringan poros baling-baling yang digunakan di lapangan berada pada sudut 16° dengan kecepatan 4.4 knot dan EHP 2,27 kW, sedangkan kecepatan dan daya dorong yang di teliti berada pada sudut 18° dengan kecepatan 5.05 knot dan EHP 3,60 kW. Perubahan daya dorong dan kecepatan yang signifikan terjadi dari kemiringan poros 16 -18 , dan pada puncaknya daya dorong dan kecepatan terhadap penggunaan kemiringan poros berada pada kemiringan poros 18 , di karenakan perubahan terjadi pengaruh kemiringan poros berada pada kemiringan poros ideal dengan tinggi dan dalamnya poros baling-baling menyentuh permukaan air yang didefinisikan sebagai besar dan kecilnya nilai alfa ( $\alpha$ ) dan jarak ( $F_x$ ) dan ( $t$ ) adalah kriteria *matching* terbaik dari kemiringan poros yang digunakan

**4. KESIMPULAN**

Dari penelitian pengaruh kemiringan poros baling-baling terhadap daya dorong dan kecepatan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Daya dorong dan kecepatan perahu ketinting dipengaruhi oleh posisi kemiringan poros baling-baling yang digunakan.
2. Kemiringan poros baling-baling yang menghasilkan daya dorong maksimal perahu ketinting adalah pada kemiringan 18° dengan daya dorong perahu ketinting sebesar  $P_T = 13,15$  kW dengan kecepatan  $V_s = 5,05$  knot.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Abar I.A.C., Utama I. P. dan Iqbal Muhammad, 2018. *An Investigation in to the effect of slope angle Hub Cap Geometry against the efficiency of ship propeller in the presence of PBFC*. Proceeding of Maritime Safety and Maritime installation, MSMI 2018 published by CSP
- [2] Ahmad Munawir, Gatut Rubiono, Haris Mujianto, 2017. *Studi Prototipe Pengaruh Sudut Kemiringan Poros Baling-Baling Terhadap Daya Dorong Kapal Laut* (online). Jurnal V-Mac, Vol 2 No 1:18-24, 2017, ISSN 2528-0112.
- [3] Aulia Windyandari, Dedy Wahyudi, 2011. *Methodology Of The Hybrid Propulsion System (DPM & DEP) For Trimaaran Type Fast Patroli Boat*. Kapal-Vol. 8, NO. 3 Oktober 2011.
- [4] Budi Utomo, 2012. *Peranan Baling-Baling Pada Gerakan Kapal* (Online). Jurnal Vol. 33 No.2 Tahun 2012, ISSN 0852-1697.
- [5] Carlton, J, 2012. “*Marine Propellers and Propulsion*”, 3rd edition, Elsevier.
- [6] Couser, P R, Molland, A, F, Amstrom N And Utama, I K A P. 1997. *Calm Water Powering Prediction For High Speed Catamaran*, Procs. Of FAST 1997, Sydney, 21-23 July.
- [7] Dimas Bagus Darmawan, Deddy Chrismianto, Muhammad Iqbal, 2016. *Analisa Pengaruh Kemiringan HUB Propeller Tipe B-Series Pada Kapal Selam Tipe Menengah Untuk Mengoptimalkan Kinerja Kapal Selam Dengan Metode CFD* (online). Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 4, No, 2 April 2016.
- [8] Djatmiko et.al. 1983. *Tahanan Penggerak Kapal*. Jakarta: departemen pendidikan dan kebudayaan.
- [9] D. J. Acheson (oxford, 2003). *Elementary Fluid Dynamics*.
- [10] Dwi setiya ningsih, 2015. *Rumus Trigonometri*.
- [11] Eduart Wolok, Alfi SR Baruadi, Stella Junus, ZC Fachurssyah, 2016. *Perahu Tradisional Ketinting* (online). ISBN 978-602-72985-2-1.
- [12] Elymart jastro, FIB UI, 2010. *Kajian Perahu Tradisional Nusantara Di Museum Bahari*, jakarta utara.
- [13] Fyson J. 1985. *Design of Small Fishing Vessels*. England: Fishing News Book. Pages: 2153.
- [14] Harvald, Sv.Aa.,1978. *Trust Deduction Estimation Of Harvald For Single-Screw Ships. Estimation of power ship*. ISP 25(283)
- [15] Harvald, A, 1988. *Tahanan dan Propulsi Kapal*.Airlangga Press, Surabaya.
- [16] Harvald, A. A. 1992. *Tahanan dan Propulsi kapal*. Surabaya: erlangga.
- [17] Hans Otto Kristensen, Marie Lützen, 2013. *Prediction of resistance and propulsion power of ships*, Technical University of Denmark.
- [18] Hogben, N dan Standing, R (1975) *Wave Pattern Resistance From Routine Model Test*, Trans. RINA, Vol.117.
- [19] Ied Habibie, Mucthar Ahmad, Nofrizal 2010. *Teknik Pemasangan Mesin Untuk Kapal Perikanan*. Jurnal PERIKANAN dan KELAUTAN 15,1(2010)132-144.
- [20] ITTC 1975, *14th International Towing Tank Conference*. Form factor according to Prohaska.
- [21] KBBI, 1991. *Kamus Besar Bahasa Indonesia Edisi Kedua*. Jakarta: Balai Pustaka.
- [22] Lewis, Edward.V ,1988. “*Principles of NavalArchietecture Second Revision*” The Society ofNaval Architects and Marine Engineers 601Pavonia Avenue Jersey City, NJ.
- [23] Liebner, horst H. 2005. “*Perahu-Perahu Tradisional Nusantara Suatu Tinjauan Sejarah Perkapalan Dan Pelayaran*” Dalam *Eksplorasi Sumberdaya Budaya Maritim* Oleh Edi Sedyawati (ed.), Hal. 53-123. Jakarta:Departement Kelautan Dan Perikanan RI.
- [24] Masroeri, A. A., & Asianto. (1999). *Diktat Perancangan Kamar Mesin*. In A. A. Masroeri, & Asianto, *Diktat Perancangan Kamar Mesin*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [25] M. Rusydi Alwi, Syerly Klara & M. Amril Idrus (JRKT), 2013.*Unjuk Kerja Mesin Diesel Mitsubishi 4DRS Sebagai Penggerak Kapal Pada Kondisi Trim* (online). Jurnal Voume 11, Nomor 1, Januari-Juni 2013.
- [26] Molland, F.A., Turnock, R.S., & Hudson, A.D. (2011), *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation Of Ship Propulsive Power*. New York: Cambridge University Press.
- [27] PERATURAN DIREKTUR JENDERAL PERIKANAN BUDIDAYA NOMOR 284. *Petunjuk Teknis Pemberian Bantuan Mesin Tempel Perahu Jukung Kabupaten Rote*

- Ndao Provinsi Nusa Tenggara Timur Tahun 2018*. PER-DJPB / 2018.
- [28] Sayyid Sabiq, Fis Purwangka, Yopi Novita, 2018. *Intensitas Kebisingan Mesin Serbaguna Pada Perahu Gillnet Di Pangkalan Pendaratan Ikan Pangandaran*. Jurnal Ilmiah Samudra Akuatika (2018), Vol, 2(2),9-21.
- [29] Sukendar. (2002). *Perahu Tradisional Nusantara*, Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Badan Pengembangan Kebudayaan dan Pariwisata Deputi Bidang Pelestarian dan Pengembangan Budaya.
- [30] Utomo, bambang budi (ed). 2007. *Pandanglah Laut Sebagai Pemersatu Nusantara*. Jakarta: Departemen Kebudayaan Dan Pariwisata RI.

# ANALISIS PARAMETER STABILITAS KAPAL UNTUK MENINGKATKAN OPERASIONAL PENANGKAPAN KAPAL PUKAT CINCIN DI PERAIRAN LAUT BANDA

Obed Metekohy<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Universitas Pattimura, Ambon 97233

\* Email: [bobmetekohy2710@gmail.com](mailto:bobmetekohy2710@gmail.com)

**Abstrak.** Operasional penangkapan nelayan kapal pukat cincin di perairan laut Banda merupakan suatu potensi yang menjanjikan dengan stok ikan yang berlimpah. Akan tetapi kondisi fishing ground dengan cuaca yang ekstrim sangat berpengaruh terhadap operasional penangkapan karena tidak didukung oleh sarana penangkapan yang memadai. Kapal-kapal pukat cincin secara umum dibuat secara tradisional, dengan pengalaman turun temurun. Pembuatan kapalnya sangat mempengaruhi karakteristik operasional penangkapan khususnya pada saat setting alat tangkap, penarikan jarring dengan hasil tangkapan dari dalam laut, dan pada saat kapal berangkat ke dan kembali dari fishing ground. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa parameter stabilitas kapal sehingga dapat meningkatkan operasional penangkapan dan menjamin keselamatan nelayan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif. Analisa terhadap parameter stabilitas mengacu pada peraturan perancangan kapal Ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter karakteristik rasio lebar dan tinggi geladak (B/D) 46.67% , GM dan TR 57.77% kurang dari standar teknis perancangan sehingga sangat berpengaruh terhadap stabilitas kapal pada saat operasional penangkapan.

Kata kunci: Parameter Stabilitas, Ukuran Pokok, Pukat Cincin

*Abstract. The fishing operation of ring trawlers in Banda Sea waters is a promising potential with abundant fish stocks. However, fishing ground conditions with extreme weather greatly affect fishing operations because they are not supported by adequate fishing facilities. In general, ring trawlers are made in a traditional way, with hereditary experience. The shipbuilding greatly affects the operational characteristics of fishing, especially when setting fishing gear, pulling nets with catches from the sea, and when ships departing to and returning from the fishing grounds. This study aims to analyze the stability parameters of the ship so that it can improve fishing operations and ensure the safety of fishermen. The method used in this research is descriptive method. Analysis of the stability parameters refers to the design regulations of the Fish vessel. The results showed that the characteristic parameters of the ratio of the width and height of the deck (L/B) were 93%, GM 62.23%, TR 35.55% less than the technical design standards so that it greatly affected the stability of the ship during fishing operations.*

*Keywords: Stability Parameters, Basic Size, Purse Seine*

## 1. PENDAHULUAN

Kegiatan perikanan tangkap di perairan laut Banda memang menjanjikan dengan potensi perikanan sebesar 788,939 ton [1]. Kegiatan perikanan tangkap ini penuh dengan tantangan serta dihadapkan dengan resiko dan

ketidakpastian [2]. Memperkirakan bahwa sekitar 30 juta nelayan bekerja pada 4 juta kapal penangkap ikan yang beroperasi di dunia. Sekitar 98% dari nelayan tersebut bekerja pada kapal dengan panjang kurang dari 24 meter, dimana untuk ukuran ini tidak tercakup dalam peraturan

internasional. Pukat cincin merupakan alat tangkap ikan yang produktif dan tergolong alat tangkap aktif. Pengoperasian alat tangkap pukat cincin dilakukan dengan cara melingkarkan jaring pada gerombolan ikan sehingga ikan yang terkepung tidak dapat melarikan diri ke arah horizontal kemudian tali kolor ditarik sehingga jaring membentuk kerucut sehingga ikan tidak dapat meloloskan diri ke arah vertikal dan tertangkap [3]. Kapal ikan pukat cincin (purse seiner) merupakan tipe kapal ikan yang dalam pengoperasiannya perlu ditinjau secara khusus, karena kapal ini menyerap modal yang besar pada usaha penangkapan ikan [4]. Pertimbangan aspek teknis dan ekonomis haruslah dipertimbangkan dalam proses perencanaan kapal. Aspek teknis yang perlu dipertimbangkan dalam proses perencanaan suatu kapal ikan mencakup konstruksi kapal, kecepatan kapal, stabilitas, daya motor induk, ukuran utama, tata letak ruangan dan material lambung [5]. Selain itu karakteristik daerah penangkapan ikan (fishing ground) diperairan laut Bandayang tidak menentu, haruslah dikaji secara khusus. Penyimpangan dalam desain dan pembuatan kapal akan menimbulkan dampak negatif bagi keselamatan kapal dan nelayan dalam melaut. Laporan dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) tahun 2007–2011 mencatat 59 % kecelakaan dilaut terjadi karena faktorteknis dan 41 % karena faktor manusia (*human error*) [6].

Dari aspek operasional perikanan tangkap yang selama ini menjadi masalah bagi kapal-kapal pukat cincin yang beroperasi dilaut Banda dengan kondisi laut yang tidak menentu dan ekstrim akan sangat mempengaruhi proses manouver kapal, dalam membentuk lingkaran untuk mengurung dan membatasi pergerakan ikan untuk ditangkap (*setting*) dan proses penarikan alat tangkap dan hasil tangkapan dari dalam air (*hauling & purssing*). Penempatan hasil tangkapan dan peralatan tangkap di atas geladak kapal dan posisi tinggi tiang jaring sangat berpengaruh terhadap stabilitas kapal. Kondisi yang dialami nelayandi laut yakni sering terjadi kapal mengalami kondisistabilitas kritis yaitu kapal mengalami sudut kemiringan melintang yang besar akibat pengaruh beban tarik alat tangkap dan hasil tangkapan ikan dari dalam air, serta melakukan manouver dengan kecepatan dalam kurun waktu yang singkat dalam lintasan untuk membentuk lingkaran. Sebagai contoh kasus dimana ketika sudut kemiringan kapal yang makin besar maka operasi penangkapan dihentikan. Dari aspek desain kapal, terlihat bahwa ukuran kapal sangat mempengaruhi karakteristik kapal. Jika

ukuran lebar kapal lebih kecil maka kapal akan mengalami sudut keolengan yang besar [7].

Kapal penangkap ikan pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda yang berpangkalan di pelabuhan pendaratan ikan (PPI) Latuhalat, Laha, Hitu dan Waai, umumnya terbuat dari kayu, dalam pembuatannya tidak melalui proses rancang bangun perkapalan, hanya dilakukan menurut tradisi secara turun temurun. Hal ini sangat berdampak pada pengoperasian kapal tersebut, disamping dalam menghadapi kondisi laut di sekitar daerah penangkapan (*fishing ground*) yang tidak menentu, sangat mempengaruhi kinerja operasional nelayan, sehingga kadang operasi penangkapan terpaksa dihentikan.

Untuk meningkatkan operasional penangkapan bagi kapal kapal nelayan yang beroperasi di perairan laut Banda dan menjamin keselamatan kapal dan nelayan dilaut maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisa kelayakkan karakteristik desain teknis perbandingan ukuran utama kapal dan stabilitasnya. Hasil akhir dari penelitian ini adalah diperolehnya kapal kapal yang memenuhi standar dan yang tidak memenuhi standar desain rancang bangun kapal dengan karakteristik stabilitasnya, sehingga ada yang harus dibenahi proses rancang bangun kapalnya untuk meningkatkan stabilitasnya sehingga kapalnya laik laut.

## 2. BAHAN DAN METODE

Sebagai dasar untuk menganalisa perencanaan kapal pukatcincin yang beroperasi diperairan laut Banda didasarkan pada kriteria parameter standar nilai nilai karakteristik teknis desain kapal yaitu nilai perbandingan ukuran utama kapal dan stabilitas satatis.

Untuk menganalisa karakteristik teknis desain ukuran kapal digunakan nilai rasio kapal sebagai berikut:

- Nilai rasio ukuran utama Kapal [5,8,9] untuk mengetahui:
  - Kecepatan dan tahanan kapal dengan standar nilai perbandingan  $L/B = 3,10 - 4,30$
  - Kekuatan memanjang kapal dengan standar nilai perbandingan  $L/D = 9.50 - 11.00$
  - Stabilitas dan manover kapal dengan standar nilai perbandingan  $B/D = 2.10 - 5.00$
- Analisa ukuran kapal dan mengklasifikasinya digunakan sesuai Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No 10 pasal 16 ayat 3a. Perhitungan ukuran besarnya kapal ikan ditetapkan dalam ukuran Gross tonnage (GT) [10]. Untuk panjang kapal lebih kecil dari 24 meter, dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Gross Tonnage :GT} = \frac{L.B.D.CB}{2.83} \quad (1)$$

Untuk menganalisa karakteristik parameter desain stabilitas statis kapal - kapal pukat cincindigunakan persamaan menurut [11, 12].

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semulasesudah mengalami kemiringan akibat gaya gaya terhadap kapal [13], Fyson, mengatakan sebuah kapal dapat dikatakan stabil jika kapal tersebut dapat kembali ke posisi tegak setelah mendapat tekanan dan gaya sementara [5]. Menurut Munro Smith, 1975 terdapat dua gaya yang bekerja secara berlawanan, yang mempengaruhi stabilitas kapal. Pertama adalah gaya berat dari kapal yang menekan ke bawah melalui titik berat (G) dan gaya apung yang menekan ke atas melalui titik apung (B). Untuk menganalisa stabilitas kapal sesuai dengan gaya-gaya yang dapat mempengaruhi stabilitas di atas, maka akan dihitung posisi titik-titik stabilitas dan waktu periode oleng kapal dengan rumus [11, 12] sebagai berikut:

- Jarak titik apung ke Lunas

$$KB = d \left( 0.829 - 0.343 \times \frac{CB}{CW} \right) \text{ (m)} \quad (2)$$

- Jarak titik berat ke Lunas

$$KG = 0.7 D \text{ (meter)} \quad (3)$$

- Jarak titik apung ke metasenter

$$BM = \frac{B^2}{12} \text{ (meter)} \quad (4)$$

- Tinggi Metasenter

$$GM = KB + BM - KG \text{ ( meter )} \quad (5)$$

- Periode Oleng

$$TR = \frac{0.9 B}{\sqrt{GM}} \quad (6)$$

dimana :

d = Tinggi sarat air( m)

B = Lebar kapal(m)

D = Dalam kapal( m )

GM = Tinggi metasenter( m )

CB = Koefisien blok

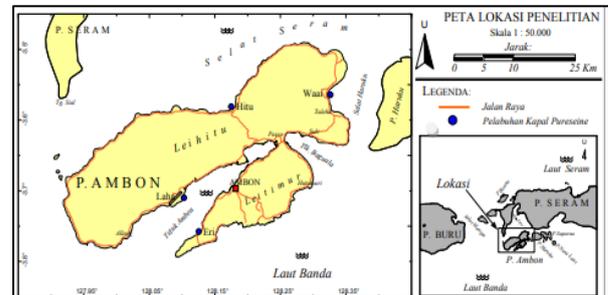
CW = Koefisien garis air

Analisis karakteristik parameter desain stabilitas statis kapal adalah untuk mengetahuikemampuan stabilitaskapaldengan parameter tinggi metasenter (GM) dan waktu periode oleng kapal (TR). Standard nilai untukmenganalisa karakteristik parameter stabilitas statis desain metasenterkapal pukat cincin ditetapkan menurut [14,15]

$$GM = 0.35-0.77 \text{ meter}$$

Standard nilai untuk menganalisa karakteristik parameter waktu periode oleng kapal pukat cincin ditetapkan menurut [8, 16]. TR = 4.5 - 7.0 detik

Penelitian dilakukan di Pulau Ambon pada kapal-kapal pukat cincin yang berpangkalan di pelabuhan pendaratan ikan (PPI) Latuhalat, Laha, Hitu dan Waai yang beroperasi diperairan laut Banda dari bulan Januari-Juni 2018. Lokasi penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Teknik pengumpulan data dilakukan sesuai pengamatan dan pengukuran kapal dilapangan, serta wawancara guna memperoleh data primer, dan pengutipan informasi dari berbagai tulisan ilmiah sesuai judul penelitian untuk memperoleh data sekunder.

Untuk memperoleh data primer pengambilan sampel dilakukan terhadap 45 kapal pukat cincin yang melakukan operasi penangkapan ikan diperairan laut Banda yang berpangkalan PPI desa Hitu, Waai, Laha dan Latuhalat untuk mendapatkan ukuran utama kapal dan tinggi sarat kapal. Alat dan bahan yang digunakan meter roll 25 meter, tali PE diameter 2 mm, bambu/gala, kertas gambar, alat tulis/gambar, pemberat, snorkeling dan komputer.

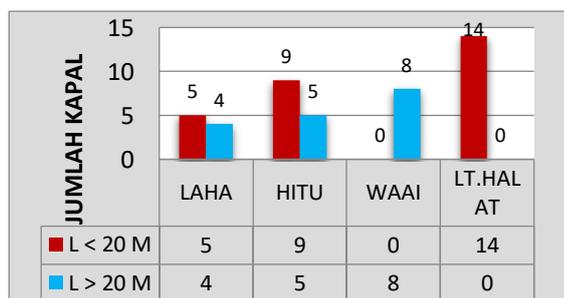
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda mempunyai karakteristik ukuran kapal yang beragam (Gambar 2) Klasifikasi ukuran panjang kapal [8] untuk panjang kapal lebih kecil dari 20 meter terdapat 28 kapal dan untuk ukuran panjang kapal lebih besar dari 20 meter sebanyak 17 kapal.

Dari tabel 1 terlihat konsentrasi ukuran kapal penelitian pukat cincin yang beroperasi perairan laut Banda dengan panjang kapal lebih kecil dari 20 meter, jumlah terbesar berada pada lokasi perairan Latuhalat, dengan jumlah 14 kapal, sedangkan jumlah ukuran terkecil dari panjang kapal terdapat di Laha dengan 5 kapal. Kapal pukat cincin dengan panjang lebih besar dari 20 meter jumlah terbesar terdapat di Waai dengan jumlah 8 kapal dan ukuran terkecil terdapat di Laha dengan jumlah 4 kapal.

Tabel 1. Ukuran pokok kapal pukat cincin

NO	NAMA KAPAL	UKURAN UTAMA KAPAL (M)				
		LOA	LBP	B	D	T
1	2	3	4	5	6	7
1	ALFI	17	15	2.7	1.5	1
2	ULUPUTIH 01	17	15.6	2.25	1.25	0.75
3	FAJAR ANGADA	17	15.5	2.6	1.2	0.7
4	GARUDA 05	17	16.6	3.3	1.25	0.75
5	GARUDA 02	17	15.4	3.25	1.25	0.75
6	DEWARUCI 02	19	17.5	3.6	1.5	1
7	MANUSELA	19	17	3	2	1.5
8	DEWARUCI 03	19.5	18	3.2	2	1.5
9	WAINDUA	19.5	17.6	3.25	2.25	1.75
10	PANDO	17	16.2	3.1	1.27	0.8
11	LAHA 005	19.5	17	3	1.5	1.5
12	PKS	19	18.2	5	1.75	1.25
13	LAHA 07	19	17.5	3.4	2.5	2
14	AJAN MIMI	15	14	3	1.8	1.3
15	KM BERKAT	17.5	16.2	2.8	1.25	0.75
16	GPI 05	14	12.5	3	1.5	1
17	BARISTA	17	15.5	3.2	1.2	0.7
18	FAJAR 01	19	17.5	3	1.3	0.8
19	SAM SAN 01	19.5	18	3	1.2	0.7
20	KM 007	17.5	16	3	1.4	0.9
21	ADE YENNY	17.5	16	3	1.5	1
22	TRIUMP	17.5	16	3.2	1.3	0.8
23	MIO 02	17	15	3	1.5	1
24	RISNA 07	17	16.5	3	1.8	1.3
25	KM FINA	17	15.5	2.8	1.75	1.25
26	RISNA 007	17	15.8	3.2	1.5	1
27	KM FIBER 05	17	15.5	3.2	1.4	0.9
28	WILSON	17.5	16.4	3.85	1.8	1.3
29	DWIFIN	21	19.5	3.1	1.75	1.25
30	MANUWAI 02	22.5	21	3.85	1.6	1.1
31	LEXTINA	21	18.5	3.6	1.5	1
32	CHRISLY	20.1	17.5	3.1	1.8	1.3
33	MANUSI INDAH	22.5	21.6	4.15	1.8	1.3
34	MANU INDAH	23.2	18	4.85	2.15	1.55
35	MANUWAI 01	23	21.5	4.15	1.8	1.3
36	PERIKANAN 01	20.2	18	4.2	1.76	1.26
37	LAHA 002	21	18.2	2.9	1.8	0.8
38	LAHA 006	22	19	3.4	2	1.25
39	LAHA 009	21	18.6	3.5	2.4	2.2
40	PERIKANAN 02	20.2	18	4.2	1.76	1.26
41	WAILUA 01	21	19.5	3.5	2	1.5
42	YABA HITU	21.5	20	3.5	2.5	2
43	ULUPUTIH 02	21	19.2	3.2	2.25	1.75
44	TIMI NUSA	23	21	3.25	2	1.5
45	WAILUA 02	21	19.5	3.3	2.25	1.75



Gambar 2. Klasifikasi Ukuran kapal Pukat Cincin yang beroperasi di laut Banda

### 3.1. Rasio Ukuran Pokok Kapal

Hasil perhitungan ukuran tonase kapal (Tabel 2) memperlihatkan bahwa kapal pukat cincin yang beroperasi perairan laut banda berkisar antara 10 – 50 GT. Sebaran ukuran ini dapat dikategorikan dalam tonase 10 – 20 GT sebanyak 22 unit, 21 – 30 GT sebanyak 13 unit, 31 – 50 GT sebanyak 10

unit. Sebaran ukuran tonase kapal menunjukkan ukuran 10 – 20 GT mendominasi kapal pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda. Hasil perbandingan ukuran utama kapal memberikan nilai karakteristik teknis desain untuk mengevaluasi apakah kapal pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda layak atau tidak layak untuk dapat beroperasi dan dapat menjamin keselamatan kapal dan nelayan selama melaut. Tabel 2 memperlihatkan bahwa rasio L/B yang memenuhi standar untuk tonase 10 – 50 GT adalah 4 kapal. Rasio L/D yang memenuhi standar untuk ukuran tonase 10 – 20 GT adalah 6 kapal. Rasio B/D yang memenuhi standar untuk ukuran tonase 10 – 20 GT adalah 16 kapal, untuk tonase 21 – 30 GT terdapat 4 kapal, dan untuk tonase 31 – 50 GT terdapat 4 kapal.

Tabel 2. Karakteristik perbandingan ukuran kapal pukat cincin

NO. KAPAL	GT KAPAL	NILAI PERBANDINGAN UKURAN POKOK KAPAL		
		L/B	L/D	B/D
1	2	3	4	5
1	10	5.55	10	1.8
2	10	6.93	12.48	1.75
3	11	5.96	12.92	2.16
4	14	5.03	13.28	2.64
5	15	4.74	12.32	2.6
6	21	4.86	11.67	2.4
7	23	5.67	8.5	1.5
8	26	5.62	9	1.6
9	29	5.42	7.82	1.44
10	13	5.23	12.76	2.44
11	18	5.66	11.33	2
12	14	1.64	5.46	3.33
13	29	5.14	7	1.36
14	14	4.67	9.33	2
15	12	5.78	12.96	2.24
16	13	4.16	8.33	2
17	14	4.84	12.92	2.66
18	15	5.83	13.46	2
19	15	6	15	2.5
20	15	5.33	11.43	1.66
21	16	5.33	10.67	2.14
22	16	5	12.31	2.46
23	16	5	10	2
24	17	4.94	10.53	2.13
25	18	5.54	8.86	1.6
26	19	5.5	9.17	1.66
27	16	4.84	11.07	2.28
28	23	4.26	9.11	2.14
29	23	6.29	15.6	1.77
30	29	5.44	13.12	2.41
31	24	5.14	12.33	2.4
32	25	5.64	9.72	1.72
33	34	5.21	12	2.31
34	47	3.71	8.37	2.25
35	36	5.81	11.94	2.31
36	31	6.13	10.86	2.38
37	20	6.27	10.11	1.61
38	27	5.58	9.5	1.7
39	34	5.31	7.75	1.45
40	23	6.12	10.85	1.71
41	30	6.93	12.48	1.75
42	40	5.74	8	1.4
43	31	4.86	11.67	1.42
44	32	6.46	10.5	1.62
45	32	5.01	8.67	1.47

Hasil perhitungan pada Tabel 2 menunjukkan semua kapal pukat cincin yang melaut di perairan Banda belum memenuhi keempat standar rasio ukuran pokok kapal. Untuk nilai perbandingan L/B sebagian besar tidak memenuhi standar desain kapal karena terdapat 36 kapal dengan rasio L/B 80 % lebih besar dari standar, diikuti dengan nilai perbandingan L/D 23 kapal, mempunyai 15 % ratio lebih kecil dari standar dan 51 % ratio lebih besar dari standar. Terdapat B/D 21 kapal dengan ratio 46.67 % lebih kecil dari standar. Sedangkan kapal dengan nilai perbandingan yang memenuhi standar adalah B/D = 24 kapal, L/D = 15 kapal dan L/B = 4 kapal.

### 3.2. Analisa Rasio Ukuran Utama Kapal

Nilai perbandingan lebar dan tinggi geladak kapal digunakan untuk menganalisa stabilitas, kemampuan olah gerak dan manover kapal [7] Standar nilai perbandingan B/D ditetapkan menurut jenis kapal ikan pukat cincin dengan nilai perbandingan untuk panjang kapal lebih kecil dari 22 meter nilai B/D = 2.10 – 5.00 dengan rata-rata B/D = 3.0. Dari hasil perhitungan nilai perbandingan B/D untuk 45 kapal pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda diketahui nilai perbandingan B/D = 2.21, hasil ini terbukti lebih kecil dari nilai rata-rata B/D standar. Apabila dibandingkan dengan nilai B/D kapal-kapal pukat cincin yang berpangkalan di perairan Bitung dengan rasio B/D = 2.62 [17] sehingga kapal pukat cincin di perairan laut Banda masih lebih kecil, menunjukkan tinggi sampai geladak kapalnya lebih besar sehingga turut mempengaruhi stabilitas dan manover kapal. Untuk meningkatkan nilai perbandingan karakteristik desain B/D yang lebih kecil tersebut adalah dengan menambah lebar kapal sehingga stabilitas dan manovernya semakin baik. Analisa Stabilitas Statis Kapal

- **Parameter Stabilitas GM & TR**

Karakteristik teknis desain stabilitas statis adalah untuk menunjukkan kemampuan stabilitas kapal yang dihitung pada kondisi air tenang dengan tanpa muatan atau deplasemen kapal kosong. Hasil perhitungan tinggi metasenter (GM) dan waktu periode oleng kapal (TR) yang akan menunjukkan apakah stabilitas kapalnya terlihat stabil, netral atau tidak stabil.

Karakteristik parameter stabilitas kapal pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda diperlihatkan pada Tabel 3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai KG berkisar antara 0,84 – 1,57 meter, nilai KM berkisar antara 0,92 – 2,1

meter. Nilai GM berkisar antara 0,00– 0,80 meter, dan nilai TR (waktu periode oleng kapal) berkisar antara 2,97 – 9.54 detik.

- **Tinggi Metasenter (GM)**

Tinggi metasenter adalah jarak antara titik berat (B) dengan titik metasenter (M), titik ini dapat berubah sesuai dengan kemiringan kapal. Sebuah kapal dinyatakan stabil apabila titik GM lebih besar dari 0. Standard stabilitas GM untuk kapal ikan menurut [14] lebih besar dari 0.35 meter. Menurut [15],  $GM = 0.7 - 0.77$  meter. Sebagai standar adalah 0.35 – 0.77 meter. Tinggi titik GM untuk 45 kapal yang beroperasi di perairan laut Banda dengan klasifikasi 10 – 50 GT, terdapat 11 kapal dengan tonase 10 – 20 GT memenuhi standar, stabilitasnya baik (positif) karena posisi titik berat (G) berada dibawah titik M. Terdapat 11 kapal berada dibawah nilai standard GM lebih kecil 0.35 meter, kapalnya tidak stabil atau stabilitas negatif karena titik G berada diatas titik M. Untuk tonase 21-30 GT 4 kapal memenuhi standar, dan 9 kapal nilai GM lebih kecil standar. Untuk tonase 31 – 50 GT 3 kapal memenuhi standar nilai GM, 5 kapal tidak memenuhi standar nilai GM karena lebih kecil dari 0.35 meter. Terdapat 1 kapal dengan nilai  $GM = 0$  kapalnya berada dalam kondisi stabilitas netral karena posisi titik G berimpit dengan titik M. Kapal dengan klasifikasi menurut panjang. Untuk ukuran < 20 meter terdapat 13 kapal nilai GM memenuhi standar, 14 kapal nilai GM lebih kecil standar. Untuk ukuran kapal > 20 meter, terdapat 6 kapal memenuhi standar 1 kapal nilai  $GM = 0$ , terdapat 1 kapal nilai GM lebih besar standar dan 10 kapal nilai GM lebih kecil standar.

Untuk meningkatkan stabilitas kapal untuk tetap pada posisi stabil maka kedudukan titik G tidak boleh melewati titik Metasenter (M).

- **Waktu periode oleng (TR)**

Waktu periode oleng kapal adalah salah satu kriteria desain stabilitas kapal untuk memberikan kenyamanan dan keselamatan nelayan dalam operasi penangkapan ikan dilaut. Waktu yang dibutuhkan selang periode oleng kapal adalah untuk mengembalikan kapal pada posisi netral setelah mengalami gaya-gaya luar akibat gelombang, angin, arus dan pengaruh alat tangkap dalam operasi penangkapan. Waktu periode oleng kapal perikanan menurut [16]  $TR = 5.5 - 7.0$  detik. Menurut [8] untuk kapal ikan,  $TR = 4.5 - 7.0$  detik. Sebagai standar ditetapkan  $TR = 4.5 - 7$  detk.

Tabel 3. Karakteristik Parameter Titik Stabilitas

NO	GT	KARAKTERISTIK POSISI TITIK STABILITAS & PERIODE OLENGKAPAL				
		KB	BM	KG	GM	TR
1	2	3	4	5	7	8
1	10	0.43	0.81	0.84	0.40	3.70
2	10	0.46	0.56	0.87	0.15	5.27
3	11	0.43	0.81	0.84	0.40	3.70
4	14	0.46	1.21	0.87	0.80	3.32
5	15	0.46	1.17	0.87	0.76	3.35
6	21	0.62	1.08	1.05	0.65	4.02
7	23	0.81	0.50	1.30	0.11	8.18
8	26	0.93	0.50	1.30	0.13	7.50
9	29	1.08	0.50	1.46	0.12	8.34
10	13	0.54	1.00	0.88	0.66	3.43
11	18	0.54	0.75	1.05	0.24	5.51
12	14	0.53	2.00	1.00	1.53	3.64
13	29	1.08	0.51	1.50	0.21	6.65
14	14	0.54	0.75	1.00	0.29	5.00
15	12	0.42	0.87	0.87	0.42	3.89
16	13	0.55	0.75	1.00	0.30	4.93
17	14	0.54	0.77	0.84	0.41	4.50
18	15	0.44	0.94	0.91	0.43	4.10
19	15	0.39	0.53	0.84	0.08	9.54
20	15	0.50	0.83	0.98	0.35	4.56
21	16	0.55	0.75	1.05	0.25	5.40
22	16	0.44	1.06	0.91	0.59	3.75
23	16	0.55	0.75	1.05	0.35	4.87
24	17	0.55	0.85	1.05	0.35	4.87
25	18	0.69	0.54	1.02	0.21	5.48
26	19	0.55	0.85	1.05	0.35	4.87
27	16	0.50	0.94	0.98	0.46	4.25
28	23	0.70	0.95	1.26	0.39	5.50
29	23	0.67	0.64	1.22	0.09	9.30
30	29	0.64	1.12	1.12	0.64	4.33
31	24	0.60	1.08	1.05	0.63	4.08
32	25	0.77	0.62	1.26	0.13	7.74
33	34	0.76	1.10	1.26	0.60	4.82
34	47	0.84	1.26	1.39	0.71	5.19
35	36	0.76	1.10	1.26	0.60	4.82
36	31	0.75	1.16	1.23	0.68	4.58
37	20	0.65	0.58	0.96	0.27	5.02
38	27	0.81	0.64	1.20	0.25	6.12
39	34	1.08	0.51	1.44	0.15	8.28
40	23	0.67	0.64	1.22	0.09	9.30
41	30	0.93	0.68	1.40	0.21	6.87
42	40	1.13	0.48	1.50	0.11	9.54
43	31	1.09	0.49	1.46	0.12	8.23
44	32	0.59	0.80	1.20	0.19	6.72
45	32	1.08	0.49	1.57	0.00	2.97

Dari hasil perhitungan tabel 3 diketahui waktu periode oleng 45 kapal dengan ukuran tonase 10 – 50 GT, dikategorikan dalam 3 waktu periode oleng kapal yaitu normal, cepat dan lambat. Terdapat 19 kapal dengan waktu normal (stabilitas positif), 25 kapal dengan waktu yang cepat. Terdapat 1 kapal dengan waktu yang lambat (stabilitas negatif). Waktu periode oleng rata rata standar adalah 5.75 detik, sedangkan waktu rata rata periode oleng kapal pukat cincin

yang beroperasi diperairan laut Banda masih lebih kecil yaitu 5.63 detik. Untuk kapal dengan tonase 10 – 30 GT rata rata TR termasuk kapal dengan waktu periode oleng yang cepat atau stabilitas negatif, sehingga menimbulkan ketidaknyamanan bagi nelayan dalam operasional penangkapan. Kapal dengan TR lambat mudah mengalami kecelakaan karena, waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan kapal pada posisi tegak, sangat lambat terutama pada kondisi

*fishing ground* dengan cuaca buruk. Untuk kapal dengan panjang lebih besar dari 20 meter waktu rata-rata periode olengnya adalah 6.34 detik, TR kapal ini termasuk dalam waktu yang normal dari standar yang ditentukan dan lebih besar 0.71 detik dari waktu TR rata-rata standar kapal perikanan. Sehingga kemampuan stabilitas kapal dengan waktu periode olengnya lebih baik dibandingkan kapal dengan ukuran tonase 10 – 30 GT.

#### 4. KESIMPULAN

Parameter teknis desain ukuran pokok kapal pukat cincin yang beroperasi di perairan laut Banda belum sepenuhnya memenuhi standar teknis desain. Karakteristik perbandingan L/B, sebagian besar tidak memenuhi standar yaitu 91,11%, demikian rasio L/D hanya 66,67% sedangkan rasio B/D adalah 46,67% tidak memenuhi standar.

Karakteristik parameter stabilitas statis untuk nilai GM terdapat 26 kapal atau 57.77% tidak memenuhi standar, sedangkan TR yang memenuhi standar adalah 42.23%.

Untuk meningkatkan stabilitas kapal pada saat kembali dari *fishing ground*, hasil tangkapan baiknya dimasukkan didalam palka ikan.

Untuk meningkatkan operasional penangkapan dan keselamatan kapal dan nelayan dilaut dibutuhkan kerjasama pemerintah, akademisi dan pengrajin kapal untuk membangun kapal ikan sesuai standar desain kapal, khususnya type pukat cincin di Maluku.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] WPP. 2019. *Potensi 11 wilayah Pengelolaan Perikanan*. <https://dari.laut.id>
- [2] FAO, Food Agriculture Organization. 2009. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2008*. Rome (IT)
- [3] Ayodhya, 1985. *Suatu Pengenalan Fishing Gear*. Fakultas Perikanan. IPB. Bogor.
- [4] Pasaribu, B. P. 1986. *Pengembangan Kapal Ikan di Indonesia Dalam Rangka Implementasi wawasan Nusantara*. Prosiding.IPB. Bogor
- [5] Fyson, J. 1985. *Design of Small Fishing Vessels*.FAO United Nations. Fishing New book Ltd. Englands
- [6] Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, 2011. *Kajian Analisa Trend Kecelakaan Transportasi Laut Tahun 2003 – 2008*. KNKT Jakarta.
- [7] Poelsh. H. 1979. *Ship Design And Ship Theory*. Lecture Partly And Repeated At Makasar And Ambon
- [8] BKI, 2004. *Rules for the Clasificaton of Seagoing Steel Ship* . PT Bina Cakrawala Utama. Jakarta
- [9] Ayodhya, 1972. *Fishing Boat Correspondece Course Center*. Fakultas Perikanan. IPB. Bogor
- [10] Departemen Kelautan Dan Perikanan RI, 2009. *Undang Undang Nomor 31 Tahun 2009 Tentang Jenis Kapal Perikanan*.Jakarta.
- [11] Hind.J.Anthony.1982. *Stability And Trim Of Fishing Vessels*. Second Edition Fishing News books Ltd. London.
- [12] Sarohchman Kusdi, 1981. *Perencanaan Dan Pengolahan Kapal Ikan*. Fakultas Perikanan. IPB. Bogor.
- [13] Nomura,M and Yamazaki,T. 1977. *Fishing Techniques*. Japan International Agency Tokyo.
- [14] Smith Munro. R. 1980. *Merchant Ship Design*. The University of Liverpool Hutchinson London.
- [15] Bhattacharya. R. 1978. *Dynamic of Marine Vichcles*. Jhon Willey and Son inc,new.
- [16] Traung. J. O. 1990. *Fishing Boat of the Word, 2*. Published by Fishing News (book) England
- [17] Saiye,Z.1995. *Studi Tentang Beberapa Karakteristik Dinamis Kapal Pukat Cincin Di Kecamatan Bitung*, Jurnal. Fakultas Perikanan Universitas Samratulangi. Manado.

# PERBANDINGAN KAPAL MONOHULL, CATAMARAN, TRIMARAN BERDASARKAN TINJAUAN OPERASIONAL PENGGUNAAN BAHAN BAKAR

Jacobus Tupan<sup>1,\*</sup>, Richard Benny Luhulima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [jtupan@gmail.com](mailto:jtupan@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [richardluhulima26@gmail.com](mailto:richardluhulima26@gmail.com)

**Abstrak.** Secara umum armada penangkapan ikan yang beroperasi di perairan Maluku dan dikelola oleh pengusaha lokal terdiri dari kapal penangkap ikan monohull dan trimaran dengan cadik. Kapal penangkap ikan monohull memiliki ruang geladak yang terbatas dan stabilitas melintang yang kurang baik, sedangkan kapal jenis trimaran memiliki ruang geladak yang lebih baik dan stabilitas melintang dibandingkan kapal monohull, namun karena masih dalam bentuk cadik maka ruangnya terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan kapal penangkap ikan trimaran ditinjau dari kebutuhan energi, keselamatan dan kenyamanan awak kapal selama operasi penangkapan. Tahap awal penelitian ini diawali dengan analisis data dan ukuran pokok kapal penangkap ikan monohull yang beroperasi di perairan Maluku, dari data tersebut dirancang bentuk lambung kapal trimaran. Perhitungan hambatan dengan menggunakan CFD, kemudian dianalisis perhitungan hambatan dan stabilitas, keselamatan dan kenyamanan kapal dengan menggunakan Maxsurf. Kapal Trimaran hambatan memiliki 8,86% lebih kecil dari monohull dan 3,25% lebih kecil dari katamaran. Penggunaan Energi (EHP) terbukti kapal trimaran lebih dari mode kapal lainnya. Periode trimaran rata-rata adalah 10,5 detik yang memenuhi standar IMO dan dinyatakan baik untuk operasional.

Kata kunci: *CFD, Monohull, Catamaran, Trimaran, Fuel Use*

**Abstract.** In general, fishing fleets operating in Maluku waters and managed by local entrepreneurs consist of monohull and trimaran fishing vessels with outriggers. Monohull fishing vessels have limited deck space and poor transverse stability, while trimaran-type vessels have better deck space and transverse stability than monohull vessels, but because they are still in the form of outriggers, the space is limited. This study aims to examine the development of the trimaran fishing vessel in terms of energy requirements, safety, and comfort of the crew during fishing operations. The initial stage of this research begins with data analysis and the basic size of monohull fishing vessels operating in Maluku waters, from this data the shape of the trimaran hull is designed. Calculation of resistance using CFD, then analyzed the calculation of resistance and stability, safety, and comfort of the ship using Maxsurf. The drag Trimaran is 8.86% smaller than a monohull and 3.25% smaller than a catamaran. Energy Usage (EHP) is proven by trimaran ships more than other ship modes. The average trimaran period is 10.5 seconds which meets IMO standards and is declared operationally good.

Keywords: *CFD, Monohull, Catamaran, Trimaran, Fuel Use*

## 1. PENDAHULUAN

Perairan Maluku merupakan perairan yang relatif tenang antara pulau-pulau yang berdekatan dan sangat bergelombang untuk laut lepas dan pulau-pulau yang relatif berjauhan. Dengan memiliki dua zona laut dengan karakteristik berbeda yaitu laut terbatas yang masih

dikategorikan sebagai laut tenang karena ketinggian gelombang masih dibawah 1 meter. Di sisi lain, jalur pelayaran laut terbuka dengan kondisi iklim dan cuaca yang berubah sangat cepat serta ketinggian gelombang yang dapat mencapai ketinggian 3-5 meter cenderung menimbulkan ketidaknyamanan bahkan mengancam

keselamatan kehidupan di laut. Jalur pelayaran yang sering menjadi perhatian banyak pihak baik Pemerintah maupun operator kapal adalah alur pelayaran dari Ambon ke Maluku Tenggara dan jalur pelayaran dari Ambon ke Pulau Halmahera, Maluku Utara yang harus dilalui jalur pelayaran laut lepas.

Sejalan dengan perkembangan teknologi desain kapal yang berkembang sangat pesat, dalam tiga puluh tahun terakhir ini terjadi banyak peningkatan permintaan kapal, baik kapal monohull, kapal dua badan (catamaran) maupun kapal tiga badan (trimaran). aplikasi untuk kapal penumpang (feri), fasilitas olah raga (sporting craft) dan kapal penelitian oseanografi serta kapal pukat [1]. Ketiga jenis kapal diatas masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu diperhatikan saat akan kita gunakan.

Kapal monohull sudah ada sejak lama dan sudah banyak digunakan untuk kapal penumpang, pengangkut peti kemas dan kargo cair, kapal perang, dan lain-lain, lihat Gambar 1 (a). Jika dibandingkan dengan kapal monohull, kapal jenis katamaran memiliki beberapa keunggulan antara lain layout akomodasi yang lebih menarik, peningkatan stabilitas transversal dan dalam beberapa kasus mampu menurunkan daya dorong

kapal untuk mencapai kecepatan layanan tertentu [2], lihat Gambar 1 (b). Pada Gambar 1 (c) Kapal Trimaran merupakan kapal multihull, terdiri dari satu main hull dan dua sidehull yang ukurannya cenderung lebih pendek dan terletak di kedua sisi main hull. Bentuk lambung kapal trimaran merupakan pengembangan dari bentuk lambung tunggal yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan kapal yang diikuti dengan pengurangan tenaga yang dibutuhkan. Investigasi terhadap lambung trimaran telah menunjukkan bahwa bentuk lambung trimaran memiliki hambatan yang lebih kecil pada kecepatan tinggi jika dibandingkan dengan lambung trimaran dan lambung tunggal.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Hambatan Kapal Monohull

William Froude [3] pertama kali memperkenalkan hambatan kapal total yang terdiri dari dua komponen yaitu tahanan sisa dan gesekan. Hambatan sisa dalam hal ini meliputi komponen energi pembatas sistem pembuat gelombang, pusaran arus dan kehilangan energi kental akibat bentuk lambung kapal.



(a) Monohull



(b) Katamaran



(c) Trimaran

Gambar 1. Tipe Kapal

Sedangkan tahanan gesek kapal diasumsikan sama dengan tahanan gesek pelat datar 2 dimensi yang memiliki luas permukaan basah yang sama dan bergerak di air dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan kapal.

$$C_T = C_F + C_R \quad (1)$$

Metode analisis 2 dimensi yang disebutkan di atas tidak cukup mencerminkan kontribusi bentuk / kontur lambung (yang merupakan 3 dimensi) terhadap tahanan kental, sehingga kemudian Hughes [4] memperkenalkan metode yang akan digunakan dalam model kapal. Korelasi dimana resistansi total adalah jumlah dari 3 komponen:

- Hambatan Gesek adalah gaya tegangan tangensial yang timbul antara molekul air dan lambung kapal, yang kemudian bertindak sebagai tahanan luas permukaan dengan luas dan panjang yang sama dengan model.
- Hambatan bentuk adalah komponen hambatan yang dinyatakan dalam angka 'k', yang merupakan hambatan di luar batas item di atas jika lambung kapal terendam cukup dalam.
- Hambatan permukaan bebas sebagai hambatan gelombang ( $C_W$ ) merupakan hambatan yang timbul akibat pergerakan kapal relatif terhadap air sehingga timbul perbedaan tekanan pada permukaan basah kapal yang pada akhirnya menimbulkan pola gelombang. Hambatan gelombang adalah pengurangan hambatan total ( $C_T$ ) dari jumlah hambatan gesekan ( $C_F$ ) dan hambatan bentuk ( $C_{F0}$ ) model.

$$C_T = C_F + C_{F0} + C_W$$

dimana

$$C_{F0} = kC_F \quad (2)$$

$$C_T = (1+k)C_F + C_W \quad (3)$$

$(1 + k)$  disebut faktor bentuk dan dapat diperoleh dari percobaan pada kecepatan rendah ( $Fr < 0.1$ ) dimana  $C_W$  dapat diabaikan, sehingga faktor bentuk dapat dihitung dengan:

$$(1 + k) = \frac{C_T}{C_{F0}} \quad (4)$$

Selanjutnya standar internasional dari ITTC [5] mengklasifikasikan hambatan kapal di perairan tenang, secara praktis menjadi 2 (dua) komponen hambatan utama, yaitu tahanan kekentalan (*viscous resistance*) yang berhubungan dengan

bilangan Reynolds dan hambatan gelombang yang bergantung pada bilangan Froude, dimana korelasi dari kedua komponen hambatan tersebut ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$C_T = (1+k)C_F + C_W \quad (5)$$

## 2.2. Hambatan Kapal Katamaran

Hambatan kapal katamaran memiliki fenomena yang lebih kompleks daripada monohull, akibat pengaruh interferensi dan interaksi antara kedua lambung kapal.

Interferensi lambung adalah aliran simetris air di sekitar lambung (*demihull*) yang asimetris akibat interaksi aliran antar lambung, yaitu besarnya tekanan yang timbul di sekitar lambung relatif simetris terhadap garis tengah lambung. Periksa apakah laju aliran di sekitar lambung (*demihull*) meningkat, terutama di area dalam (sisi terowongan). Peningkatan kecepatan menyebabkan peningkatan ketahanan gesekan kulit dan mengubah faktor form. Ketinggian ombak di punggung batang dalam dan luar berbeda, sehingga aliran air pada batang menunjukkan arah ke dalam atau ke luar. Ini menghasilkan percikan/sibakan di bagian belakang lambung yang pada gilirannya menciptakan komponen tarikan.

Interferensi gelombang terjadi pada lambung kapal katamaran yang bergerak berdampingan pada kecepatan tertentu, sehingga dapat diamati pengaruh interferensi dan interaksi hambatan gelombang yang dihasilkan. Karena perubahan tekanan lingkungan, hal itu menyebabkan gelombang. Di demihull bisa berubah. Dengan kata lain, formasi gelombang lambung dapat berbeda dengan lambung terisolasi. Interaksi gelombang yang disebabkan oleh lambung dapat terjadi. Gelombang transversal dari satu lambung kapal selalu diperkuat oleh yang lain, sedangkan gelombang hamburan yang terjadi di depan (haluan) salah satu lambung dapat dinegasikan dengan hamburan gelombang di belakang (batang) dari sisi lain atau dengan pantulan yang sama. gelombang depan dari sisi lain.

Dari uraian tersebut terlihat bahwa pengaruh interferensi viskos dan gelombang sangat signifikan pada kapal katamaran. Interferensi viskos disebabkan oleh aliran asimetris di sekitar lambung kapal yang mempengaruhi pembentukan lapisan batas, sedangkan gangguan gelombang disebabkan oleh interaksi gelombang yang dihasilkan oleh masing-masing lambung.

Pada bagian ini, komponen koefisien interaksi hambatan pada demihull (katamaran) dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}(C_T)_{CAT} &= (1 + k_{CAT})(C_F)_{CAT} + (C_W)_{CAT} \\ &= (1 + \phi k)\sigma C_F + \tau C_W\end{aligned}\quad (6)$$

Dimana:

$\phi$  = gangguan faktor bentuk, yang disebabkan oleh perubahan tekanan yang terjadi antara kedua lambung kapal

$\sigma$  = faktor interferensi gesekan (*friction*) yang disebabkan oleh terjadinya peningkatan kecepatan aliran antara kedua lambung kapal.

$\tau$  = faktor interferensi hambatan gelombang (*wave*) yang disebabkan oleh pertemuan dua mode gelombang (haluan) antara kedua lambung.

### 2.3. Hambatan Kapal Trimaran

Fitur desain yang disempurnakan dari trimaran mengarah pada pengurangan hambatan sisa, namun konsekuensinya adalah bentuk hambatan baru: posisi dekat lambung terpisah mengarah ke interaksi hambatan total.

Hambatan total untuk lambung trimaran adalah  $R_T$  pada mainhull dan dua resistansi yang sama pada sidehull  $R_{T\text{Sidehull}}$  and  $R_{T\text{Mainhull}}$ , yang dirumuskan menjadi:

$$R_T = 2R_{T\text{Sidehull}} + R_{T\text{Mainhull}}\quad (7)$$

Seperti disebutkan, interaksi gelombang disebabkan oleh posisi berbagai lambung dengan mengacu pada pemisahan, yang menyiratkan bahwa jika lambung diposisikan sedemikian rupa sehingga tidak ada interaksi antara lambung, maka tidak ada hambatan interferensi yang akan dialami. Dengan menyelidiki variasi pemisahan, hambatan interferensi ini dapat dikurangi, dihilangkan, dan bahkan dimanfaatkan. Hal yang menarik adalah bahwa meskipun interferensi akan menyebabkan lambung menjadi tidak efisien, ada beberapa posisi ketika interferensi tersebut menghasilkan situasi yang menguntungkan ketika dan kapal lengkap akan mengalami hambatan yang lebih kecil daripada penambahan lambung individu yang bertindak secara terpisah.

Resistensi interferensi ini dapat dihitung, sedemikian rupa sehingga:

$$R_T = 3R_{THull} + \Delta R_{TV} + \Delta R_{TW}\quad (8)$$

$$R_T = 3R_{THull} + R_{interference}\quad (9)$$

di mana  $\Delta R_{TV}$  dan  $\Delta R_{TW}$  dapat dikelompokkan sebagai interferensi hambatan kapal trimaran ( $R_{interference}$ ).

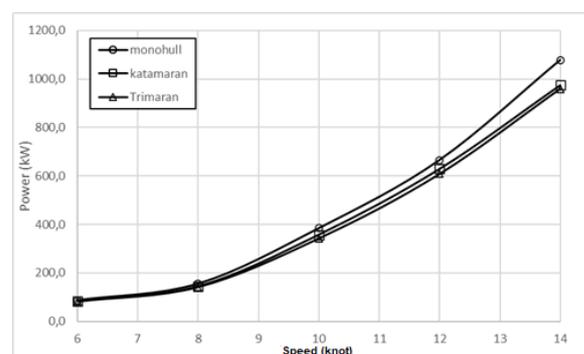
Rumusan empiris untuk memperkirakan hambatan total trimaran sejauh ini belum diketahui dan sangat bergantung pada hasil eksperimen. Ini juga dikaitkan dengan publikasi minimum tentang resistensi trimaran baik secara eksperimental maupun numerik.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hambatan Kapal

Hasil perhitungan hambatan menunjukkan bahwa kapal dengan lambung trimaran memiliki hambatan yang paling kecil. Dengan daya tahan 98,5 kN dengan kecepatan 12 knot. Hambatan kapal Trimaran memiliki selisih rata-rata 9,4% dengan kapal monohull dan 2,3% terhadap kapal katamaran (Pada Tabel 2 nilai negatif menunjukkan harga yang lebih kecil dibandingkan kapal pembandingan).

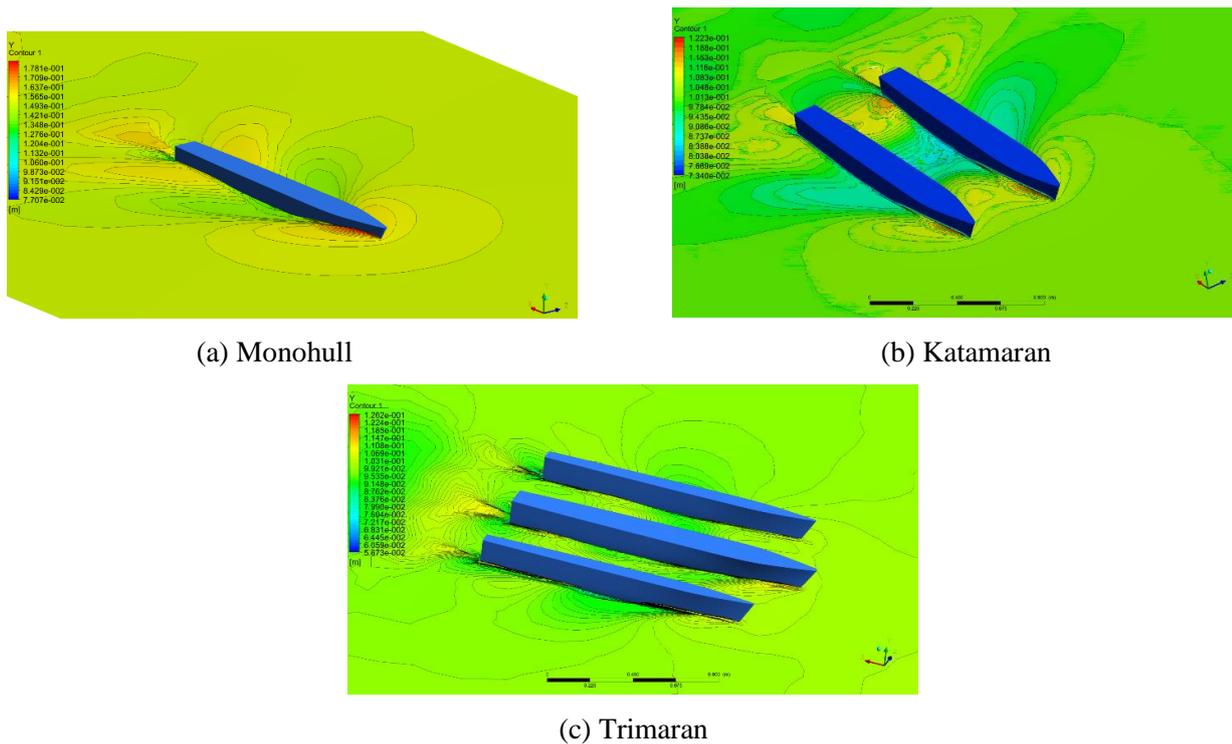
Perhitungan Engine Effective Power (EHP) juga menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu kapal trimaran membutuhkan daya paling kecil diantara kapal pembandingan lainnya. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 2, dimana kapal Trimaran dengan kecepatan 12 knot membutuhkan tenaga sebesar 608,08 kW, sedangkan kapal katamaran membutuhkan tenaga 629,16 kW, dan kapal monohull membutuhkan tenaga 665,43 kW. Hal ini menunjukkan kapal trimaran memiliki keunggulan dalam menggunakan tenaga mesin yang lebih sedikit, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kosumsi Bahan Bakar

Tabel 2. Hambatan Total

Speed (knot)	Resistance (kN)			Perbedaan (%)		
	Monohull	Catamaran	Trimaran	Monohull- Catamaran	Monohull- Trimaran	Catamaran- Trimaran
6	28.3	27.2	26.9	-3.8	-5.1	-1.1
8	37.8	35.1	34.7	-7.1	-8.9	-1.3
10	74.7	69.5	66.6	-6.9	-11.7	-4.2
12	107.8	101.9	98.5	-5.4	-9.1	-3.4
14	149.7	135.4	133.2	-9.5	-12.2	-1.7
	Average			-6.6	-9.4	-2.3



Gambar 3. CFD Simulation of Ship

Bentuk flat hull atau thin ship hull ( $L / B \gg$ ), kontribusi hambatan gelombang lebih besar dari pada hambatan gelombang terhadap hambatan total. Resistensi kental (yang didominasi oleh resistensi gesekan) meningkat dengan bertambahnya panjang lambung. Dengan bertambahnya panjang atau luas area basah maka gaya gesek permukaan juga akan meningkat. Sedangkan untuk tahanan gelombang pada umumnya menjadi lebih kecil dengan bertambahnya panjang lambung kapal (untuk displacement tetap).

### 3.2. Estimasi Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Operasional

Konsumsi bahan bakar di kapal dapat diperkirakan dengan rumus berikut.

$$Fuel\ Consumption = \frac{P_s \times b_{me} \times C_{RX} \times 10^{-6}}{V_s} \quad (10)$$

Dimana  $P_s$  adalah tenaga kapal (kW),  $b_{me}$  adalah bahan bakar spesifik ( $b_{me\ oil} = 135\ g / BPHPh$ ),  $CR$  adalah jarak jelajah (nautical miles) dan  $V_s$  adalah kecepatan kapal (m/s).

Perhitungan konsumsi bahan bakar tenaga kapal dalam perhitungan ini diambil nilai konsumsi bahan bakar spesifik  $135\ g / BPHPh$ . Nilai ini dianggap sebagai batasan masalah. Perhitungan. Tenaga yang didapat dari perhitungan merupakan daya efektif (EHP) sehingga untuk perhitungannya harus dicari daya horsepower (BHP) yang merupakan tenaga yang harus dikeluarkan oleh mesin untuk mencapai daya dorong efektif.

Tabel 3. Perhitungan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional

Speed (kn)	Konsumsi Bahan Bakar (Ton)			Operational Cost (USD)		
	Monohull	Catamaran	Trimaran	Monohull	Catamaran	Trimaran
6	1.91	1.84	1.82	120.2	115.5	114.2
8	2.55	2.37	2.34	160.5	149.1	147.2
10	5.04	4.69	4.49	317.2	295.2	282.8
12	7.28	6.88	6.65	457.7	432.8	418.3
14	10.0	9.14	8.99	635.6	575.1	565.4
Average	5.38	4.98	4.86	338.2	313.5	305.6

Tenaga yang didapat adalah maximum continuous range (MCR) dari mesin yang akan digunakan. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar dan rasio bobot DWT. Harga solar untuk kapal masih berfluktuasi dengan kisaran harga Rp 0.63 Perhitungannya pun dilakukan dengan jarak pelayaran 500 mil.

Perhitungan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional kapal ditunjukkan pada Tabel 3. Kapal Trimaran memiliki rata-rata konsumsi bahan bakar terkecil yaitu 4,86 ton, sedangkan untuk katamaran sebesar 4,98 ton dan pada monohull 5,38 ton. Hal ini menunjukkan bahwa kapal trimaran memiliki keunggulan konsumsi bahan bakar yang rendah (hemat).

Hal ini berkorelasi dengan biaya operasional kapal. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, Biaya Operasional (Konsumsi Bahan Bakar) adalah USD305.6 untuk kapal trimaran dan USD313.5 untuk kapal Catamaran dan USD338.2 untuk kapal monohull. Kapal Trimaran membutuhkan biaya operasional paling sedikit dibandingkan jenis kapal lainnya.

#### 4. KESIMPULAN

Perhitungan biaya operasional kapal berdasarkan konsumsi bahan bakar diperoleh dari hasil perhitungan lindung nilai kapal dan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kapal Trimaran memiliki hambatan terkecil yaitu 98,5 kN dengan kecepatan 12 knot. Hambatan kapal Trimaran memiliki perbedaan rata-rata 9,4% dengan kapal monohull dan 2,3% terhadap kapal katamaran.
2. Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Operasi Kapal ditunjukkan pada Tabel 4.5. Kapal Trimaran memiliki konsumsi bahan bakar rata-rata terkecil 4,86 ton, sedangkan katamaran 4,98 ton dan monohull 5,38 ton.

3. Biaya Operasional (Konsumsi Bahan Bakar) USD305.6 di kapal trimaran; Rp. USD313.5 untuk kapal Catamaran dan USD338.2 untuk kapal monohull. Kapal Trimaran membutuhkan biaya operasional paling sedikit dibandingkan jenis kapal lainnya. Kapal Trimaran memiliki potensi yang cukup baik untuk dikembangkan sebagai kapal pengangkut penumpang di perairan Maluku

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pattimura yang telah mendanai pekerjaan saat ini

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Javanmardi, E. E. Jahanbakhsh, M. Seif, and H. Sayyaadi, “Hydrodynamic Analysis of Trimaran Vessels,” *Polish Maritime Research*, vol. 15, no. 1, pp. 11–18, Jun. 2008, doi: 10.2478/v10012-007-0046-5.
- [2] M. Insel and A. F. Molland, “an Investigation into the resistance components of high speed displacement catamarans,” 1992, Accessed: Aug. 10, 2021. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=440256>
- [3] W. Froude, “William Froude,” *Nature*, vol. 20, no. 502, pp. 148–150, Jun. 1879, doi: 10.1038/020148a0.
- [4] G. Hughes, “Friction and form resistance in turbulent flow, and a proposed formulation for use in model and ship correlation,” *National Physical Laboratory, NPL, Ship Division, Presented at the Institution of Naval Architects, Paper No. 7, London, April, RINA Transactions 1954-16*, 1954, Accessed: Aug. 10, 2021. [Online]. Available: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uid%3A9a642c53-27f0-45fe-a5e4-5e1296b62af1>

- [5] ITTC, “ITTC – Recommended Procedures; Testing and Extrapolation Methods Resistance Resistance Test.” ITTC, 2002. [Online]. Available: <https://itc.info/media/2019/75-02-02-01.pdf>

## PENGEMBANGAN KAPAL PERIKANAN TRIMARAN: KAJIAN MENGENAI KEBUTUHAN TENAGA KAPAL, KEAMANAN DAN KENYAMANAN

Richard Benny Luhulima<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [richardluhulima26@gmail.com](mailto:richardluhulima26@gmail.com)

**Abstrak.** Secara umum armada penangkapan ikan yang beroperasi di perairan Maluku dan dikelola oleh pengusaha lokal terdiri dari kapal penangkap ikan monohull dan trimaran dengan cadik. Kapal penangkap ikan monohull memiliki ruang geladak yang terbatas dan stabilitas melintang yang kurang baik, sedangkan kapal jenis trimaran memiliki ruang geladak yang lebih baik dan stabilitas melintang dibandingkan kapal monohull, namun karena masih dalam bentuk cadik maka ruangnya terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan kapal penangkap ikan trimaran ditinjau dari kebutuhan energi, keselamatan dan kenyamanan awak kapal selama operasi penangkapan. Tahap awal penelitian ini diawali dengan analisis data dan ukuran pokok kapal penangkap ikan monohull yang beroperasi di perairan Maluku, dari data tersebut dirancang bentuk lambung kapal trimaran. Perhitungan hambatan dengan menggunakan CFD, kemudian dianalisis perhitungan hambatan dan stabilitas, keselamatan dan kenyamanan kapal dengan menggunakan Maxsurf. Kapal Trimaran hambatan memiliki 8,86% lebih kecil dari monohull dan 3,25% lebih kecil dari katamaran. Penggunaan Energi (EHP) terbukti kapal trimaran lebih dari mode kapal lainnya. Periode trimaran rata-rata adalah 10,5 detik yang memenuhi standar IMO dan dinyatakan baik untuk operasional.

Kata kunci: Kapal Perikanan Trimaran, Hambatan, Kebutuhan Daya, Kenyamanan

**Abstract.** In general, the fishing fleets operating in Maluku waters are consisted of monohull and trimaran vessels with outriggers managed by local entrepreneurs. Monohull fishing vessels have limited deck space and low transverse stability, whereas trimaran fishing vessels have more deck space and greater transverse stability than monohull fishing vessels, but space is still limited due to their outrigger shape. This study aimed to analyze the development of the trimaran fishing vessel in terms of energy requirements, safety and comfort of the crew during fishing operations. At the beginning of this research, data analysis was undertaken and the basic size of monohull fishing vessels operating in Maluku waters, from this data the shape of the trimaran hull was then designed. Resistance was calculated using CFD, and then the resistance, stability, safety, and comfort of the ship were examined using Maxsurf. The trimaran vessel's barrier was 8.86% smaller than a monohull and 3.25% smaller than a catamaran. Trimaran vessels consumed more energy than other vessel types. The average trimaran period was 10.5 seconds which met IMO standards and was declared as operationally good.

Keywords: Trimaran Fishing Vessel, Barriers, Power Requirements, Comfort

### 1. PENDAHULUAN

Sebagai provinsi yang 92% wilayahnya merupakan perairan, sektor kelautan dan perikanan di Provinsi Maluku merupakan sumber utama pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut. Potensi perikanan tangkap di Maluku tercatat 1,72 juta per

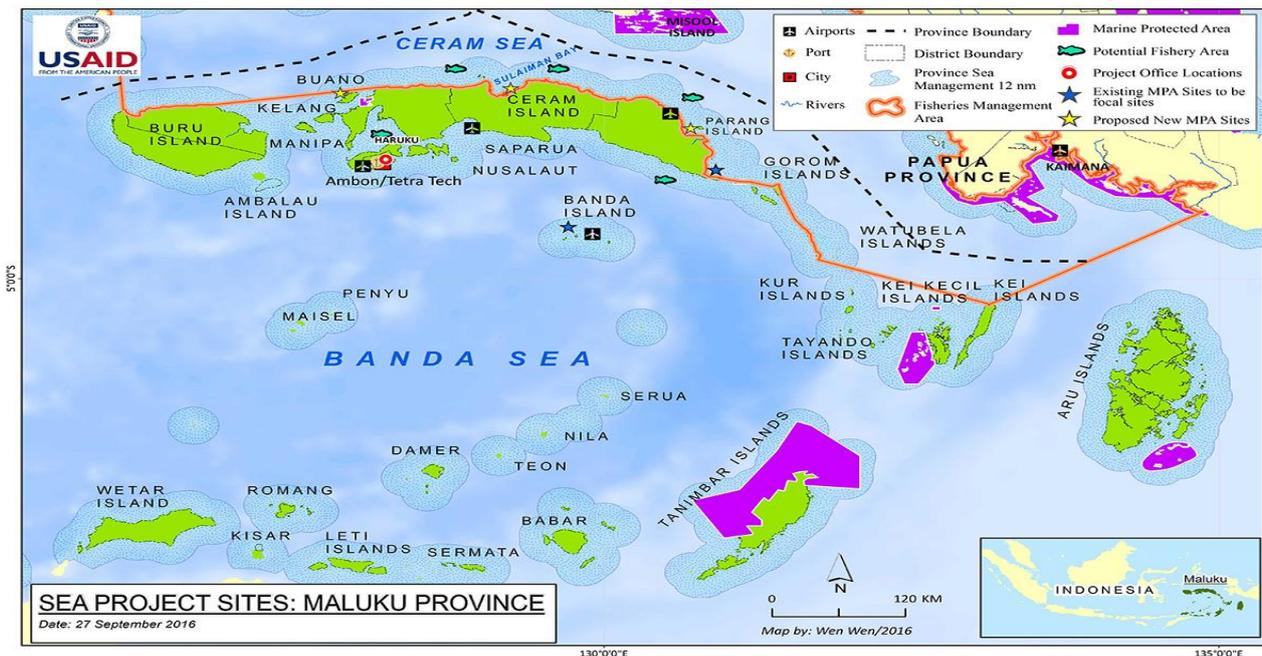
tahun. Hal ini mendorong pemerintah Indonesia menetapkan Maluku sebagai "Lumbung Ikan Nasional". Dalam konteks global, Maluku merupakan bagian penting dari keanekaragaman hayati laut dunia, mengingat provinsi ini memiliki

76% jenis karang dunia dan 37% jenis ikan karang dunia.

Penangkapan ikan berlebihan merupakan salah satu ancaman utama bagi sektor perikanan Maluku yang meliputi eksploitasi udang dan tuna mata besar, kakap, kerapu, flying fish, dan tuna albakora. Minimnya ketersediaan data, misalnya data terkait ikan pelagis kecil dan ikan pelagis besar serta jenis migrasi serta informasi nilai dan status terumbu karang, padang lamun dan ekosistem muara (muara) di Provinsi Maluku menjadi tantangan lain. dalam upaya pengelolaan perikanan di Provinsi Maluku. Pengelolaan kawasan konservasi laut yang belum optimal menambah daftar panjang ancaman sektor perikanan Maluku. Pengembangan wilayah pesisir yang tidak ramah lingkungan serta pencemaran akibat pengembangan perairan umum perlu dikelola melalui perencanaan zonasi perairan yang baik. Upaya penegakan hukum diperlukan untuk mengatasi maraknya praktik penangkapan ikan ilegal, tidak diatur dan tidak dilaporkan (Illegal, Unregulated, and Unreported/ IUU Fishing), penangkapan ikan hiu, praktik penangkapan ikan yang merusak, kejahatan terhadap satwa liar, dan kurangnya kapasitas pemangku kepentingan terkait.

Nelayan perlu memiliki perahu yang bagus untuk bisa menangkap ikan secara optimal. Kapal nelayan yang beroperasi di perairan Maluku sering mengalami kecelakaan di laut pada saat melakukan

operasi penangkapan ikan yang disebabkan oleh faktor cuaca ekstrim, overloading dan human error. Salah satu cara untuk meningkatkan stabilitas kapal nelayan adalah dengan mengubah bentuk lambung monohull menjadi trimaran. Palsanya, bentuk kapal monohull yang banyak dijumpai di perairan Maluku memiliki beberapa kekurangan terkait stabilitas kapal, serta keterbatasan ruang muat. Keunggulan trimaran adalah memiliki stabilitas yang lebih baik, daya jelajah yang lebih jauh, serta memiliki hambatan dan gesekan kapal yang lebih kecil dibandingkan dengan lambung monohull [1]. Oleh karena itu sebagai upaya meminimalisir kecelakaan kapal dapat dilakukan dengan penerapan penggunaan kapal jenis trimaran sebagai salah satu alternatif dalam pengadaan dan penambahan kapal penangkap ikan di Maluku. Kapal Trimaran merupakan pengembangan dari model kapal dengan sistem multi lambung. Kapal trimaran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kapal monohull [2], misalnya pada ukuran kapal dengan lebar yang sama maka tahanan gesek kapal trimaran lebih kecil, sehingga memiliki daya dorong dengan kecepatan yang sama lebih besar. Area geladak kapal trimaran lebih lebar dari pada kapal dengan tipe lambung kapal monohull. Volume terendam dan area basah yang relatif lebih kecil, stabilitas lebih baik karena memiliki banyak lambung [3].



Gambar 1. Provinsi Maluku

Pengembangan kapal penangkap ikan Trimaran belum pernah dilakukan oleh instansi dalam maupun luar negeri. Pemilihan Hull Trimaran sangat penting karena memiliki permukaan dek yang besar dan juga memiliki stabilitas yang baik. Permukaan geladak yang besar memungkinkan anggota kru bergerak dengan bebas. Kapal Perikanan Trimaran merupakan salah satu bentuk Rencana Strategis Unggulan UNPATTI untuk menjadi pusat rujukan ilmu pengetahuan dan teknologi nasional di bidang Pelayaran dan Perikanan.

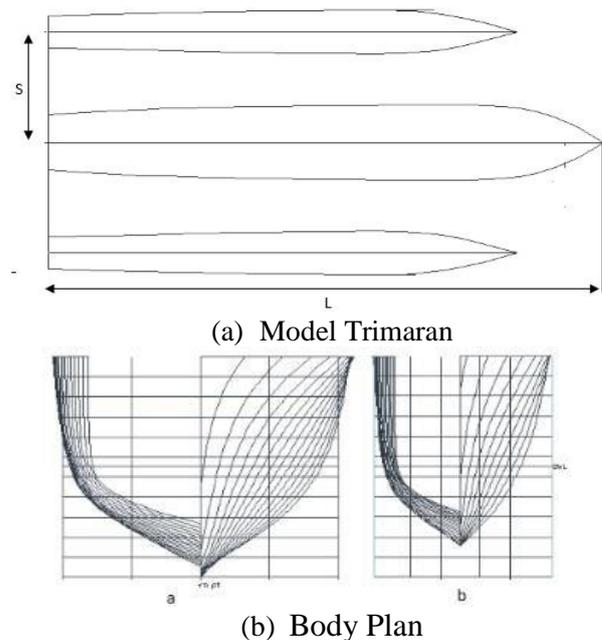
Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan bentuk lambung kapal nelayan trimaran. Penelitian ini difokuskan pada kajian pengembangan kapal penangkap ikan trimaran ditinjau dari kebutuhan energi, keamanan dan kenyamanan kapal selama operasi penangkapan. Rumusan masalah yang dirumuskan adalah: Analisis perkembangan kapal penangkap ikan trimaran ditinjau dari aspek kebutuhan energi, keselamatan dan kenyamanan nahkoda dan awak kapal. Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan kecelakaan kapal penangkap ikan selama operasi di tempat penangkapan ikan dan mengurangi Power.

Dari penelitian yang dilakukan dapat diperoleh model kapal ikan trimaran yang efektif dan hemat daya. Hasil dari teknologi tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan dengan baik untuk meningkatkan hasil tangkapan yang optimal dan memenuhi kriteria keamanan lingkungan serta memperoleh hasil tangkapan yang melimpah.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Dalam simulasi akan diketahui besarnya komponen tahanan yang bekerja pada lambung trimaran. Simulasi pemodelan permukaan bebas (pada media air dan udara) digunakan untuk menghitung hambatan total pada lambung kapal. Dinding domain fluida dalam kondisi free slip yaitu tegangan geser pada dinding bernilai nol dan kecepatan di dekat dinding tidak mengalami perlambatan akibat pengaruh gesekan dinding. Dalam simulasi ini, model dibuat dalam kondisi tanpa selip (yaitu terjadi gesekan pada permukaan model). Sedangkan untuk menghitung tahanan kental, lambung kapal dibenamkan (dalam media air) sampai penuh dengan air dengan asumsi kondisi batas atas dinding kokoh dan bebas slip. Kemudian hambatan gelombang dapat dihitung dari selisih nilai hambatan total dan hambatan viskos

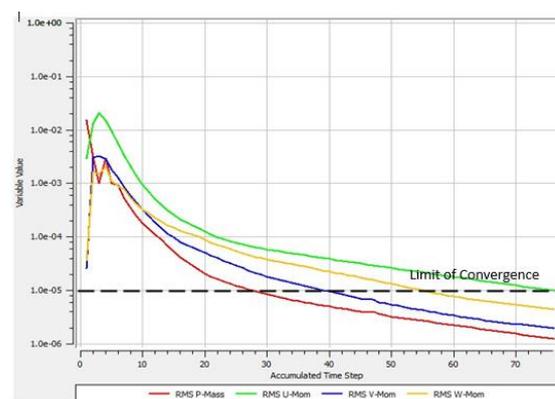


Gambar 2. Trimaran Configuration,  $S/L=0.2$

## 2.2. Metodologi

### 1. Konvergensi

Pada tahap ini, proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol oleh persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan tidak sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka perhitungan akan dilanjutkan. Berikut ini adalah beberapa grafik RMS yang menunjukkan konvergensi dari proses iterasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3

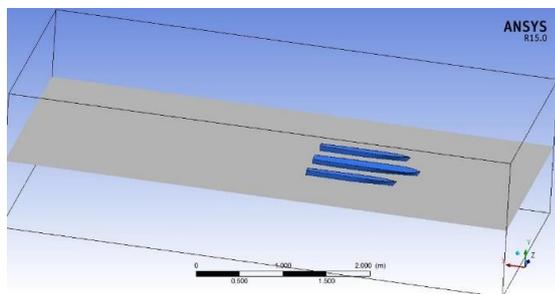


Gambar 3. Konvergensi

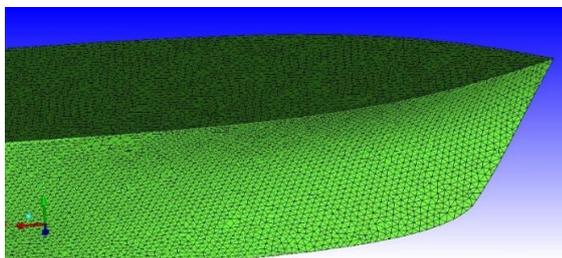
Kriteria root-mean square (RMS) yang digunakan untuk memeriksa konvergensi simulasi permukaan bebas adalah nilai target sisa (nilai variabel) yang mencapai  $10^{-5}$ . Kriteria target (nilai variabel) diterapkan secara luas dalam rekayasa komputasi, seperti yang direkomendasikan dalam manual ANSYS ICEM [5] dan [6].

**2. Grid Independence**

Banyaknya sel atau grid yang digunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang diperoleh karena banyaknya sel mempengaruhi perubahan bentuk geometris selama pemrosesan hasil. Gambar 5.2 menunjukkan domain komputasi awal. Batas boudary di depan lambung mencapai 1,5 kali panjang model lambung, di belakang lambung 4 kali panjang lambung. Kemudian panjang model ke samping 1,5 kali, dan jarak di atas 2,5 kali panjang model dan di bawah 2 kali panjang model lambung. Jarak ini cukup untuk menghindari efek penyumbatan [7], [8]. Perhitungan mesh yang digunakan (perhitungan aliran multifase) terdiri dari 1.582.580 elemen grid



(a) Numerical Domain



(b) Mesing Model

Gambar 4. Simulai Model Trimaran

Kualitas atau jumlah mesh grid sangat penting untuk konvergensi dan akurasi simulasi / perhitungan CFD. Kualitas dan nilai grid dibahas secara rinci oleh [9] dan [10]. Jumlah elemen jaring, 1582.580 untuk lambung trimaran cukup optimal dan akurat, dimana jumlah elemen yang digunakan dalam perhitungan menunjukkan bahwa grid independent. Nilai resistansi untuk jumlah elemen jaring (grid) 1.582.580 dan 2.875.830 adalah konstan dan sama. Sehingga dapat dikatakan bahwa 1.582.580 mesh number yang terpilih pada komputasi CFD telah memenuhi tingkat akurasi yang cukup baik

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Hambatan dan Daya**

Koefisien komponen drag trimaran simetris dalam konfigurasi jarak transversal lambung (S/L). Untuk konfigurasi lambung kapal trimaran S/L = 0,2, disajikan secara pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa tahanan kental lebih besar (dominan) daripada tahanan gelombang pada Fr <0,27. Hal ini dikarenakan jarak lambung yang cukup dekat sehingga fluida antar lambung yang mengenai lambung kapal akan terpantul ke lambung lain yang berada di aliran dalam.

Koefisien tahanan kental sangat dominan pada Fr <0,22 kemudian pada S / L > 0,22 Koefisien tahanan gelombang mulai meningkat, tetapi koefisien tahanan kental lebih dominan pada S / L <0,27. Hal ini ditunjukkan pada tabel 1. Gambar 5 menunjukkan bahwa interferensi viskos lebih dominan daripada interferensi resistansi.

Tabel 1. Koefisien Hambatan Kapal

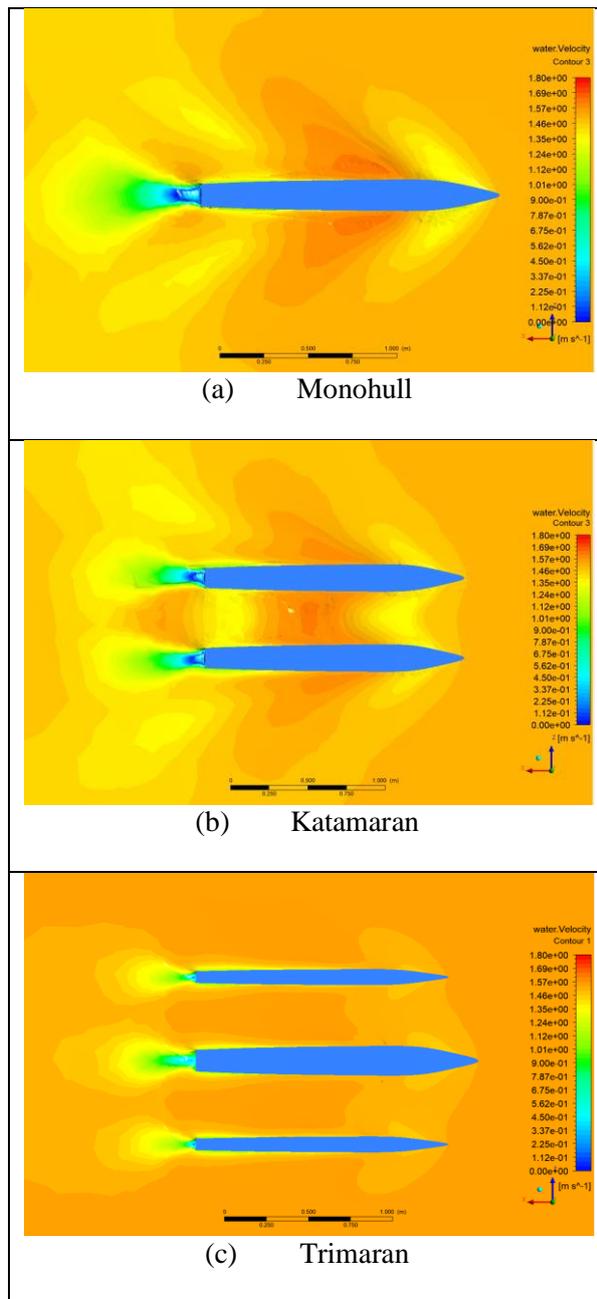
Fr	Koefisien Hambatan Total (C <sub>T</sub> )	Koefisien Hambatan Viskos (C <sub>T</sub> )	Koefisien Hambatan Gelombang (C <sub>T</sub> )
0,15	4,270	3,980	0,29
0,17	4,558	3,820	0,738
0,19	4,623	3,372	1,251
0,21	5,135	3,078	2,057
0,23	5,608	3,164	2,444
0,25	6,001	3,364	2,637
0,27	6,165	3,308	2,857

Tabel 2. Koefisien Hambatan Total

Fr	CFD		
	Monohull	Katamaran	Trimaran
0,15	4,491	4,291	4,270
0,17	4,848	4,648	4,558
0,19	5,258	4,803	4,623
0,21	5,965	5,265	5,135
0,23	6,295	5,947	5,608
0,25	6,443	6,293	6,001
0,27	6,653	6,333	6,165

Kapal trimaran memiliki nilai hambatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan mode kapal lainnya. Hal ini ditunjukkan pada tabel 2, dimana kapal Trimaran memiliki hambatan 8,86% lebih kecil dari pada monohull dan 3,25% lebih kecil daripada katamaran. Penurunan hambatan pada tipe trimaran maupun katamaran adalah karena efek positif inferensi antar lambung, dimana pertemuan efek gelombang akibat lambung kapal saling menghilangkan. Akibatnya, aliran antara

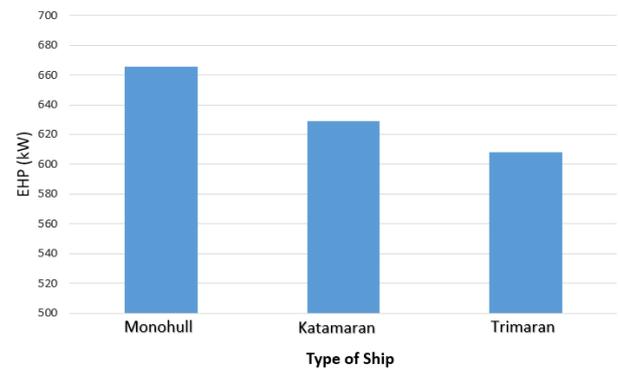
lambung kapal menjadi berkurang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi Kecepatan berbagai tipe kapal

Perhitungan Engine Effective Power (EHP) juga menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu kapal trimaran membutuhkan daya paling kecil diantara kapal pembanding lainnya. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 6. Dimana, kapal Trimaran dengan kecepatan 12 knot membutuhkan tenaga sebesar 608,08 kW, sedangkan untuk katamaran membutuhkan tenaga 629,16 kW dan kapal monohull membutuhkan tenaga 665,43 kW. Hal ini menunjukkan kapal

trimaran memiliki keunggulan dalam menggunakan tenaga mesin yang lebih sedikit.



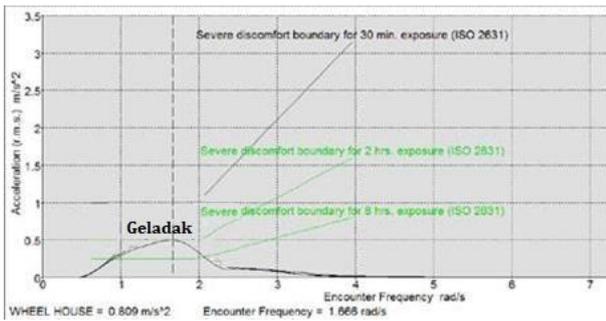
Gambar 6. Daya Efektif (EHP)

Bentuk flat hull atau thin ship hull ( $L/B \gg$ ), kontribusi hambatan gelombang lebih besar dari pada hambatan gelombang terhadap hambatan total. Resistensi kental (yang didominasi oleh tahanan gesekan) meningkat dengan bertambahnya panjang lambung [11]. Dengan bertambahnya panjang atau luas area basah maka gaya gesek permukaan juga akan meningkat. Sedangkan untuk tahanan gelombang pada umumnya menjadi lebih kecil dengan bertambahnya panjang lambung kapal (untuk displacement tetap).

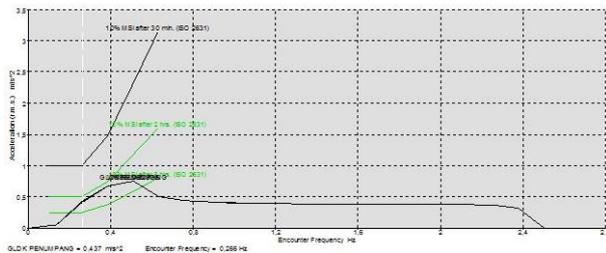
**A. Kenyamanan dan Keselamatan**

Kenyamanan kapal ditunjukkan dengan indikasi pengukuran MSI (Motion Sickness Index) yang ditentukan oleh lokasi jarak jauh di geladak [12]. Sedangkan untuk data gelombang dan arah gelombang yang telah dihitung di atas.

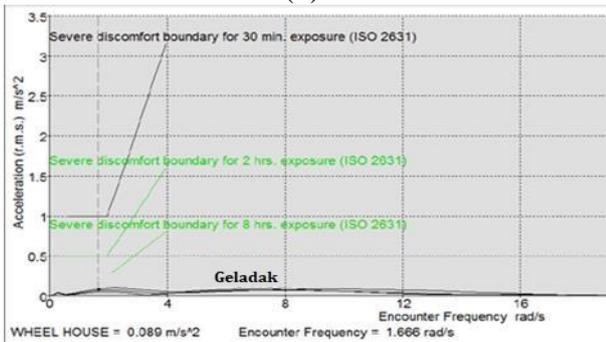
Saat awal beroperasi dengan arah gelombang 1800 (head seas), terjadi MSI maksimal di geladak setelah 2 jam. Dimana, pada saat itu frekuensi encounter sebesar 1.666 Hz dengan nilai percepatan vertikal sebesar 0.503 m/s<sup>2</sup>. Saat kapal mengikuti ombak (following seas/ 00) maka kapal sangat stabil, dan diprediksi tidak ada awak kapal yang akan mengalami mabuk laut. Pada kondisi kapal melawan gelombang dari arah 1350, di lokasi pengukuran (geladak) maka awak kapal akan mengalami mabuk laut setelah 8 jam pelayaran. Dan kasus tertinggi ditemui pada frekuensi 0,35 Hz dan percepatan vertikal 0,250 m / s<sup>2</sup>



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. MSI Kapal Trimaran S/L = 0,2, (a) Heading Seas (180<sup>0</sup>), (b) Quartering Seas (45<sup>0</sup>), (c) Following Seas (0<sup>0</sup>)

Menurut [13], periode gelombang dapat dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{2\pi CB}{\sqrt{gGM}} \quad (1)$$

Dimana :

T = Periode

$$C = 0.373 + 0.023(B/D) - 0.043(LPP/100) \\ = 0.373 + 0.023(10.4/2.85) - 0.043(46/100) \\ = 0.437$$

B = Lebar

GM = Titik Metacenter

Rumus periode momen:

$$\text{Periode Momen} = \text{Displasemen} \times GM \quad (2) \\ = 10.5 \text{ s}$$

Waktu guncangan kapal trimaran menurut peraturan International Maritime Organization (IMO) sekitar 10 - 14,5 detik, dan Kapal Trimaran

ikan memiliki masa guncangan sekitar 10,5 detik sehingga masih memenuhi persyaratan IMO.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi perhitungan kapal Trimaran, dapat disimpulkan beberapa hasil sebagai berikut.

1. Kapal trimaran memiliki nilai hambatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan mode kapal lainnya, Kapal Trimaran memiliki hambatan 8,86% lebih kecil dari pada monohull dan 3,25% lebih kecil daripada katamaran.
2. Perhitungan EHP pada kecepatan 12 knot menunjukkan Trimaran membutuhkan tenaga sebesar 608,08 kW, sedangkan untuk katamaran membutuhkan tenaga 629,16 kW dan kapal monohull membutuhkan tenaga 665,43 kW.
3. Kapal Trimaran memiliki respon percepatan vertikal tertinggi saat kapal bergerak melawan arah ombak (heading sea), dimana pada kecepatan kapal 15 knot, tinggi gelombang 2,5 meter dan periode gelombang rata-rata 7,2 detik menyebabkan percepatan vertikal masing-masing 0,806 m/s<sup>2</sup> dan 0,503 m/s<sup>2</sup> di geladak.
4. Periode guncangan trimaran rata-rata 10,5 detik, sehingga pada trimaran memenuhi standar IMO (10-14,5 detik) dan dinyatakan baik (nyaman).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pattimura yang telah mendanai penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. B. Luhulima, I. K. A. P. Utama, and J. H. Chen, “Preliminary study into the selection of passenger and cargo vessels for Eastern Indonesia,” in *RINA, Royal Institution of Naval Architects - International Conference on Ship and Offshore Technology, ICSOT Indonesia 2012: Developments in Ship Design and Construction*, 2012.
- [2] R. B. Luhulima and I. K. A. P. Utama, “Selecting Mono- And Multi-Hull Passenger Vessels For Moluccas Waters: Resistance/Powering And Seakeeping Evaluation,” in *The 13th International Conference on QiR, 25-28 June 2013. Jogjakarta, Indonesia*, 2013.
- [3] R. B. Luhulima, I. K. A. P. Utama, Sutiyo, and B. Suwasono, “CFD Analysis into the Correlation between Resistance and

- Seakeeping of Trimaran Configuration,” in *Proceeding of Marine Safety and Maritime Installation (MSMI 2018)*, 2018, pp. 9–11, doi: 10.23977/msmi.2018.82637.
- [4] ITTC, “ITTC-Recommended Procedures and Guidelines: Practical Guidelines for Ship CFD Applications,” 2011.
- [5] ANSYS, *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*. Canonsburg, PA, USA: Ansys Inc, 2020.
- [6] T. Dinham-Peren, C. Craddock, A. Lebas, and A. Ganguly, “Use Of CFD For Hull Form And Appendage Design Assessment On An Offshore Patrol Vessel And The Identification Of A Wake Focussing Effect,” *RINAMarine CFD 2008*, 2008.
- [7] I. K. A. P. Utama, “Investigation of the viscous resistance components of catamaran forms (Ph.D Dissertation),” University of Southampton, UK., 1999.
- [8] Y. Ahmed and C. Guedes Soares, “Simulation of free surface flow around a VLCC hull using viscous and potential flow methods,” *Ocean Eng.*, 2009, doi: 10.1016/j.oceaneng.2009.03.010.
- [9] J. D. Anderson, *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. New York, USA. pp. 526-532: McGraw-Hill, 1995.
- [10] R. Deng, D. B. Huang, L. Yu, X. K. Cheng, and H. G. Liang, “Research on Factors of a Flow Field Affecting Catamaran Resistance Calculation,” *Harbin Gongcheng Daxue Xuebao/Journal Harbin Eng. Univ.*, 2011, doi: 10.3969/j.issn.1006-7043.2011.02.002.
- [11] E. O. Tuck, D. C. Scullen, and L. Lazauskas, “Wave Patterns and Minimum Wave Resistance for High-Speed Vessels,” *24th Symp. Nav. Hydrodyn.*, 2002.
- [12] IMO, “IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation,” *Int. Marit. Organ.*, no. January, pp. 1–59, 2016.
- [13] F. Zouridakis, “A Preliminary Design Tool for Resistance and Powering Prediction of Catamaran Vessels,” Massachusetts Institute of Technology, 2005.

## ANALISA TITIK KRITIS GERAKAN ROLL KAPAL TRIMARAN UNTUK DIAPLIKASI PADA KAPAL IKAN PURSE SEINE

Fella Gaspersz<sup>1,\*</sup>, Ricard Benny Luhulima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [fella.gsp73@gmail.com](mailto:fella.gsp73@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [richardluhulima26@gmail.com](mailto:richardluhulima26@gmail.com).

**Abstrak.** Industri penangkapan dan pengolahan perikanan laut merupakan industri yang rentan terhadap pengaruh cuaca ekstrim di laut. Efek pemanasan global serta dampak El-Nino dan La-Nina sangat berpengaruh pada proses upwelling yang berdampak pada pola hidup dan ekosistem biota laut termasuk ikan pelagis yang merupakan salah satu penyumbang terbesar dari sektor perkapalan. Perairan Maluku didominasi oleh kondisi cuaca ekstrim dengan ketinggian gelombang 1-5 meter. Pada kondisi laut ekstrim sebagian besar nelayan memilih untuk tidak melaut bukan karena tidak adanya ikan pada fishing ground tetapi untuk menghindari kecelakaan di laut. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa titik kritis gerakan roll kapal serta stabilitas kapal, di mana bentuk lambung kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapal ikan monohull dan kapal ikan trimaran dengan deplasement yang sama yaitu 21,1 ton. Maxsurf software digunakan untuk menganalisa respon kapal khususnya titik kritis gerakan roll kapal pada kondisi cuaca ekstrim. Dalam perhitungan stabilitas kapal digunakan Standard IMO. Kecepatan kapal saat beroperasi digunakan  $v = 3$  knot dengan variasi sudut datang gelombang antara 00 - 1800. Untuk tinggi gelombang digunakan 1,0; 2,0; 3,0 dan 0,4 meter yang mewakili kondisi cuaca ekstrim yang terjadi pada daerah penangkapan di perairan Maluku. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapal dengan tipe lambung trimaran memiliki stabilitas yang lebih baik di mana stabilitas kapal trimaran memiliki sudut oleng sebesar 480 sedangkan monohull sebesar 410. Kapal ikan trimaran mampu bertahan pada ketinggian gelombang 3 meter dengan sudut oleng 32,560 kapal ikan monohull mampu bertahan pada ketinggian gelombang 2 meter dengan sudut olehng 24,690. Kapal ikan monohull memiliki batas maksimal gerakan roll pada arah gelombang 82 dan 99 dengan ketinggian gelombang 3 m, pada ketinggian 4 meter kapal ikan monohull memiliki titik kritis pada sudut 43 dan 138. Sedangkan pada kapal ikan trimaran memiliki titik kritis pada sudut arah gelombang 760 dan 1000 dengan tinggi gelombang 4 meter. Pada daerah diantara dua sudut tersebut, kapal ikan monohull dan trimaran akan kehilangan keseimbangan (stabilitas) gerakan roll yang dapat mengakibatkan terjadinya capsized.

Kata kunci: Kapal Pukat Cincin, Gerakan Roll, Stabilitas

*Abstract.* The marine fisheries catching and processing industry are considered vulnerable to the effects of extreme weather at sea. Global warming effects and El Nino and La Nina have a significant impact on the upwelling process, which impacts the lifestyle and environment of marine biota, including pelagic fish, which is one of the most important contributors to the shipping industry. Extreme weather conditions, with wave heights ranging from 1 to 5 meters, dominate the waters of Maluku. In extreme sea conditions, most fishers choose not to go fishing, not because there are no fish at the fishing grounds, but to avoid mishaps at sea. This research aimed to analyze the critical point of ship roll motion and ship stability. The hull shape employed in this study was a monohull fishing vessel and a trimaran fishing vessel with the same displacement of 21,1 tons. In extreme weather conditions, the Maxsurf software was used to analyze the ship's response, especially the critical point of the ship's roll motion. The I.M.O. Standard was utilized to calculate the ship's stability. The operational speed of the ship was  $v = 3$  knots, with

*fluctuations in wave angle of incidence between  $0^{\circ}$  -  $180^{\circ}$ . Wave heights of 1,0; 2,0; 3,0, and 0,4 meters represent extreme weather conditions in Maluku waters' fishing grounds. The findings revealed that the trimaran hull type had better stability where the inclination angle of trimaran vessel stability was  $48^{\circ}$  while the monohull was  $41^{\circ}$ . The trimaran fishing vessel was able to withstand a wave height of 3 meters with an inclination angle of  $32,56^{\circ}$ . In comparison, the monohull fishing vessel was able to survive at a wave height of 2 meters with an inclination angle of  $24,69^{\circ}$ . Monohull fishing vessel had a maximum limit of roll motion at wave directions 82 and 99 with a wave height of 3 m, and it reached at the critical point at angles of 43 and 138, at the height of 4 m. Meanwhile, the trimaran fishing vessel had a critical point at a wave angle of  $76^{\circ}$  and  $100^{\circ}$  with a wave height of 4 meters. In the area between those two angles, monohull and trimaran fishing vessels will lose the balance (stability) of the roll motion, resulting in capsizing.*

*Keywords: Monohull, Trimaran, Roll Motion, Stability Parameter*

## 1. PENDAHULUAN

Industri penangkapan dan pengelolaan perikanan laut merupakan industri yang rentan terhadap pengaruh cuaca ekstrim di laut. Efek pemanasan global dan dampak dari El-nino dan La-nina sangat berpengaruh pada proses upwelling yang berdampak pada pola hidup dan ekosistem biota laut termasuk ikan pelagis yang merupakan salah satu penyumbang devisa terbesar dari sektor perikanan.

Sebagai provinsi kepulauan Provinsi Maluku memiliki luas lautan yang begitu besar, perairan Maluku memiliki kekayaan yang beranekaragam sumber daya ikan dan non ikan yang potensial untuk dikelola dan dikembangkan sebagai pendapatan atau penghasil devisa bagi daerah maupun negara. Namun disisi lain kondisi perairan di Propinsi Maluku sangat dipengaruhi oleh faktor alam yang sangat mempengaruhi keadaan perairan dengan perubahan yang cukup cepat antara perubahan kondisi perairan tenang dan ekstrim. Maluku memiliki dua zona laut yang berbeda yaitu tipe perairan tertutup yang relatif tenang diantara pulau-pulau yang berdekatan dengan tinggi gelombang sekitar 1 meter (*sea state* 1 – 3) dan tipe perairan terbuka dengan kondisi perairan sangat bergelombang pada laut yang terbuka dengan jarak antar pulau yang cukup jauh dengan ketinggian gelombang antara 3 – 5 meter (*sea state* 5). Pada kondisi laut ekstrim sebagian besar nelayan memilih untuk tidak melaut bukan karena tidak ada ikan pada fishing ground tetapi untuk menghindari kecelakaan laut pada kondisi cuaca ekstrim hal ini tentu saja sangat berdampak pada pendapatan dan tingkat kesejahteraan nelayan pada kondisi cuaca ekstrim. Dengan demikian dirasakan perlunya suatu kajian tentang titik kritis gerakan roll kapal ikan pada kondisi cuaca ekstrim pada fishing ground di perairan Maluku sebagai solusi

bagi para nelayan untuk mengetahui operasional kapal ikan pada saat kondisi cuaca ekstrim.

Perkembangan dalam teknologi perkapalan dewasa ini mengarah pada pemanfaatan kapal dengan tipe lambung banyak seperti katamaran (kapal dengan dua lambung) dan trimaran (kapal dengan tiga lambung) [1]. Hal ini disebabkan karena kapal dengan multi lambung lebih efisien dan lebih stabil jika dibandingkan dengan kapal satu lambung (monohull). Dalam penelitian ini akan diteliti titik kritis gerakan kapal ikan pukat cincin dengan tipe lambung satu lambung (monohull) dan tipe lambung kapal 3 lambung (trimaran). Adapun alasan pemilihan jenis kapal ikan pukat cincin dalam penelitian ini karena diantara jenis-jenis kapal ikan yang ada kapal ikan pukat cincin memiliki stabilitas melintang kapal yang buruk [2]. Penggunaan tipe lambung kapal yang dijadikan sebagai tipe kapal pembanding untuk diaplikasikan sebagai tipe lambung kapal purse seine adalah trimaran. Hal ini didasarkan pada pertimbangan, bahwa masyarakat Maluku sejak dahulu telah mengenal bentuk kapal dengan tipe 3 lambung yang sederhana dalam bentuk "kapal semang".

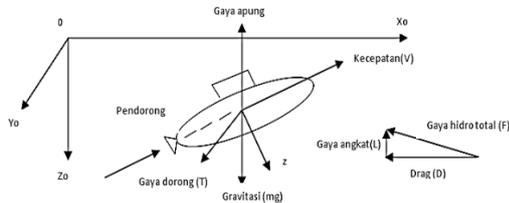
Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan titik kritis gerakan roll dan stabilitas kapal ikan pukat cincin pada operasional penangkapan ikan di fishing ground. Untuk tipe lambung kapal monohull dan trimaran. Kelompok sasaran dari penelitian ini adalah: kelompok usaha jasa transportasi laut dan pihak otoritas pelayaran.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Tinjauan titik kritis gerakan kapal ikan pukat cincin adalah gerakan roll, yang mana kapal ini akan berdampak pada operasional kapal [3].

Gerakan kapal di fluida bekerja seperti sistem sumbu orthogonal yaitu 3 (tiga) buah sumbu x, y, dan z, ditempatkan sedemikian rupa, pusat sumbu berimpit dengan titik berat kapal [4]. Bidang x, dan y satu bidang dengan permukaan bumi (sejajar).



Gambar 1. Gaya yang Bekerja Pada Kapal

Gerakan kapal dibebani 4 (empat) gaya yang tidak tergantung satu sama lainnya [5]:

- Gaya hidrostatis yaitu massa kali percepatan gravitasi bumi ( $mg$ ).
- Hambatan hidrostatis (gaya apung)  $F\Delta$  atau  $\gamma v$ . Seperti halnya  $mg$ , tekanan atau gaya ini selalu sejajar dengan  $Zo$ .
- Resultante gaya hidrodinamik ( $F$ ) yang didesakkan oleh air pada kapal sebagai akibat gerakan menerjang air tersebut. Gaya  $F$  dapat diuraikan dalam 2 (dua); komponen gaya angkat ( $L$ ) dan komponen tahanan (atau drag)  $R$  (atau  $D$ ). Dimana  $L$  tegak lurus terhadap kecepatan kapal dan  $R$  (atau  $D$ ) sejajar  $V$ .
- Gaya dorong ( $T$ ), yang di desakkan oleh air pada pendorong kapal, umumnya berlawanan arah dengan  $R$ .

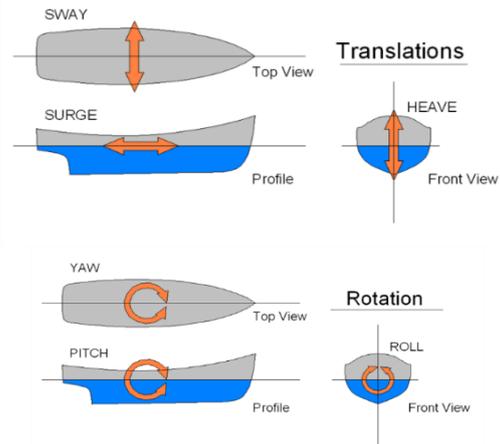
Gaya-gaya tersebut diatas timbul akibat adanya:

- Kecepatan kapal ( $V$ ), relatif terhadap air dan udara atau yang dilintasi oleh kapal tersebut.
- Gaya gravitasi bumi yang bekerja baik pada kapal maupun pada air yang dibebani oleh kapal itu.
- Aksi yang dilakukan pendorong kapal (Propeller).

Secara sederhana, seakeeping suatu kapal diilustrasikan pada Gambar 2 [6]. Semua gerakan kapal dapat digolongkan menjadi 3 jenis gerakan linear dan 3 jenis gerakan rotasional seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Secara umum hal hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar, yaitu [7]:

- Faktor internal yaitu tata letak barang/cargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan.
- Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai

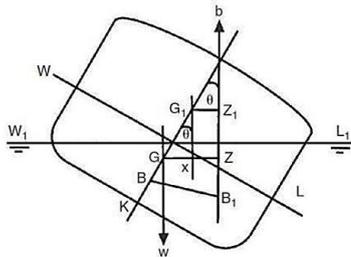


Gambar 2. Derajat kebebasan pada kapal

Sebagai persyaratan yang wajib, tentunya stabilitas kapal harus mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Marine Authority seperti International Maritime Organisation (IMO). Jadi proses analisa stabilitas yang dilakukan harus berdasarkan dengan standar IMO (International Maritime Organization) Code A.749(18) Ch 3 - *design criteria applicable to all ships* yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut [8]:

- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $0^\circ - 30^\circ$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,151 m.deg,
- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $0^\circ - 40^\circ$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,157 m.deg,
- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $30^\circ - 40^\circ$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.
- Nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut  $30^\circ - 180^\circ$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.
- Sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan  $25^\circ$  (deg).
- Nilai GM awal pada sudut  $0^\circ$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

Analisis kesetimbangan yang memungkinkan pengguna menentukan draft, heel dan trim lambung kapal akibat dari beban yang ditentukan, dimana analisa dapat dilakukan pada kondisi perairan datar (flat water) dan bergelombang [9].



Gambar 3. Stabilitas Melintang Kapal

$$GG' = \frac{w}{d} = GM_0 \tan \theta$$

Dimana :

GG' = Lengan Titik Gravitasi

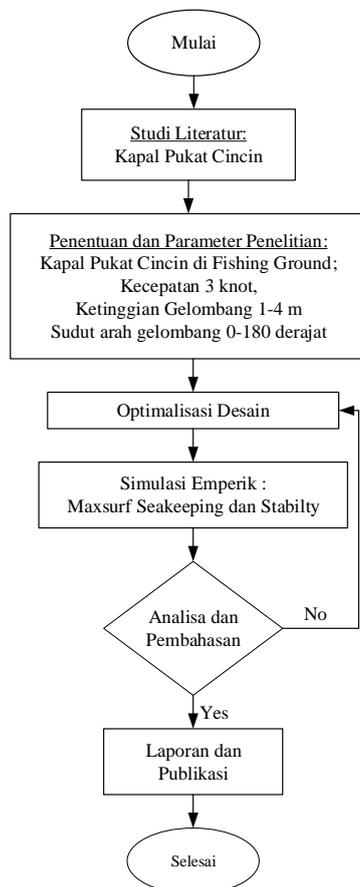
GM<sub>0</sub> = Tinggi Titik Metacenter

Δ = displasmen

d = lengan displasmen

θ = Sudut kemiringan kapal

w = Berat muatan



Gambar 4. Diagram alur penelitian

## 2.2. Metodologi

Penelitian ini digunakan untuk memecahkan masalah dibagi dalam 2 tahapan utama, yaitu :

1. Optimasi desain Kapal Pukat Cincin
2. Perhitungan simulasi numerik (Maxsurf Seakeeping dan Stability) [10]

Kajian titik kritis kapal pukat cincin dilakukan pada operasioanal di fishing ground dengan kecepatan 3 knot dengan sudut arah gelombang 0<sup>0</sup> sampai 180<sup>0</sup> dengan step 45<sup>0</sup> dengan ketinggian gelombang 1 m sampai 4 meter.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Gambar dan Tabel

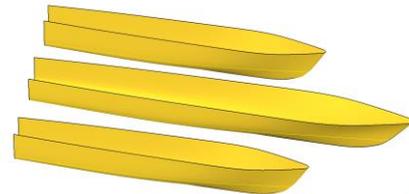
Pemodelan Kapal dilakukan dengan bantuan software maxsurf dengan variasi lambung monohull dan trimaran. Ukuran kapal ditunjukkan pada Tabel 1 bentuk lambung kapal diperlihatkan pada gambar 5 dan 6.

Tabel 1. Ukuran kapal

Dimensi	Satuan	Monohull	Trimaran
Panjang	m	18	18
Lebar	m	2,22	8,6
Sarat	m	1,22	0,91
Tinggi	m	2,4	2,4
Displasmen	ton	21,1	21,1



Gambar 5. Kapal Ikan Monohull



Gambar 6. Kapal Ikan Trimaran

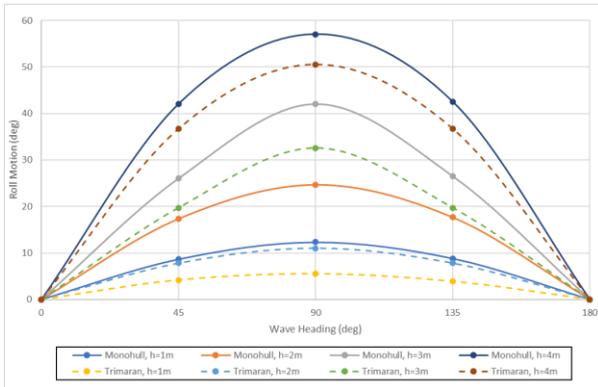
### 4.2 Perhitungan Olah Gerak Kapal (Seakeeping)

Perhitungan Olah gerak dilakukan pada saat kapal beroperasi di Ground Fishing dengan kecepatan operasional 3 knot. Kapal Monohull dan Trimaran akan memperoleh gaya gelombang dengan ketinggian 1-4 meter secara regular pada arah sudut gelombang 0-180 derajat. Hasil perhitungan olah gerak kapal ditunjukkan pada Tabel 2.

Gerakan Roll paling besar terjadi pada sudut 90<sup>0</sup> dengan ketinggian gelombang 4 m. Kapal monohull memiliki gerakan roll terbesar = 57,04<sup>0</sup> sedangkan pada kapal trimaran sebesar 50,56<sup>0</sup>. Gerakan roll terkecil atau sama dengan 0<sup>0</sup> (nol) terjadi pada arah gelombang 0<sup>0</sup> (following sea) dan 180<sup>0</sup> (head sea). Grafik perbedaan gerakan roll pada masing-masing kondisi ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 2. Perhitungan Gerakan Roll (derajat)

Sudut Datang (deg)	Tinggi Gelombang, h = 1 m		Tinggi Gelombang, h = 2 m		Tinggi Gelombang, h = 3 m		Tinggi Gelombang, h = 4 m	
	Mono hull	Tri maran						
	0	0	0	0	0	0	0	0
45	8,68	4,19	17,36	7,81	26,03	19,71	42,03	36,71
90	12,35	5,52	24,69	11,04	42,04	32,56	57,04	50,56
135	8,83	3,9	17,67	7,81	26,5	19,71	42,5	36,71
180	0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 7. Gerakan roll pada kapal monohull dan trimaran

4.3 Perhitungan Stabilitas Kapal

Stabilitas adalah kemampuan dari suatu benda yang melayang, yang miring untuk kembali berkedudukan tegak lagi atau kembali pada posisi semula. Untuk mengetahui bahwa stabilitas kapal dalam kondisi baik maka Stabilitas Kapal harus memenuhi persyaratan dari IMO (*International Maritime Organization*) yang mensyaratkan beberapa kondisi oleng (miring) beberapa derajat. IMO dalam regulasi yang dituangkan dalam IMO regulation A. 749 (18) memberikan kriteria stabilitas yang berlaku untuk seluruh jenis kapal, sebagai berikut [10]:

- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0° – 30° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,151 m.deg,
- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0° – 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,157 m.deg,
- Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 30° – 40° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.
- Nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut 30° – 180° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.
- Sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 25° (deg).
- Nilai GM awal pada sudut 0° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

Perhitungan stabilitas kapal harus membuat variasi muatan penumpang pada beberapa kondisi

sehingga diketahui stabilitas untuk tiap kondisinya, seperti berikut ini [10]:

- Kondisi I, Kapal Kosong dengan muatan 0%
- Kondis II, Kapal dengan muatan 50 %
- Kondisi III, Kapal dengan muatan penuh (100%)

Hasil Perhitungan Stabilitas Kapal Ikan Monohull dan Trimaran ditunjukkan pada Tabel 3 – Tabel 8.

Tabel 3. Hasil perhitungan stabilitas menurut standar IMO A. 749(18) Ch3 kriteria daerah bawah GZ dengan sudut oleng 0<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>

Kondisi	Kriteria				
	Area 0 <sup>0</sup> to 30 <sup>0</sup>				
	Req	Monohull	Status	Trimaran	Status
I	3,151 m.deg	4,233	Pass	5.002	Pass
II	3,151 m.deg	3,636	Pass	3.978	Pass
III	3,151 m.deg	3,256	Pass	3.592	Pass

Tabel 4. Hasil perhitungan stabilitas menurut standar IMO A. 749(18) Ch3 kriteria daerah bawah GZ dengan sudut oleng 30<sup>0</sup>-40<sup>0</sup>

Kondisi	Kriteria				
	Area 0 <sup>0</sup> to 30 <sup>0</sup>				
	Req	Monohull	Status	Trimaran	Status
I	1,719 m.deg	2,985	Pass	3,282	Pass
II	1,719 m.deg	2,250	Pass	2,441	Pass
III	1,719 m.deg	1,986	Pass	2,050	Pass

Tabel 5. Hasil perhitungan stabilitas menurut standar IMO A. 749(18) Ch3 kriteria daerah bawah GZ dengan sudut oleng 0<sup>0</sup>-40<sup>0</sup>

Kondisi	Kriteria				
	Area 0 <sup>0</sup> to 30 <sup>0</sup>				
	Req	Monohull	Status	Trimaran	Status
I	5,157 m.deg	7,893	Pass	8,285	Pass
II	5,157 m.deg	5,759	Pass	6,149	Pass
III	5,157 m.deg	5,265	Pass	5,643	Pass

Tabel 6. Hasil perhitungan stabilitas menurut standar IMO A. 749(18) Ch3 kriteria nilai GZ

Kondisi	Kriteria				
	Area 0° to 30°				
	Req	Monohull	Status	Trimaran	Status
I	0,200 m	0,287	Pass	0,373	Pass
II	0,200 m	0,226	Pass	0,254	Pass
III	0,200 m	0,204	Pass	0,215	Pass

Tabel 7. Hasil perhitungan stabilitas menurut standar IMO A. 749(18) Ch3 kriteria sudut pada nilai GZ Maksimum

Kondisi	Kriteria				
	Area 0° to 30°				
	Req	Monohull	Status	Trimaran	Status
I	25 deg	27	Pass	34	Pass
II	25 deg	35	Pass	41	Pass
III	25 deg	41	Pass	48	Pass

Tabel 8. Hasil perhitungan stabilitas menurut standar IMO A. 749(18) Ch3 kriteria nilai GM

Kondisi	Kriteria				
	Area 0° to 30°				
	Req	Monohull	Status	Trimaran	Status
I	0,150 m	0,587	Pass	0,759	Pass
II	0,150 m	0,478	Pass	0,638	Pass
III	0,150 m	0,356	Pass	0,568	Pass

Dari analisa kriteria pada tabel-tabel di atas menerangkan bahwa hasil perhitungan stabilitas untuk Kapal Ikan Pukat Cincin pada kondisi I (kosong) sampai kondisi III (Full Load) dinyatakan memenuhi (*pass*) standar persyaratan IMO yang ditetapkan.

**4.4 Titik Kritis Gerakan Roll Kapal**

Perhitungan titik kritis sangat penting dilakukan untuk menjaga kapal tetap dapat mengapung dan menjaga keselamatan awak. Parameter titik kritis gerakan roll berdasarkan pertimbangan perhitungan stabilitas kapal dan Olah Gerak Kapal. Perhitungan olah gerak kapal ditunjukkan pada Tabel 9, yang memiliki nilai maksimum pada gelombang 4 m dengan arah sudut 90°. Kapal monohull memiliki nilai gerakan roll maksimal dengan sudut 57,04° sedangkan Kapal Trimaran memiliki nilai roll maksimal sebesar 50, 56°.

Tahap selanjutnya adalah dengan menggabungkan perhitungan Gerak roll dan stabilitas kapal seperti ditunjukkan pada gambar 8. Kapal monohull memiliki stabilitas yang

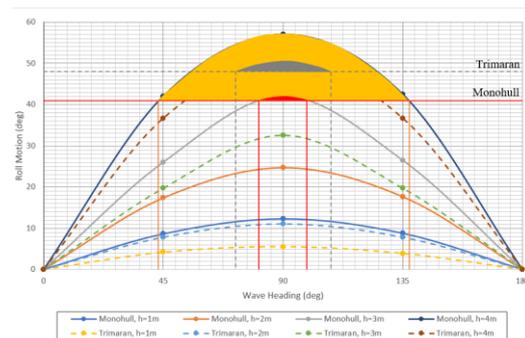
memenuhi kriteria IMO dengan sudut oleng sebesar 41° dan 48° maksimal sudut oleng (kemiringan) pada kapal Trimaran.

Tabel 9. Perhitungan Gerak Roll

Sudut Datang (deg)	Tinggi Gelombang, h = 1 m		Tinggi Gelombang, h = 2 m		Tinggi Gelombang, h = 3 m		Tinggi Gelombang, h = 4 m	
	Mono hull	Tri maran						
	0	0	0	0	0	0	0	0
45	8,68	4,19	17,36	7,81	26,03	19,71	42,03	36,71
90	12,35	5,52	24,69	11,04	42,04	32,56	57,04	50,56
135	8,83	3,9	17,67	7,81	26,5	19,71	42,5	36,71
180	0	0	0	0	0	0	0	0

Kapal Monohull memiliki kemampuan untuk bertahan (stabil) pada gelombang 1-2 meter dengan sudut kemiringan 12,25° dan 24,69° karena pada gelombang 3 dan 4 meter kapal monohull memiliki sudut kemiringan 42,04° dan 57,04° dimana kapal tidak akan bisa kembali pada posisi semula ketika kapal mengalami kemiringan lebih dari 41°.

Batas kemiringan kapal trimaran dapat dicapai pada gelombang maksimal 3 m yang memiliki sudut kemiringan 32,56°. Nilai ini memiliki harga yang lebih kecil daripada batas maksimal kemiringan kapal trimaran yaitu 48°. Selanjutnya Kapal Trimaran akan mengalami tenggelam (*capsize*) jika berlayar dengan ketinggian gelombang 4 m, hal ini karena kapal trimaran memiliki sudut oleng lebih dari 48° yaitu sebesar 50,56°



Gambar 8. Stabilitas Kapal Monohull dan Trimaran

Titik kritis gerakan roll disajikan pada Gambar 4.4, dimana kapal ikan monohull memiliki batas maksimal gerakan roll pada arah gelombang 81° dan 99° dengan tinggi gelombang 3 m, selanjutnya pada tinggi gelombang 4 meter, kapal ikan monohull memiliki titik kritis pada sudut 43° dan 138°. Sedangkan pada kapal ikan trimaran memiliki titik kritis pada sudut arah gelombang 76° dan 100° dengan tinggi gelombang 4 meter. Bagian yang diarsir merupakan daerah dimana kapal ikan

monohull dan trimaran akan kehilangan keseimbangan (stabilitas) gerakan roll yang dapat mengakibatkan terjadinya *capsize*.

#### 4. KESIMPULAN

Kapal Ikan memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan diperairan Maluku di mana kepulauan Maluku memiliki potensi perikanan yang cukup besar. Pengembangan Kapal ikan Trimaran memiliki kelebihan area geladak yang luas. Selain itu, memiliki stabilitas yang sangat baik dengan pertimbangan berdasarkan hasil analisa di atas :

1. Gerakan Roll terbesar terjadi pada sudut  $90^{\circ}$  (Beam Seas)
2. Kapal Ikan dengan Lambung trimaran memiliki Stabilitas yang baik jika dibandingkan dengan kapal monohull, dimana stabilitas kapal trimaran memiliki sudut oleng (kemiringan) sebesar  $48^{\circ}$  sedangkan pada kapal monohull sebesar  $41^{\circ}$
3. Kapal Trimaran mampu bertahan pada gelombang setinggi 3 meter dengan sudut oleng sebesar  $32,56^{\circ}$  sedangkan kapal monohull mampu bertahan pada gelombang 2 meter dengan sudut oleng  $24,69^{\circ}$
4. Kapal ikan monohull memiliki batas maksimal gerakan roll pada arah gelombang  $81^{\circ}$  dan  $99^{\circ}$  dengan tinggi gelombang 3 m, selanjutnya pada tinggi gelombang 4 meter, kapal ikan monohull memiliki titik kritis pada sudut  $43^{\circ}$  dan  $138^{\circ}$ . Sedangkan pada kapal ikan trimaran memiliki titik kritis pada sudut arah gelombang  $76^{\circ}$  dan  $100^{\circ}$  dengan tinggi gelombang 4 meter. Pada daerah diantara dua sudut tersebut, kapal ikan monohull dan trimaran akan kehilangan keseimbangan (stabilitas) gerakan roll yang dapat mengakibatkan terjadinya *capsize*
5. Pengembangan Kapal Trimaran untuk penangkap ikan perlu dipertimbangkan karena memiliki aspek hidrodinamika yang baik, namun perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk memperoleh perhitungan dengan akurasi yang baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura untuk dana penelitian ini melalui dana PNBK Fakultas Teknik Tahun Anggaran 2020

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Couser, P R, Wellicome, J.F., Molland, A F. (1998), "An Improve Method for the Theoretical Prediction of the Wave Resistance of Transom-Stern Hulls Using A Slender

Body Approach", *International Shipbuilding Progress*, Vol. 45, No. 444.

- [2] Bhattacharyya, Rameswar (1978). Dynamics of Marine Vehicles. John Wiley and Sons. U.S.A.
- [3] Hughes, G (1954), "Friction and Form Resistance in Turbulent Flow and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation", *Trans I.N.A.*, Vol. 96.
- [4] Kurultay, A.A.: 2003. Sensitivity analysis of the seakeeping behavior of trimaran ships. MSc Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California (U.S.A.) (2003).
- [5] Schneekluth, V. Bertram. 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy* (second edition). Reed Educational and Professional Publishing Ltd . Great Britain;
- [6] Luhulima R.B, Utama, I.K.A.P. Selecting Mono- And Multi-Hull Passenger Vessels For Moluccas Waters: Resistance/Powering And Seakeeping Evaluation. The 13<sup>th</sup> International Conference on QiR, 25-28 June 2013. Jogjakarta. Indonesia (2013).
- [7] Luhulima, R.B. Studi Karakteristik Hambatan Dan Seakeeping Kapal Trimaran Pada Perairan Tenang Dan Bergelombang. Buku Disertasi-S3 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.Surabaya.2016
- [8] Schneekluth, V. Bertram. 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy* (second edition). Reed Educational and Professional Publishing Ltd . Great Britain;
- [9] Taggart, R. 1980. *Ship Design and Construction*. New York: The Society of Naval Architects and Marine Engineers;
- [10] Maxsurf Manual, 2018.

## DESAIN STRATEGI PENGEMBANGAN USAHA DENGAN METODE FUZZY-SWOT DALAM ANCAMAN PANDEMI COVID-19 (STUDI KASUS PADA BENGKEL ANUGERAH POKA)

Alfredo Tutuhaturunewa<sup>1\*</sup>, Lidya Pesulima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [alfredo.tutuhaturunewa@fatek.unpatti.ac.id](mailto:alfredo.tutuhaturunewa@fatek.unpatti.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [lidyapesu5@gmail.com](mailto:lidyapesu5@gmail.com)

**Abstrak.** Kondisi pandemi covid-19 menyebabkan bengkel Anugerah Poka mengalami penurunan jumlah pelanggan. Untuk tetap mempertahankan eksistensinya, bengkel Anugerah Poka perlu melakukan desain strategi, dengan mencari kesesuaian kekuatan-kekuatan internal dan eksternalnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain strategi pengembangan usaha Bengkel Anugerah Poka dengan metode Fuzzy-SWOT. Pendekatan fuzzy-SWOT dipakai untuk menghilangkan berbagai kelemahan struktural metode SWOT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi yang harus dikembangkan Bengkel Anugerah Poka adalah terus menjaga harga tetap rendah dibanding pesaing lain. Strategi selanjutnya adalah ekspansi jasa dalam kondisi pandemi Covid-19, agar terus meningkatkan pangsa pasar yang ada. Strategi berikut adalah dengan meningkatkan layanan, sambil terus menjaga harga tetap rendah dan memberikan layanan prima kepada pelanggan.

Kata kunci: Bengkel, Covid-19, SWOT, Fuzzy-SWOT

**Abstract.** *The Covid-19 pandemic has caused the Anugerah Poka workshop to experience a decrease in the number of customers. To maintain its existence, the Anugerah Poka workshop needs to design a strategy, by looking for the suitability of its internal and external strengths. This study aims to design a business development strategy for the Anugerah Poka Workshop using the Fuzzy-SWOT method. The fuzzy-SWOT approach is used to eliminate various structural weaknesses of the SWOT method. The results showed that the strategy that the Anugerah Poka Workshop had to develop was to keep prices low compared to other competitors. The next strategy is the expansion of services in the conditions of the Covid-19 pandemic, in order to continue to increase the existing market share. The following strategy is to improve service while continuing to keep prices low and provide excellent service to customers.*

*Keywords: Workshop, Covid-19, SWOT, Fuzzy-SWOT*

### 1. PENDAHULUAN

Bengkel merupakan suatu usaha jenis wirausaha kecil dan menengah yang bergerak dalam bidang jasa pelayanan perbaikan, baik itu sepeda motor atau mobil [1]. Salah satu bengkel yang ada di desa Poka, Kota Ambon, adalah Bengkel Anugerah Poka. Bengkel ini dibangun pada tahun 2010 oleh Jason M. S. Pesulima dengan karyawan 4 berjumlah orang. Bengkel Anugerah Poka adalah bengkel yang menawarkan layanan

tambal ban, ganti oli dan perbaikan alat kendaraan, baik sepeda motor maupun mobil. Selain itu, Bengkel Anugerah Poka juga menjual beberapa produk untuk menunjang pelayanan di bengkel tersebut, misalnya produk ban Aspira, baik ban dalam maupun ban luar serta pelumas untuk motor. Untuk menunjang kemampuannya melayani konsumen, Bengkel ini memiliki peralatan yang cukup lengkap.

Saat ini, terdapat kurang lebih 6 buah usaha bengkel di desa Poka dengan berbagai jenis pelayanan yang ditawarkan, misalnya layanan tambal ban, ganti oli, perbaikan alat kendaraan, reset injeksi, dan pengaturan rem motor. Persaingan usaha kecil dan menengah, seperti bengkel menjadi semakin kompetitif, dengan penawaran berbagai jenis layanan, serta ditunjang dengan penjualan berbagai merk produk yang variatif dengan harga yang bersaing. Hal ini mengharuskan sebuah bengkel untuk mampu mengatur strategi sehingga bengkel tetap bertahan dalam persaingan dengan bengkel-bengkel lainnya. Setiap pihak akan melakukan perencanaan strategi agar dapat membantu usaha agar dapat melihat secara objektif kondisi-kondisi internal dan eksternal yang ada.

Kondisi pandemi covid-19 menyebabkan bengkel Anugerah Poka mengalami penurunan jumlah pelanggan. Jika sebelumnya jumlah pelanggan dalam sehari dapat mencapai kurang lebih 50 konsumen, setelah adanya pelaksanaan PSBB oleh pemerintah yang dikarenakan pandemi covid-19, jumlah pelanggan dalam sehari hanya kurang lebih 30 konsumen. Berkurangnya jumlah pelanggan dapat menjadi semakin parah jika dibiarkan, sebab ketatnya persaingan bengkel yang berada di daerah poka mendorong setiap pesaing untuk mengembangkan strategi masing-masing agar mendapat banyak pelanggan.

Untuk tetap mempertahankan eksistensinya, bengkel Anugerah Poka perlu melakukan desain strategi, dengan mencari kesesuaian kekuatan-kekuatan internal dan eksternalnya. Bengkel Anugerah Poka juga mengetahui bahwa pentingnya memperoleh keunggulan bersaing dan memiliki produk yang sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan dukungan optimal dari sumber daya yang ada. Oleh karena itu Analisis SWOT dapat dilakukan oleh Bengkel Anugerah Poka untuk mengembangkan usahanya dalam berbagai perubahan atau masalah lingkungan yang terjadi, terutama dalam ancaman pandemi covid-19 yang sedang terjadi sekarang ini. Integrasi logika fuzzy digunakan untuk menghilangkan faktor ketidakpastian yang sering muncul dalam analisis SWOT.

Analisis SWOT adalah alat perencanaan strategis yang banyak digunakan dalam proses pengambilan keputusan [2]. Analisis SWOT memberikan informasi yang bermanfaat untuk mengidentifikasi faktor-faktor kunci internal dan eksternal yang penting untuk mencapai tujuan yang dimaksud. Dalam analisis SWOT, kekuatan atau kelemahan diklasifikasikan sebagai parameter internal sedangkan peluang dan ancaman

diklasifikasikan sebagai parameter situasional eksternal [3], [4]. Analisis SWOT telah membantu dalam banyak industri seperti bisnis [5], [6], pendidikan [7], layanan kesehatan [8], dan perencanaan tata guna lahan dan perkotaan [9].

SWOT adalah alat manajemen untuk merumuskan rencana aksi strategis [10]. SWOT merupakan akronim untuk *strengths, weaknesses, opportunities and threats*. Analisis SWOT melibatkan proses penentuan tujuan dari usaha bisnis atau proyek dan mengidentifikasi faktor-faktor internal dan eksternal yang menguntungkan dan tidak menguntungkan untuk mencapai tujuan itu [10]. SWOT memaksimalkan kekuatan dan peluang, dan meminimalkan ancaman dan kelemahan. Dengan kata lain, Analisis SWOT mengubah kelemahan menjadi kekuatan, dan ancaman menjadi peluang [11].

Teknik ini dikreditkan ke Albert Humphrey, yang memimpin proyek penelitian di Universitas Stanford pada 1960-an dan 1970-an menggunakan data dari perusahaan-perusahaan Fortune 500. Setiap program, termasuk proses operasional, rencana manajemen, dan karakteristik pengembangan, memiliki kekuatan dan kelemahan, peluang dan ancaman.

Dalam analisis SWOT, sumber daya yang tersedia dan potensi pemanfaatannya dipelajari dari sudut pandang keberlanjutan ekonomi, ekologi dan sosial. Namun, tujuan utama dalam proses perencanaan adalah untuk mendapatkan dukungan keputusan yang akan digunakan dalam pemilihan strategi yang harus diikuti [11]. Dalam studi *decisiontheoretic*, keputusan dianggap sebagai pilihan antara dua atau lebih tindakan alternatif. Secara umum, pembuat keputusan rasional memilih alternatif yang memaksimalkan utilitas, ditentukan berdasarkan informasi yang tersedia pada alternatif keputusan. Dalam mendukung keputusan, informasi dihasilkan tentang situasi keputusan, dan tentang pilihan tindakan alternatif dan konsekuensinya. Model keputusan yang lengkap merupakan dasar untuk dukungan keputusan. Alternatif yang tersedia, informasi tentang konsekuensi yang terkait dengan alternatif ini dan preferensi di antara konsekuensi ini adalah tiga kriteria yang harus dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan [12]. Setiap aspek dari informasi harus sehat sehingga alternatif terbaik dapat dipilih. SWOT dapat digunakan untuk analisis lingkungan internal dan eksternal untuk mencapai pendekatan sistematis dan dukungan untuk pengambilan keputusan dan, jika digunakan dengan benar, dapat memberikan dasar yang baik untuk perumusan strategi yang sukses. Dengan kata lain, analisis SWOT akan

memberikan: kerangka kerja untuk menganalisis situasi dan mengembangkan strategi dan taktik yang sesuai; dasar untuk menilai kapabilitas dan kompetensi inti; dan bukti untuk dan kunci untuk berubah dan sukses; dan stimulus untuk berpartisipasi dalam pengalaman kelompok [13].

Meskipun analisis SWOT menonjol karena kesederhanaan dan nilainya dalam memusatkan perhatian pada isu-isu utama, akan tetapi metode ini memiliki keterbatasan – misalnya klasifikasi item yang tidak jelas sebagai kekuatan, kelemahan, peluang atau ancaman, atau subjektivitas berlebihan dalam pembuatan tema karena bias penyusun [14].

Analisis SWOT masih memiliki masalah struktural. Masalah yang paling penting adalah kurangnya pertimbangan terhadap faktor-faktor yang tidak pasti, kurangnya prioritas faktor dan strategi, dan terlalu banyak strategi yang dapat diekstraksi [15]. Dalam banyak situasi, tidak mungkin untuk membedakan faktor-faktor dengan jelas, apakah itu peluang atau ancaman. Misalnya, tidak memiliki pesaing yang kuat di pasar adalah peluang (untuk mengendalikan pasar), dan pada saat yang sama mungkin juga menjadi ancaman (karena dapat menyebabkan perusahaan tidak bertindak dan depresi). Kelemahan ini diatasi dengan penggunaan prinsip logika fuzzy. Logika fuzzy telah diintegrasikan dengan analisis SWOT untuk mengatasi ketidakjelasan dan ketidaktepatan pemikiran manusia [10].

Meskipun merupakan aplikasi yang banyak dipakai, metode SWOT juga memiliki sejumlah masalah [16], tetapi yang paling penting adalah sebagai berikut [15]:

- Biasanya hanya pemeriksaan kualitatif faktor lingkungan yang dipertimbangkan [17];
- Tidak ada prioritas untuk berbagai faktor dan strategi;
- Jika jumlah faktor lebih banyak, jumlah strategi yang diadopsi akan meningkat secara eksponensial (misalnya jika jumlah setiap set faktor S, W, O, T sama dengan 5, jumlah yang dihasilkan dari strategi gabungan akan ada sekitar 100 yang akan membuat pemilihan strategi yang tepat sangat sulit);
- Tidak mempertimbangkan ketidakjelasan faktor.

Penerapan logika fuzzy untuk menyelesaikan masalah struktural SWOT, seperti kurangnya mempertimbangkan faktor ketidakpastian dan faktor dua sisi dan kurangnya prioritas dikemukakan oleh Ghazinoory et al. [15]. Beberapa penggunaan integrasi Fuzzy dengan SWOT telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya [18]–[21].

Logika fuzzy merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing* [22]. Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Prof. Lotfi A. Zadeh, seorang peneliti di Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer. Professor Zadeh beranggapan bahwa logika benar – salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia. Kemudian, dikembangkanlah logika fuzzy yang dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika fuzzy terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah. Sedangkan dalam logika fuzzy, keanggotaan elemen berada di interval  $[0,1]$ . Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika fuzzy tersebut.

Logika fuzzy menjadi alternatif dari berbagai sistem yang ada dalam pengambilan keputusan karena logika fuzzy mempunyai kelebihan sebagai berikut [23]:

- a. Logika fuzzy memiliki konsep yang sangat sederhana sehingga mudah untuk dimengerti.
- b. Logika fuzzy sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan dan ketidakpastian.
- c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.
- d. Logika fuzzy mampu mensistemkan fungsi-fungsi non-linier yang sangat kompleks.
- e. Logika fuzzy dapat mengaplikasikan pengalaman atau pengetahuan dari para pakar.
- f. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- g. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti.

Logika fuzzy memiliki beberapa komponen yang harus dipahami seperti himpunan fuzzy, fungsi keanggotaan, operator pada himpunan fuzzy, inferensi fuzzy dan defuzzifikasi.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Prosedur Penelitian

Survei lapangan merupakan proses awal penelitian, yang dilakukan untuk mendapat gambaran awal mengenai permasalahan yang dikaji, yaitu kondisi Bengkel Anugerah Poka. Selain itu, juga dilakukan pengamatan terhadap

lingkungan sekitar, bengkel-bengkel lain yang merupakan pesaing, serta kondisi lain yang mungkin penting untuk pelaksanaan penelitian guna menjawab tujuan penelitian.

Studi literatur digunakan untuk mengumpulkan dan mendapat gambaran utuh mengenai penerapan metode SWOT dan integrasinya dengan metode Fuzzy untuk mengurangi ketidakpastian yang dihadapi, yang diperoleh dari artikel dan uraian ahli sebelumnya yang telah dipublikasi pada jurnal-jurnal internasional dan nasional yang relevan, serta berbagai laporan penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya.

Pada tahap selanjutnya, alat yang dibutuhkan bagi pengumpulan data, berupa kuesioner dan lembar pertanyaan wawancara disiapkan. Setelah itu dilakukan penggandaan untuk disebar kepada pemilik bengkel, tenaga kerja dan konsumen.

**2.2. Algoritma untuk fuzzifying Matriks SWOT**

Algoritma untuk memperbaiki kekurangan dan masalah matriks SWOT melalui penggunaan set fuzzy [15].

**a. Penskalaan faktor-faktor**

Untuk setiap faktor internal, fungsi keanggotaan yang sesuai dikembangkan dalam kisaran -10 hingga +10. Karena setiap faktor dapat menunjukkan makna dua sisi, maka bagian negatif menunjukkan kelemahan dan bagian positif dari fungsi keanggotaan fuzzy menandakan kekuatan. Pernyataan yang sama juga berlaku untuk faktor eksternal.

Dalam domain yang didefinisikan antara kelemahan paling intensif (-10) dan kekuatan paling intensif (+10), setiap faktor dapat menentukan tingkat kepemilikannya pada masing-masing titik domain dan titik-titik dimana konsentrasi utamanya berada, menggunakan fuzzy yang tepat fungsi keanggotaan.

Jenis fungsi keanggotaan bersifat opsional tetapi untuk menyederhanakan perhitungan lokasi area pada tahap berikutnya, disarankan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga. "Fungsi keanggotaan segitiga" dapat ditentukan oleh tiga parameter ( $x^p, x^m, x^o$ ) sebagai berikut [24]:

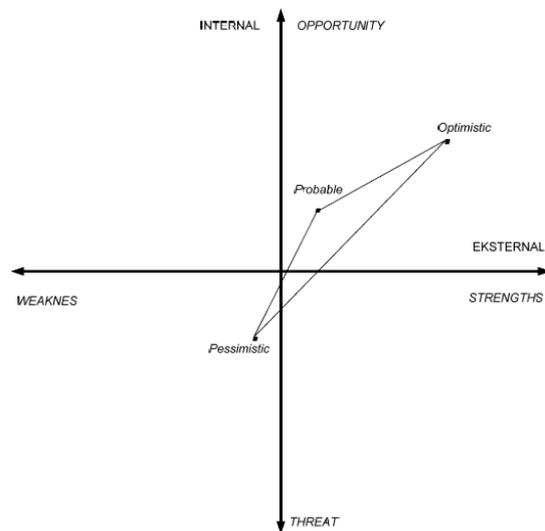
$$y = \begin{cases} 0, & x \leq x^p \\ (x - x^p)/(x^m - x^p), & x^p \leq x \leq x^m \\ (x^o - x)/(x^o - x^m), & x^m \leq x \leq x^o \\ 0, & x^o \leq x \end{cases} \quad (1)$$

Dimana,  $x^p, x^m$  dan  $x^o$  masing-masing disebut nilai pesimis, kemungkinan, dan optimis. Kita dapat membuat daftar faktor termasuk kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman. Perbedaan antara tahap ini dan SWOT yang biasa adalah bahwa untuk kasus ini, 3 pertanyaan harus diajukan

untuk setiap faktor internal dari pembuat keputusan:

Nilai apa yang akan dialokasikan dalam kisaran -10 hingga +10 untuk pesimis ( $x^p$ ), kemungkinan ( $x^m$ ) dan situasi optimis ( $x^o$ ) untuk faktor internal (-10 hingga 0 untuk intensitas kelemahan dan 0 hingga +10 atau intensitas kekuatan)? Sebaran yang sama dari -10 hingga +10 juga diasumsikan untuk faktor eksternal dengan pertanyaan yang sama dan fungsi keanggotaan segitiga akan diperoleh untuk setiap faktor.

Ketiga kondisi dalam Matriks fuzzy-SWOT ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Matrik Fuzzy-SWOT

**b. Agregasi fungsi keanggotaan faktor internal dan eksternal**

Untuk mengekstrak strategi berdasarkan faktor-faktor internal dan eksternal, perlu untuk menggabungkan fungsi keanggotaan faktor-faktor tersebut. Dalam hal ini, permukaan tiga dimensi didefinisikan berdasarkan pada fungsi keanggotaan faktor internal dan eksternal. Ini berlaku dengan menggunakan norma-t yang sesuai seperti operator min. Setiap titik permukaan ini dalam matriks SWOT berasal dari persimpangan fungsi keanggotaan faktor eksternal dan internal relatif.

**c. Evaluasi, penentuan prioritas dan penggalan strategi**

Dasar untuk evaluasi area yang dihasilkan dari tahap sebelumnya adalah jarak mereka dari sudut-sudut matriks. Kriteria yang berbeda dapat ditentukan untuk jarak ini. 1) Min dari jarak Euclidean setiap titik sudut dari batas area, 2) min dari jarak setiap titik sudut dari pusat gravitasi area, 3) maks dari persentase area di setiap kuadran. Pemilihan masing-masing dari 3 kriteria ini tidak

akan meninggalkan kesan pada prioritas, tetapi memperkenalkan mereka diperlukan untuk lebih memahami konsep jarak.

### 2.3. Analisis Fuzzy SWOT

Adapun proses langkah-langkah pembuatan analisa *Fuzzy* SWOT adalah sebagai berikut [25]:

- 1) Analisis data latar belakang dan visi produk atau perusahaan.
- 2) Tulis semua faktor eksternal produk atau perusahaan.
- 3) Tulis semua faktor internal produk atau perusahaan.
- 4) Susun faktor eksternal dan internal yang dominan dari segi aktivitas dan objektifitas.
- 5) Tentukan besaran nilai dari masing-masing faktor dengan ketiga kondisi pesimis (*pessimistic*), kemungkinan (*probable*) dan optimis (*optimistic*). Yang besaran nilainya berdasarkan skala -10 hingga +10, dimana -10 menandakan posisi paling lemah untuk skala kelemahan atau ancaman dan skala +10 menandakan posisi paling kuat untuk skala kekuatan atau peluang. Nilai pesimis (*pessimistic*)  $\leq$  kemungkinan (*probable*)  $\leq$  optimis (*optimistic*). Kemudian Jumlahkan setiap variabel masing-masing responden dan dibagi jumlah responden, untuk menentukan nilai rata-rata setiap variabel.
- 6) Tentukan bobot dari masing-masing variabel internal dan eksternal dengan menggunakan skala 1-100. Yang nantinya akan dilakukan pembobotan kembali untuk total bobot dari variabel internal dan eksternal berjumlah 1. Hal ini bisa dilakukan dengan melakukan diskusi kepada para ahli. Penelitian ini menggunakan nilai rata-rata dari tiga responden.
- 7) Hitung nilai rata-rata *Fuzzy* dari masing-masing faktor, berdasarkan perkalian masing-masing variabel dan bobotnya.
- 8) Hitung total nilai faktor internal (FIF) dan eksternal (FEF) dengan menjumlahkan nilai dari masing-masing variabel.
- 9) Tentukan posisi produk atau perusahaan dalam matrik *Fuzzy* SWOT berdasarkan total nilai faktor internal dan eksternal. Lokasi mayoritas koordinat menandakan daerah segitiga *Fuzzy*, yang nantinya satu daerah akan dimasukkan ke matrik *Fuzzy* SWOT.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Visi, Misi, dan Tujuan dari Bengkel Anugerah Poka

#### Visi

“Menjadi usaha jasa bengkel yang terpercaya dan berkualitas, serta memberikan pelayanan

terbaik kepada konsumen dan menjadi pusat penyediaan jasa service kendaraan yang unggul.”

#### Misi

- 1) Bengkel Anugerah Poka dapat memberikan pelayanan yang ramah, sopan, beretika dan terpercaya.
- 2) Bengkel Anugerah Poka memprioritaskan kepuasan konsumendengan caramenerapkan konsep A3 yaitu: *Attitude* (sikap), *Attention* (perhatian), dan *Action* (tindakan).
- 3) Adanya Profesionalitas tenaga kerja.

#### Tujuan

- 1) Memperoleh keuntungan dan pendapatan dari usaha mandiri yang dilakukan untuk mensejahterakan pemilik dan tenaga kerja.
- 2) Memperoleh kepercayaan yang optimal dari konsumen, sehingga dengan adanya kepercayaan yang diberikan diharapkan usaha bengkel dapat lebih berkembang.

### 3.2. Identifikasi Faktor

Faktor-faktor penting pengembangan strategi usaha bengkel diidentifikasi melalui wawancara dengan pihak bengkel, maupun pengguna jasa bengkel yang ditemui. Faktor-faktor tersebut adalah:

#### Faktor internal:

1. Bengkel memiliki peralatan yang memadai.
2. Bengkel memiliki tenaga kerja terampil dan berpengalaman.
3. Bengkel menyediakan produk perlengkapan bagi kendaraan.
4. Harga yang bersaing.
5. Bengkel tidak memiliki ruang tunggu yang memadai.
6. Bengkel belum memiliki layanan antar jemput kendaraan yang diservis.
7. Bengkel memiliki keterbatasan anggaran.

#### Faktor eksternal:

1. Peralatan memungkinkan untuk ekspansi layanan.
2. Penambahan jumlah kendaraan roda 2 menambah pangsa pasar sasaran.
3. Supplier yang mudah bekerja sama.
4. Pandemi COVID-19 yang masih terus mengancam.
5. Bengkel pesaing memiliki penampilan menarik.
6. Bengkel pesaing menawarkan layanan yang lebih lengkap.

### 3.3. Matriks Faktor Strategi

Faktor internal dan eksternal telah diidentifikasi, selanjutnya, fungsi keanggotaan ditentukan dengan menanyai orang yang memahami masalah perbengkelan, mengenai nilai a, b dan c seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bilangan segitiga fuzzy (FTN) untuk menganalisis kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman dari bengkel Anugerah Poka yang dipertimbangkan. Jumlah ini

pertama kali dikumpulkan dengan istilah linguistik dari pendapat ahli dan kemudian ditransfer ke nilai kuantitatif FTN

Tabel 1 dan 2 menunjukkan nilai FIF = (0,714, 1,857, 3,143) dan FEF = (-3,833, -1,667, 0,500). Berdasarkan faktor-faktor yang disebutkan di atas, matriks SWOT digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Faktor Internal

Kode	Faktor	Nilai		
		a	b	c
I <sub>1</sub>	Bengkel memiliki peralatan yang memadai.	7	8	9
I <sub>2</sub>	Harga yang bersaing.	7	8	9
I <sub>3</sub>	Bengkel memiliki tenaga kerja terampil dan berpengalaman.	6	7	9
I <sub>4</sub>	Bengkel menyediakan produk perlengkapan bagi kendaraan.	5	6	7
I <sub>6</sub>	Bengkel tidak memiliki ruang tunggu yang memadai.	-8	-7	-6
I <sub>7</sub>	Bengkel belum memiliki layanan antar jemput kendaraan yang diservis.	-6	-5	-4
I <sub>7</sub>	Bengkel memiliki keterbatasan anggaran.	-6	-4	-2
<b>FIF</b>		<b>0,714</b>	<b>1,857</b>	<b>3,143</b>

Tabel 2. Faktor Eksternal

Kode	Faktor	Nilai		
		a	b	c
E <sub>1</sub>	Peralatan memungkinkan untuk ekspansi layanan.	-2	1	4
E <sub>2</sub>	Penambahan jumlah kendaraan roda 2 menambah pangsa pasar sasaran.	-1	2	5
E <sub>3</sub>	Supplier yang mudah bekerja sama.	1	3	5
E <sub>4</sub>	Pandemi COVID-19 yang masih terus mengancam.	-9	-8	-7
E <sub>5</sub>	Bengkel pesaing memiliki penampilan menarik.	-6	-4	-2
E <sub>6</sub>	Bengkel pesaing menawarkan layanan yang lebih lengkap.	-6	-4	-2
<b>FEF</b>		<b>-3,833</b>	<b>-1,667</b>	<b>0,500</b>

Tabel 3. Matriks Kekuatan, Kelemahan, Peluang dan Ancaman (SWOT)

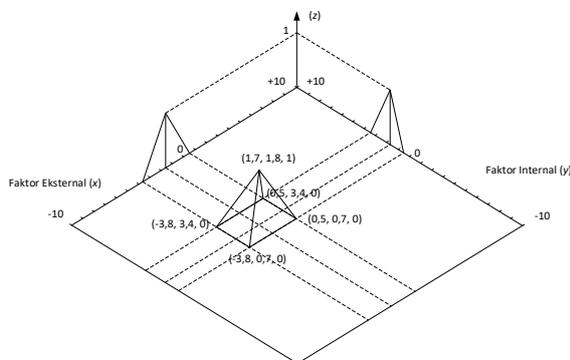
SWOT untuk Bengkel		Faktor eksternal	
		Peluang	Ancaman
Faktor internal	<b>Kekuatan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bengkel memiliki peralatan memadai.</li> <li>Harga yang bersaing.</li> <li>Bengkel memiliki tenaga kerja terampil dan berpengalaman.</li> <li>Bengkel menyediakan produk perlengkapan bagi kendaraan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peralatan yang dimiliki memungkinkan bengkel melakukan ekspansi layanan.</li> <li>Penambahan jumlah kendaraan roda 2 menambah pangsa pasar sasaran.</li> <li>Kerjasama dengan pemasok memungkinkan penambahan jenis produk yang dijual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pandemi COVID-19 yang masih terus mengancam.</li> <li>Bengkel pesaing memiliki penampilan menarik.</li> <li>Bengkel pesaing menawarkan layanan yang lebih lengkap.</li> </ul>
	<b>Kelemahan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bengkel tidak memiliki ruang tunggu yang memadai.</li> <li>Bengkel belum memiliki layanan antar jemput kendaraan yang diservis.</li> <li>Bengkel memiliki keterbatasan anggaran.</li> </ul>	Strategi WO	Strategi WT
		Strategi SO	Strategi ST

Tabel 4. Strategi Pengembangan Usaha Bengkel Anugerah Poka

SWOT untuk Bengkel		Faktor eksternal	
		Peluang	Ancaman
Faktor internal	<p><b>Kekuatan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bengkel memiliki peralatan yang memadai.</li> <li>Harga yang bersaing.</li> <li>Bengkel memiliki tenaga kerja terampil dan berpengalaman.</li> <li>Bengkel menyediakan produk perlengkapan bagi kendaraan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peralatan yang dimiliki memungkinkan bengkel melakukan ekspansi layanan.</li> <li>Penambahan jumlah kendaraan roda 2 menambah pangsa pasar sasaran.</li> <li>Kerja sama dengan pemasok memungkinkan penambahan jenis produk yang dijual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pandemi COVID-19 yang masih terus mengancam.</li> <li>Bengkel pesaing memiliki penampilan menarik.</li> <li>Bengkel pesaing menawarkan layanan yang lebih lengkap.</li> </ul>
	<p><b>Kelemahan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bengkel tidak memiliki ruang tunggu yang memadai.</li> <li>Bengkel belum memiliki layanan antar jemput kendaraan yang diservis.</li> <li>Bengkel memiliki keterbatasan anggaran.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menjaga kestabilan harga jual, pengembangan usaha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pilihan strategi pada kondisi ini adalah menekan harga untuk menarik minat konsumen.</li> <li>Ekspansi layanan menjadi pilihan utama dalam strategi ini</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Pangsa pasar harus dapat ditingkatkan dengan perbaikan pelayanan terutama fisik bengkel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengembangan dengan layanan antar jemput kendaraan bisa menjadi solusi dalam kondisi pandemi Covid-19</li> </ul>

### 3.4. Agregasi

Untuk mengekstrak strategi, setiap pasangan faktor internal dan eksternal harus dibandingkan satu per satu. Setiap pasangan faktor internal dan eksternal (setelah agregasi) ditempatkan dalam matriks SWOT fuzzy 3D. Fungsi Keanggotaan Agregat dapat diekstraksi dari penggabungan fungsi keanggotaan faktor internal dan eksternal. Gambar 2 menunjukkan bagaimana permukaan ini dibuat.



Gambar 2. Proses Agregasi

### 3.5. Evaluasi dan Ekstraksi Strategi

Untuk mengevaluasi pentingnya sepasang faktor internal/eksternal untuk ekstraksi strategi, perlu diketahui, dimana letak titik yang merupakan

hasil agregasi. Semakin dekat titik ke sudut, semakin penting titik tersebut. Pada pendekatan fuzzy, faktor hasil penggabungan berupa himpunan titik-titik fuzzy (sebuah area fuzzy) bukan sebuah titik. Dengan menggunakan potongan yang tepat (1-potong, kita dapat memiliki area yang lebih kecil dan memudahkan evaluasi yang dilakukan.

Semakin besar  $\alpha$ , semakin banyak informasi tentang kasus tersebut diabaikan. Oleh karena itu, penentuan  $\alpha$  harus dilakukan oleh pengambil keputusan akhir. Setiap nilai  $\alpha$  dapat membuat area dalam matriks SWOT dan pertanyaannya adalah titik area mana yang harus diperhitungkan untuk menentukan kepentingan. Penentuan ini tergantung tentang pesimisme dan optimisme seorang pengambil keputusan, misalnya jika pengambil keputusan pesimis, ia akan memilih nilai minimum untuk faktor internal dan eksternal, sehingga titik yang dipilih akan lebih dekat ke sudut kiri matriks (-10, -10) dan dalam kasus pembuat keputusan yang optimis, itu akan berada di sisi yang berlawanan.

Dari nilai FIF dan FEF, digambarkan tiga poin strategis dalam matriks Fuzzy SWOT, dimana Titik 1 dan 2 berada pada bidang Kekuatan-Ancaman, sementara Titik 3 pada bidang Kekuatan-Peluang.

### 3.6. Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, terdapat beberapa hal yang perlu menjadi perhatian, antara lain:

1. Terdapat 2 titik strategis yang berada pada bidang Kekuatan-Ancaman, yaitu titik A (0,714, -3,833) dan titik B (1,857, -1,667). Bengkel Anugerah Poka berhadapan dengan kondisi pandemi Covid-19 yang menekan perkembangan usaha apapun saat ini. Meskipun sudah berlangsung 9 bulan, dan belum ada titik terang akan berakhirnya pandemi ini, Bengkel memiliki strategi untuk terus menjaga harga tetap rendah dibanding pesaing lain. Hal ini memang menurunkan tingkat keuntungan, tetapi memberikan peluang besar untuk merebut pelanggan dari pesaing karena harga yang lebih murah untuk jenis layanan yang sama. Selain itu, ekspansi jasa juga merupakan strategi yang harus dikembangkan dalam kondisi ini, untuk meningkatkan pangsa pasar yang ada.
2. Salah satu titik strategi berada pada bidang Kekuatan-Peluang, yaitu titik C (3,143, 0,500). Hal ini memudahkan bengkel Anugerah Poka untuk meningkatkan layanan yang diberikan, sambil terus menjaga harga tetap rendah dan memberikan layanan prima kepada pelanggan.

### 4. KESIMPULAN

Strategi yang harus dikembangkan Bengkel Anugerah Poka adalah terus menjaga harga tetap rendah dibanding pesaing lain. Hal ini memang menurunkan tingkat keuntungan, tetapi memberikan peluang besar untuk merebut pelanggan dari pesaing karena harga yang lebih murah untuk jenis layanan yang sama. Strategi berikut adalah ekspansi jasa dalam kondisi pandemi Covid-19, untuk terus meningkatkan pangsa pasar yang ada. Selain itu, strategi dengan meningkatkan layanan, sambil terus menjaga harga tetap rendah dan memberikan layanan prima kepada pelanggan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena jumlah sampel yang sedikit, sehingga lemah dalam generalisasi hasil terhadap keseluruhan populasi. Penelitian lebih lanjut harus diarahkan untuk dilakukan dengan pengambilan sampel yang lebih besar. Selain itu, obyek penelitian memiliki banyak keterbatasan sumber daya. Kelemahan ini membuat metode yang digunakan mungkin tidak begitu tepat dalam memecahkan masalah yang dihadapi. Penelitian lanjutan seharusnya diarahkan untuk mengembangkan metode yang lebih

sederhana untuk memecahkan masalah pengembangan strategi bagi usaha sejenis.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan dana PNBPFakultas Teknik Universitas Pattimura tahun 2020. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Fakultas Teknik Unpatti atas kesempatan menerima bantuan dana penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Yoga, “Perancangan Sistem Inventory Spare Part Motor Pada CV. Surya Jaya Jepara,” Skripsi, Universitas Dian Nuswantoro, 2013. Accessed: Jul. 23, 2020. [Online]. Available: <http://eprints.dinus.ac.id/12680/>
- [2] J. Cui, A. Allan, and D. Lin, “SWOT analysis and development strategies for underground pedestrian systems,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 87, pp. 127–133, May 2019, doi: 10.1016/j.tust.2018.12.023.
- [3] R. W. Griffin, *Management*, 10th ed. Mason, Ohio: South-Western Cengage Learning, 2009.
- [4] N. Pahl and A. Richter, *SWOT analysis – idea, methodology and a practical approach*. Munich.: GRIN Verlag, 2007.
- [5] A. Paschalidou, M. Tsatiris, and K. Kitikidou, “Energy crops for biofuel production or for food? - SWOT analysis (case study: Greece),” *Renewable Energy*, vol. 93, pp. 636–647, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.03.040.
- [6] K. Zharan and J. C. Bongaerts, “Decision-making on the integration of renewable energy in the mining industry: A case studies analysis, a cost analysis and a SWOT analysis,” *Journal of Sustainable Mining*, vol. 16, no. 4, pp. 162–170, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jsm.2017.11.004.
- [7] S. Hlungwani, “Analysis of the current situation of nursing education in South Africa (SWOT),” *International Journal of Nursing Sciences*, vol. 4, no. 4, p. 348, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.ijnss.2017.10.014.
- [8] I. Aslan, O. Çınar, and Ü. Özen, “Developing Strategies for the Future of Healthcare in Turkey by Benchmarking and SWOT Analysis,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 150, pp. 230–240, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.09.043.
- [9] F. Kazemi, L. Abolhassani, E. A. Rahmati, and P. Sayyad-Amin, “Strategic planning for cultivation of fruit trees and shrubs in urban

- landscapes using the SWOT method: A case study for the city of Mashhad, Iran,” *Land Use Policy*, vol. 70, pp. 1–9, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.landusepol.2017.10.006.
- [10] S. H. Amin, J. Razmi, and G. Zhang, “Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming,” *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 1, pp. 334–342, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2010.06.071.
- [11] O. Arslan and I. D. Er, “SWOT analysis for safer carriage of bulk liquid chemicals in tankers,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 154, no. 1, pp. 901–913, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.113.
- [12] J. M. Bradshaw and J. H. Boose, “Decision Analysis Techniques for Knowledge Acquisition: Combining Information and Preferences Using Aquinas and Axotl,” *Int. J. Man Mach. Stud.*, 1990, doi: 10.1016/S0020-7373(05)80044-6.
- [13] D. L. Schmoldt and D. L. Peterson, “Analytical group decision making in natural resources: methodology and application,” *Forest Science*, vol. 46, no. 1, pp. 62–75, 2000.
- [14] D. W. Pickton and S. Wright, “What’s swot in strategic analysis?,” *Strategic Change*, vol. 7, no. 2, pp. 101–109, 1998, doi: 10.1002/(SICI)1099-1697(199803/04)7:2<101::AID-JSC332>3.0.CO;2-6.
- [15] S. Ghazinoory, A. Zadeh, and A. Memariani, “Fuzzy SWOT analysis,” *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 18, pp. 99–108, Jan. 2007.
- [16] T. Hill and R. Westbrook, “SWOT analysis: It’s time for a product recall,” *Long Range Planning*, vol. 30, no. 1, pp. 46–52, Feb. 1997, doi: 10.1016/S0024-6301(96)00095-7.
- [17] G. Büyüközkan and O. Feyzioğlu, “A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development,” *International Journal of Production Economics*, vol. 90, no. 1, pp. 27–45, Jul. 2004, doi: 10.1016/S0925-5273(02)00330-4.
- [18] M. Haile and J. Krupka, “Fuzzy Evaluation of SWOT analysis,” *Fuzzy hodnocení SWOT analýzy*, vol. 5, no. 3, 2016, Accessed: Jul. 24, 2020. [Online]. Available: <https://dk.upce.cz/handle/10195/67716>
- [19] M. T. Taghavifard, H. Amoozad Mahdiraji, A. M. Alibakhshi, E. K. Zavadskas, and R. Bausys, “An Extension of Fuzzy SWOT Analysis: An Application to Information Technology,” *Information*, vol. 9, no. 3, Art. no. 3, Mar. 2018, doi: 10.3390/info9030046.
- [20] V. Vyas, A. P. Singh, and A. Srivastava, “Entropy-based fuzzy SWOT decision-making for condition assessment of airfield pavements,” *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 0, no. 0, pp. 1–12, Oct. 2019, doi: 10.1080/10298436.2019.1671590.
- [21] A. A. Zakharova, “Fuzzy Swot Analysis for Selection of Bankruptcy Risk Factors,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 379, pp. 207–213, Aug. 2013, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.379.207>.
- [22] M. Jedlickova and P. Kutnar, “Construction of a Fuzzy Model for the Success Prediction of Hi-Tech Companies With a Short History,” in *17th International Scientific Conference at Brno University of Technology, Faculty of Business and Management*, Brno, Czech Republic, Apr. 2019, vol. 0. Accessed: Apr. 14, 2019. [Online]. Available: <https://conference.fbm.vutbr.cz/ic/index.php/ic/article/view/36>
- [23] A. Naba, *Belajar Cepat Fuzzy Logic menggunakan Matlab*. Yogyakarta: ANDI, 2009. Accessed: Jan. 14, 2019. [Online]. Available: [http://pustaka.htp.ac.id/index.php?p=show\\_detail&id=4143&keywords=](http://pustaka.htp.ac.id/index.php?p=show_detail&id=4143&keywords=)
- [24] P. Melin and O. Castillo, *Modelling, simulation and control of non-linear dynamical systems: An intelligent approach using soft computing and fractal theory*. New Fetter Lane, London.: Taylor and Francis, 2001, p. 249.
- [25] H. Hosseini-Nasab, A. Hosseini-Nasab, and A. S. Milani, “Coping with Imprecision in Strategic Planning: A Case Study Using Fuzzy SWOT Analysis,” *IB*, vol. 03, no. 01, pp. 23–29, 2011, doi: 10.4236/ib.2011.31004.

## INTEGRASI ANALITICAL HIERARCHY PROCESS-FUZZY DALAM PEMILIHAN SUPPLIER

Dolly Rommer <sup>1\*</sup>, Daniel B. Paillin <sup>2</sup>, dan Johan M Tupan <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

\*Email: [dollymeyke@gmail.com](mailto:dollymeyke@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [dani.ti.fatek@gmail.com](mailto:dani.ti.fatek@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [johan.tupan@fatek.unpatti.ac.id](mailto:johan.tupan@fatek.unpatti.ac.id)

**Abstrak.** Penelitian ini membahas tentang pemilihan *supplier* bahan baku kayu dengan menggunakan metode AHP-F. Masalah yang dihadapi UD. Bless Mebel adalah sulitnya menentukan *supplier* mana yang memiliki performansi yang baik dari segi harga, kualitas, pelayanan, pengiriman, ketetapan jumlah, lokasi serta jaminan dan klaim. Dengan banyaknya pesaing dan harga bahan baku berbeda-beda dari setiap *supplier*. Banyak ditemukan kecacatan bahan baku seperti retakan kayu, kayu berlubang dan pecah di bagian ujung kayu, warna kayu, panjang dan bentuk kayu. Rencana pengiriman yang terkadang banyak dikeluhkan oleh perusahaan yang mana pengiriman tidak sesuai dengan jadwal dalam perjanjian. Hasil pengolahan data yang dilakukan dengan metode AHP fuzzy menunjukkan kriteria yang menjadi prioritas dalam pemilihan *supplier* adalah kriteria harga yang memiliki besar bobot 0,47. Dengan memperhatikan ketujuh bobot kriteria yang telah diperoleh *supplier* yang direkomendasikan untuk diprioritaskan adalah *supplier* terbaik berdasarkan bobot prioritas tertinggi yaitu *supplier* C dengan bobot 0,39 kemudian *supplier* A dengan bobot 0,37 dan yang ketiga adalah *supplier* B dengan bobot 0,24.

Kata kunci: Pemilihan Supplier, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy

**Abstract.** This study discusses the selection of wood raw material suppliers using the AHP-F method. Problems by UD. Bless Furniture is the difficulty of determining which supplier has good performance in terms of price, quality, service, delivery, quantity determination, location as well as guarantees and claims. With many competitors and different raw material prices from each supplier. Many raw materials such as wood cracks are hollow and broken at the ends of the wood, the color of the wood, and the shape of the wood. Delivery plans that are often complained by companies where delivery is not according to the schedule in the agreement. The results of data processing carried out by the AHP fuzzy method show that the criteria that become a priority in supplier selection are the price criteria which have a weight of 0.47. By taking into account the seven criteria above, it is obtained that the supplier recommended being prioritized as the best supplier based on the highest priority weight, namely supplier C with a weight of 0,39 then supplier A with a weight of 0,37 and the third is supplier B with a weight of 0,24.

Keywords : Supplier selection, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy

### 1. PENDAHULUAN

Pemilihan *Supplier* merupakan salah satu hal penting dalam aktivitas pembelian dan pembelian merupakan aktivitas penting bagi perusahaan. [1] Pembelian bahan baku, dan persediaan merepresentasikan porsi yang cukup besar pada produk jadi.

UD. Bless Mebel merupakan salah satu usaha dagang yang berlokasi di Kota Masohi. Perusahaan ini merupakan perusahaan yang bergerak dalam industri *furniture* dengan sistem produksi berupa *make to order* yang mempunyai beberapa *Supplier* sebagai pemasok bahan baku kayu.

Pemilihan *Supplier* yang baik akan melancarkan seluruh proses produksi perusahaan, menghasilkan produk jadi yang berkualitas dan menghasilkan keuntungan bagi perusahaan. Bahan baku yang kayu yang akan digunakan UD. Bless Mebel diperoleh dari beberapa *Supplier* yaitu Somel Ari, owner kayu di daerah Sepa dan Owner kayu di daerah Tambilow. Dalam penelitian kali ini akan ditentukan *Supplier* terbaik yang akan diusulkan kepada UD. Bless Mebel dengan pertimbangan yang sudah dipilih.

Masalah yang dihadapi UD. Bless Mebel adalah sulitnya menentukan *supplier* mana yang memiliki performansi yang baik dari segi harga, kualitas, pelayanan, pengiriman, ketetapan jumlah, lokasi serta jaminan dan klaim. Dengan banyaknya pesaing dan harga bahan baku berbeda-beda dari setiap *supplier*. Banyak ditemukan kecacatan bahan baku seperti retakan kayu, kayu berlubang dan pecah di bagian ujung kayu, warna kayu, panjang dan bentuk kayu. Rencana pengiriman yang terkadang banyak dikeluhkan oleh perusahaan yang mana pengiriman tidak sesuai dengan jadwal dalam perjanjian. Oleh karena itu UD. Bless Mebel membutuhkan *supplier* yang tepat.

[2] Pemilihan *supplier* akan menjadi kompleks ketika munculnya banyak kriteria yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan, oleh karena suatu *supplier* kemungkinan mempunyai kemampuan yang baik pada beberapa. Banyak penelitian yang dilakukan dalam pemilihan *supplier* menggunakan pendekatan yang berbeda. [3] menggunakan metode AHP untuk memilih pemasok *spare part* mesin industri dengan menggunakan kriteria harga, kualitas, pelayanan, waktu pengiriman, dan responsibilitas. [4], [5] mencoba menggunakan pendekatan AHP dan DEA dalam pemilihan *supplier* dengan menambahkan faktor resiko.

Pemilihan *Supplier* pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)* yang digunakan untuk menentukan keputusan dengan menggunakan banyak kriteria.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi kriteria-kriteria penting untuk memilih *Supplier*/ pemasok kayu pada UD. Bless Mebel. Kemudian Memperoleh *Supplier*/ pemasok terbaik yang paling memenuhi kriteria yang sudah ditentukan.

## 2. BAHAN DAN METODE

*Analytic Hierarchy Process (AHP)* adalah suatu metode pendukung keputusan yang dikembangkan untuk menyelesaikan

permasalahan dengan memecah solusi permasalahan, mengelompokkan dan kemudian menyusunnya ke dalam suatu struktur hirarki. Untuk memperoleh kriteria yang diprioritaskan, metode ini menggunakan perbandingan kriteria berpasangan dengan skala pengukuran yang telah ditentukan. Input utama dari metode AHP adalah persepsi para pakar atau ahli, sehingga terdapat faktor subyektifitas dalam pengambilan keputusan. Metode ini juga memperhitungkan validitas data dengan adanya batas inkonsistensi [6]. Akan tetapi, ketidakpastian dan keraguan yang cukup banyak dalam memberi penilaian akan berdampak terhadap keakuratan data dan hasil yang diperoleh. Berdasarkan hal ini, dikembangkan teori lebih lanjut yaitu metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*. *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* adalah metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)* yang dikembangkan dengan teori logika *fuzzy*, khususnya *triangular fuzzy*. Langkah penyelesaian masalah dengan metode *Fuzzy AHP* hampir sama dengan metode AHP. Hanya saja metode *Fuzzy AHP* mengubah skala AHP ke dalam skala *triangular fuzzy* untuk memperoleh prioritas. Selanjutnya, data yang telah diubah tersebut diproses lebih lanjut dengan *extent analysis* [7]. Pada penelitian ini penulis mencoba menerapkan metode *Fuzzy AHP* pada kasus pemilihan *supplier* pada UD. Bless Mebel dikarenakan pendekatan dengan menggunakan *fuzzy* khususnya *triangular fuzzy number* mampu meminimalisasi ketidakpastian sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat. Penerapan metode *fuzzy AHP* digunakan untuk mengetahui *supplier* yang terbaik dengan memperhatikan kriteria-kriteria yang telah ditentukan.

Terdapat tiga prinsip dasar dalam metode AHP [6], yaitu dekomposisi, perbandingan penilaian, dan sintesis prioritas. Dekomposisi adalah langkah memecah atau membagi masalah menjadi suatu struktur hirarki. Struktur tersebut terdiri dari tiga tingkat yaitu tingkat pertama (tujuan), tingkat kedua (kriteria) dan tingkat ketiga (alternatif). Selanjutnya, perbandingan penilaian dilakukan dengan membandingkan kriteria secara berpasangan dan diukur dengan skala perbandingan dari 1 sampai dengan 9. Bobot penilaian yang diperoleh kemudian disusun ke dalam matriks perbandingan berpasangan dan dilakukan proses sintesis untuk memperoleh nilai masing-masing kriteria. Nilai masing-masing kriteria didapat dengan menghitung vektor prioritas (vektor eigen) dari matriks perbandingan berpasangan.

Misalkan terdapat sebanyak n kriteria (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>,...,A<sub>n</sub>) dengan  $(\frac{w_i}{w_j})$  (i=1,2,...,n,j=1,2,...,n) adalah bobot perbandingan berpasangan, maka dapat disusun matriks perbandingan berpasangan seperti Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Perbandingan Berpasangan

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	...	A <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	$\frac{W_1}{W_1}$	$\frac{W_1}{W_2}$	...	$\frac{W_1}{W_n}$
A <sub>2</sub>	$\frac{W_2}{W_1}$	$\frac{W_2}{W_2}$	...	$\frac{W_2}{W_n}$
...	...	...	...	...
A <sub>n</sub>	$\frac{W_n}{W_1}$	$\frac{W_n}{W_2}$	...	$\frac{W_n}{W_n}$

Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kekonsistenan dari penilaian. Pengujian konsistensi matriks berukuran n × n diperoleh dengan persamaan berikut [6]:

$$CI = \frac{(\lambda_{maks}-n)}{(n-1)} \tag{1}$$

dengan,

- CI = Rasio penyimpangan (deviasi) konsistensi (*consistency index*)
- λ<sub>maks</sub> = Nilai eigen terbesar dari matriks berorder n
- n = Banyak kriteria

Batas ketidakkonsistenan (*inconsistency*) ditentukan dengan menggunakan Rasio Konsistensi (CR), yaitu perbandingan indeks konsistensi (CI) dengan nilai *random index* (RI) yang diperlihatkan pada Tabel 2. Nilai ini bergantung pada n. Dengan demikian, Rasio Konsistensi dirumuskan sebagai berikut [6], [8]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

- CR = *Consistency Ratio*
- RI = *Random Index*

Tabel 2. Nilai *Random Index* (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Bila matriks *pairwise comparison* mempunyai nilai maka ketidakkonsistenan pendapat dari pengambil keputusan dapat diterima, dan apabila nilai tidak terpenuhi maka penilaian harus diulang. Saat kondisi konsisten terpenuhi maka dilanjutkan dengan pembobotan skala *triangular fuzzy number* [9].

Langkah-langkah metode *Fuzzy AHP* sebagai berikut [7]:

1. Menghitung nilai *fuzzy synthetic extent*

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \tag{3}$$

Dengan

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right)$$

Dan ⊗ merupakan operator dot product. Sedangkan untuk memperoleh nilai  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$  dilakukan operasi penjumlahan untuk keseluruhan bilangan *triangular fuzzy* M<sub>gi</sub><sup>j</sup> (j = 1,2,...,m) yaitu :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij} \right)$$

Jadi

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \approx \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij}}$$

2. Menghitung perbandingan tingkat kemungkinan antara bilangan *fuzzy*

Untuk dua bilangan *triangular fuzzy* S<sub>1</sub> = (l<sub>1</sub>,m<sub>1</sub>,u<sub>1</sub>) dan S<sub>2</sub> = (l<sub>2</sub>,m<sub>2</sub>,u<sub>2</sub>) dengan tingkat kemungkinan (S<sub>1</sub> ≥ S<sub>2</sub>) dapat didefinisikan oleh persamaan berikut :

$$V(S_1 \geq S_2) = \begin{cases} 1 & , \text{ Jika } m_1 \geq m_2 \\ 0 & , \text{ Jika } l_2 \geq u_1 \\ \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} & , \text{ lainnya} \end{cases}$$

3. Menghitung tingkat kemungkinan untuk bilangan *fuzzy*

Tingkat kemungkinan bilangan *fuzzy* didefinisikan sebagai berikut:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \tag{5}$$

k = 1,2, ..., n; k ≠ i

Sehingga diperoleh vector bobot

$$W' = ((d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

4. Menormalisasi vektor bobot

Vektor bobot yang masih dalam bentuk bilangan *fuzzy* selanjutnya dinormalisasi dengan persamaan:

$$d(A_i) = \frac{d'(A_i)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)} \tag{6}$$

Untuk I = 1,2,...,n

Tabel 3. Skala AHP dan *Triangular Fuzzy Number*

Skala AHP	Skala Fuzzy	Invers Skala Fuzzy	Keterangan
1	(1,1,1)	(1,1,1)	Sama Penting
2	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)	Skala antara sama dan sedikit lebih penting
3	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	Sedikit lebih penting
4	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)	Skala antara sedikit lebih dan lebih penting
5	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)	Lebih penting
6	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)	Skala antara lebih dan sangat penting
7	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)	Sangat penting
8	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)	Skala antara sangat dan mutlak lebih penting
9	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)	Mutlak lebih penting

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

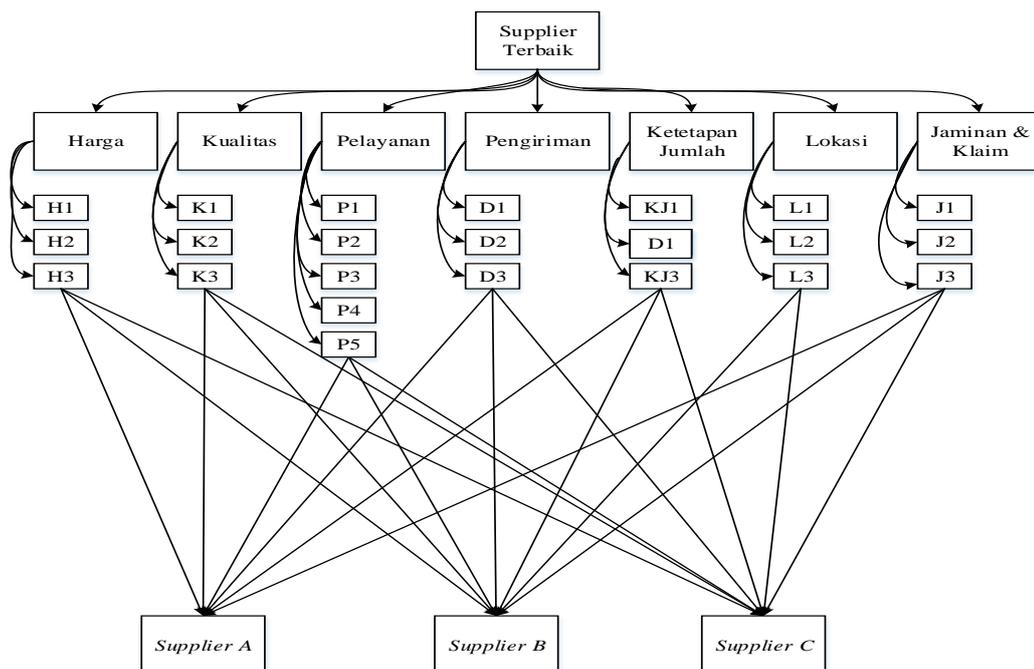
Berdasarkan permasalahan diperoleh struktur Hirarki (Gambar 1). Selanjutnya kriteria dibandingkan secara berpasangan dan diberi bobot penilaian. Pada penelitian ini, dengan menggunakan skala kepentingan yang dijelaskan oleh Saaty didefinisikan skala tingkat kepentingan dan variabel penelitian sebagai berikut :

Tabel 4. Skala Tingkat Dominan

Tingkat Kepentingan	Defenisi
1	Sama Penting
3	Sedikit Penting
5	Cukup Penting
7	Lebih Penting
9	Mutlak Penting
2,4,6,8	Nilai diantara dua pilihan yang berdekatan

Selanjutnya berdasarkan matriks perbandingan kriteria maka dapat diperoleh bobot AHP. Adapun Langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Langkah 1. Menjumlahkan elemen dalam satu kolom (Tabel 5).
- Langkah 2. Menormalisasikan matriks dengan cara membagi elemen dengan jumlahan masing-masing kolom. Hasil ditunjukkan pada tabel 6
- Langkah 3. Menjumlahkan elemen dalam satu baris, kemudian membaginya dengan banyak kriteria dari matrik kriteria (n=7). Hasil ditunjukkan pada tabel 6.
- Langkah 4. Berikutnya  $\lambda_{maks}$  diperoleh dari jumlah dari matriks perbandingan dikalikan dengan bobot prioritas.



Gambar 1. Struktur Hirarki Pemilihan Supplier

$$\lambda_{maks} = (0,23 \times 4,42) + (0,25 \times 3,92) + (0,12 \times 9,33) + (0,16 \times 7,33) + (0,11 \times 9) + (0,06 \times 16) + (0,23 \times 15) = 7,27$$

Langkah 5. Berikut, dihitung nilai indeks konsistensi (CI) dengan persamaan (1) sehingga diperoleh:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} = \frac{7,27 - 7}{6} = 0,04$$

Langkah 6. Berdasarkan tabel 2, untuk  $n = 3$  maka  $RI = 1,23$  sehingga

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,04}{1,23} \text{ (konsisten karena memenuhi syarat } CR < 0,1).$$

Secara keseluruhan untuk hasil perhitungan pembobotan dan uji konsistensi untuk masing-masing kriteria dan subkriteria dapat dilihat pada tabel 7 :

Tabel 5. Matriks Perbandingan Kriteria

Kriteria	Harga	Kualitas	Pelayanan	Pengiriman	Ketentuan Jumlah	Lokasi	Jaminan & Klaim
Harga	1	1	3	1	2	4	3
Kualitas	1	1	2	3	2	3	4
Pelayanan	1/3	1/2	1	1	1	3	1
Pengiriman	1	1/3	1	1	2	2	3
Ketentuan Jumlah	1/2	1/2	1	1/2	1	2	2
Lokasi	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1
Jaminan & Klaim	1/3	1/4	1	1/3	1/2	1	1
Jumlah	4,42	3,92	9,33	7,33	9	16	15

Tabel 6. Perhitungan Bobot Prioritas AHP

Kriteria	Harga	Kualitas	Pelayanan	Pengiriman	Ketentuan Jumlah	Lokasi	Jaminan & Klaim	Bobot	Presentase
Harga	0,23	0,26	0,32	0,14	0,22	0,25	0,20	0,23	23%
Kualitas	0,23	0,26	0,21	0,41	0,22	0,19	0,27	0,25	25%
Pelayanan	0,08	0,13	0,11	0,14	0,11	0,19	0,07	0,12	12%
Pengiriman	0,23	0,09	0,11	0,14	0,22	0,13	0,20	0,16	16%
Ketentuan Jumlah	0,11	0,13	0,11	0,07	0,11	0,13	0,13	0,11	11%
Lokasi	0,06	0,09	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	6%
Jaminan & Klaim	0,08	0,06	0,11	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	7%

Tabel 7. Bobot Kriteria dan Subkriteria

Kriteria	Bobot	Prioritas	SubKriteria	Bobot	Prioritas
Harga	0,23	II	H1	0,59	I
			H2	0,25	II
			H3	0,16	III
Kualitas	0,26	I	K1	0,47	I
			K2	0,38	II
			K3	0,15	III
Pelayanan	0,12	IV	P1	0,35	I
			P2	0,08	V
			P3	0,22	II
			P4	0,19	III
			P5	0,16	IV
Pengiriman	0,16	III	D1	0,58	I
			D2	0,11	III
			D3	0,31	II
Ketetapan Jumlah	0,11	V	KJ1	0,37	II
			KJ2	0,49	I
			KJ3	0,14	III
Lokasi	0,06	VII	L1	0,45	I
			L2	0,45	II
			L3	0,09	III
Jaminan & Kebijakan Klaim	0,07	VI	J1	0,59	I
			J2	0,25	II
			J3	0,16	III

Tabel 8. Nilai CR

Perbandingan Berpasangan	CR	Keterangan
Antar Kriteria	0,01	Konsisten
Antar Kriteria Harga	0,05	Konsisten
Antar Kriteria Kualitas	0,05	Konsisten
Antar Kriteria Pelayanan	0,09	Konsisten
Antar Kriteria Pengiriman	0,00	Konsisten
Antar Kriteria Ketetapan Jumlah	0,08	Konsisten
Antar Kriteria Lokasi	0,00	Konsisten
Antar Kriteria Jaminan dan Klaim	0,05	Konsisten

Berdasarkan uji konsistensi diketahui bahwa perbandingan antar seluruh kriteria maupun subkriteria konsisten. Langkah berikutnya mengubah matriks perbandingan AHP kedalam skala *Triangular fuzzy Number* (TFN). Adapun skala TFN yang digunakan adalah skala pada tabel 3, sehingga diperoleh hasil seperti Tabel 9.

Berikutnya dilakukan proses *synthetic* dengan Langkah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai *fuzzy synthetic extent*

Pertama akan dihitung  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ , yaitu dengan menjumlahkan tiap-tiap bilangan *fuzzy* dalam setiap baris dan menghitung nilai  $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]$  dengan menjumlahkan keseluruhan tiap-tiap bilangan *fuzzy* pada baris

dan kolom Sehingga diperoleh nilai  $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$  adalah  $(\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42})$ , Menggunakan persamaan (3) dihitung nilai *fuzzy synthetic extent*, diperoleh :

$$SK_1 = (10 \times 14 \times 18) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.13, 0.24, 0.43)$$

$$SK_2 = (9 \times 13 \times 17) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.12, 0.22, 0.40)$$

$$SK_3 = (5.58 \times 6.83 \times 8.50) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.07, 0.12, 0.20)$$

$$SK_4 = (6.25 \times 9.33 \times 12.50) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.08, 0.16, 0.30)$$

$$SK_5 = (4.67 \times 7 \times 10) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.06, 0.12, 0.24)$$

$$SK_6 = (3.03 \times 3.42 \times 4.33) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.04, 0.06, 0.10)$$

$$SK_7 = (3.78 \times 4.08 \times 4.83) \times (\frac{1}{75}, \frac{1}{58}, \frac{1}{42}) = (0.05, 0.07, 0.12)$$

2. Menghitung tingkat kemungkinan *fuzzy synthetic*.

Dari nilai *fuzzy synthetic* yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat diperoleh perbandingan tingkat kemungkinan serta nilai *fuzzy synthetic* dibandingkan, selanjutnya diambil nilai minimumnya. Menggunakan persamaan (7) diperoleh

Tabel 9. Skala Perbandingan F-AHP

Kriteria	Harga	Kualitas	Pelayanan	Pengiriman	Ketentuan Jumlah	Lokasi	Jaminan & Klaim
Harga	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(2,3,4)
Kualitas	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)
Pelayanan	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,1,1)
Pengiriman	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
Ketentuan Jumlah	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
Lokasi	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
Jaminan & Klaim	(1/4,1/3,1/2)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Tabel 10. Perhitungan Jumlah Baris Disetiap Kolom Sel

	Harga			Kualitas			Pelayanan			Pengiriman			etentuan Junl:			Lokasi			Jaminan & Klaim			Σ				
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	Σl	Σm	Σu		
Harga	1	1	1	1	1	1	2	3	4	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	2	3	4	10	14	18
Kualitas	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	4	1	2	3	2	3	4	3	4	5	9	13	17		
Pelayanan	0,25	0,33	0,5	0,33	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	1	1	1	1	5,58	6,83	8,5
Pengiriman	1	1	1	0,25	0,33	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	2	3	2	3	4	6,25	9,33	12,5
Ketentuan Jumlah	0,33	0,5	1	0,33	0,5	1	1	1	1	0,33	0,5	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	2	3	4,67	7	10
Lokasi	0,2	0,25	0,33	0,25	0,33	0,5	0,25	0,33	0,5	0,33	0,5	1	0,33	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,03	3,42	4,33
Jaminan & Klaim	0,25	0,33	0,5	0,2	0,3	0,33	1	1	1	0,25	0,33	0,5	0,33	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,78	4,08	4,83
																						Σ	42	58	75	

- a.  $VK_1 \geq (VK_2, VK_3, VK_3, VK_4, VK_5, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_1 \geq K_2) \geq 1$   
 $V(K_1 \geq K_3) \geq 1$   
 $V(K_1 \geq K_4) \geq 1$   
 $V(K_1 \geq K_5) \geq 1$   
 $V(K_1 \geq K_6) \geq 1$   
 $V(K_1 \geq K_7) \geq 1$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_1) = 1$
- b.  $VK_2 \geq (VK_1, VK_3, VK_4, VK_5, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_2 \geq K_1) \geq 0,6$   
 $V(K_2 \geq K_2) \geq 1$   
 $V(K_2 \geq K_3) \geq 1$   
 $V(K_2 \geq K_4) \geq 1$   
 $V(K_2 \geq K_5) \geq 1$   
 $V(K_2 \geq K_6) \geq 1$   
 $V(K_2 \geq K_7) \geq 1$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_2) = 0,6$
- c.  $VK_3 \geq (VK_1, VK_2, VK_4, VK_5, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_3 \geq K_1) \geq 0,4$   
 $V(K_3 \geq K_2) \geq 0,4$   
 $V(K_3 \geq K_4) \geq 0$   
 $V(K_3 \geq K_5) \geq 1$   
 $V(K_3 \geq K_6) \geq 1$   
 $V(K_3 \geq K_7) \geq 1$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_3) = 0$
- d.  $VK_4 \geq (VK_1, VK_2, VK_3, VK_5, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_4 \geq K_1) \geq 0$   
 $V(K_4 \geq K_2) \geq 0,7$   
 $V(K_4 \geq K_3) \geq 1$   
 $V(K_4 \geq K_5) \geq 1$   
 $V(K_4 \geq K_6) \geq 1$   
 $V(K_4 \geq K_7) \geq 1$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_4) = 0$
- e.  $VK_5 \geq (VK_1, VK_2, VK_3, VK_4, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_5 \geq K_1) \geq 0,5$   
 $V(K_5 \geq K_2) \geq 0,5$   
 $V(K_5 \geq K_3) \geq 1$   
 $V(K_5 \geq K_4) \geq 0,8$   
 $V(K_5 \geq K_6) \geq 1$   
 $V(K_5 \geq K_7) \geq 1$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_5) = 0,5$
- f.  $VK_6 \geq (VK_1, VK_2, VK_3, VK_4, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_6 \geq K_1) \geq 0$   
 $V(K_6 \geq K_2) \geq 0$   
 $V(K_6 \geq K_3) \geq 0,3$   
 $V(K_6 \geq K_4) \geq 0,2$   
 $V(K_6 \geq K_5) \geq 0,4$   
 $V(K_6 \geq K_7) \geq 1,2$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_6) = 0$

- g.  $VK_7 \geq (VK_1, VK_2, VK_3, VK_4, VK_6, VK_7)$   
 $V(K_7 \geq K_1) \geq 0$   
 $V(K_7 \geq K_2) \geq 0$   
 $V(K_7 \geq K_3) \geq 0,5$   
 $V(K_7 \geq K_4) \geq 0,3$   
 $V(K_7 \geq K_5) \geq 0,5$   
 $V(K_7 \geq K_6) \geq 1$   
 Sehingga diperoleh nilai ordinat,  $d'$   
 $d'(VK_7) = 0$
3. Menormalisasikan vector bobot untuk matriks perbandingan kriteria dalam bilangan fuzzy
- $$W' = (d'(K1), d'(K2), d'(K3), d'(K4), d'(K5), d'(K6), d'(K7))$$
- $$W' = (1, 0.6, 0, 0, 0.5, 0, 0)^T$$
- $$\Sigma W' = 2,11$$

Selanjutnya vektor bobot dinormalisasi menggunakan persamaan (9), diperoleh  $W = (0,47, 0,31, 0, 0, 0,22, 0, 0)$

Langkah dan proses yang sama dilakukan pada matriks subkriteria untuk memperoleh vektor bobot. Berikut bobot prioritas kriteria dan subkriteria dalam pemilihan supplier pada UD. Bless Mebel.

Tabel 11. Bobot Prioritas F-AHP

Kriteria	Bobot	Prioritas	Sub Kriteria	Bobot	Prioritas
Harga	0.47	I	H1	0.71	I
			H2	0.29	II
			H3	0	III
Kualitas	0.31	II	K1	0.63	I
			K2	0.34	II
			K3	0	III
Pelayanan	0	IV	P1	0.35	I
			P2	0	V
			P3	0.27	II
			P4	0.21	III
			P5	0.18	IV
Pengiriman	0	V	D1	0.68	I
			D2	0	III
			D3	0.32	II
Ketetapan Jumlah	0.22	III	KJ1	0.23	II
			KJ2	0.77	I
			KJ3	0	III
Lokasi	0	VI	L1	0.5	I
			L2	0.5	II
			L3	0	III
Jaminan & Kebijakan Klaim	0	VII	J1	0.72	I
			J2	0.28	II
			J3	0	III

Dalam studi kasus pemilihan *supplier* terbaik diambil tiga *supplier* sebagai sampel, yaitu *supplier* somel ari, owner sepa, dan owner tambilow.

Tabel 12. Bobot *Supplier*

Supplier	Bobot	Prioritas
A	0,37	II
B	0,24	III
C	0,39	I

Dari tabel bobot *supplier* diperoleh dari bobot perbandingan subkriteria dan alternatif (*supplier*) dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah bobot yaitu 23 maka didapatkan bobot *supplier* A (0,37) *supplier* B (0,24) dan *supplier* C (0,39).

Berdasarkan hasil penelitian maka yang akan diprioritaskan atau dipilih sebagai *supplier* terbaik oleh perusahaan adalah *supplier* C maka diharapkan *supplier* terpilih kedepannya akan menjaga konsistensi dalam menyuplai bahan baku kepada perusahaan.

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan menerapkan metode *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* diperoleh hasil bahwa:

1. Hasil pengolahan data yang dilakukan dengan metode *fuzzy* AHP dapat diperoleh tujuh kriteria dengan tingkat kepentingan secara berurutan yaitu kriteria harga yang menjadi prioritas pertama dalam pemilihan *supplier* pada UD. Bless Mebel dengan bobot (0,47), kemudian kriteria kualitas dengan bobot (0,31), selanjutnya kriteria ketetapan jumlah (0,22) dan seterusnya untuk pelayanan, pengiriman, lokasi, jaminan dan kebijakan klaim memiliki bobot 0.
2. Dengan memperhatikan ketujuh kriteria diatas maka diperoleh *supplier* yang direkomendasikan untuk diprioritaskan adalah *supplier* terbaik berdasarkan bobot prioritas tertinggi yaitu *supplier* C (*Supplier* Sepa) dengan bobot (0,39) kemudian *supplier* A (Somel Ari) (0,37) dan yang ketiga adalah *supplier* B (*Supplier* Tambilow) (0,24).

Penelitian yang dilakukan ini berhubungan dengan keperluan UD. Bless Mebel saat ini, sehingga waktu, kondisi dan tempat yang berbeda perlu dilakukan penelitian lanjutan. Potensi riset mendatang yang dapat dikembangkan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan metode lain yang lebih kuantitatif seperti dikombinasikan dengan metode *Data Envelopment Analysis* (DEA).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ernawati, D., Suryadi, A. and Erlina (2017) ‘Analisis Pemilihan *Supplier* Terbaik Untuk Bahan Baku Utama Menggunakan Metode (Studi Kasus : Pt . Kedaung Indah Can Tbk .)’, *Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(02), pp. 1–12.
- [2] Darmawan, H. and Setiawan, H. (2013) ‘Pemilihan Pemasok Bahan Baku Produksi Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis’, *Jurnal Teknik Industri*, 1(2), pp. 157–161.
- [3] Wulandari, N. (2014) ‘Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan *Supplier* di PT . Alfindo dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)’, *Jurnal Sistem Informasi Vol-1*, 1(1), pp. 4–7.
- [4] Lim, J. J., and Zhang, A.N. (2016). A DEA approach for *Supplier* Selection with AHP and risk consideration., 2016 IEEE International Conference on Big Data. pp. 3749-3758.
- [5] Latuny, W., Paillin, D. B. and Yaniah, S. (2020) ‘Kombinasi Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Data Envelopment Analysis (DEA) untuk Pemilihan *Supplier* Pada UD. Jepara Putra Mebel’, *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 19(2), pp. 141–150. doi: 10.20961/performa.19.2.46324.
- [6] Saaty, T. L. & Kearns, K. P., 1985. *Analytical Planning The Organization of Systems*. Pergamon Press
- [7] Chang, Da-Yong, 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal Of Operational Research*, pp. 649-655.
- [8] Saaty, T. L. & Vargas, L. G., 2001. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. New York: Springer Science + Business Media
- [9] Hsu, Yu-Lung, Lee, Cheng-Haw. & V.B. Kreng, 2010. The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert System with Application*, pp. 419-425

## MODEL OPTIMISASI UNTUK MASALAH MINIMISASI BIAYA PERJALANAN WISATA TUR-TUNGGAL DI ZONA KEPULAUAN

M. T. Afifudin<sup>1\*</sup>, D. P. Sahar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, 97234

\*Email: [thezar.afifudin@fatek.unpatti.ac.id](mailto:thezar.afifudin@fatek.unpatti.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, 97234

Email: [dian.sahar@fatek.unpatti.ac.id](mailto:dian.sahar@fatek.unpatti.ac.id)

**Abstrak.** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model optimisasi penyelesaian masalah minimisasi biaya perjalanan wisata tur-tunggal di zona kepulauan. Model dikembangkan dengan menggunakan pendekatan integer non-linier programming dengan mempertimbangkan seleksi titik keberangkatan dan kedatangan suatu pulau, seleksi titik akomodasi, seleksi jadwal keberangkatan moda transportasi, dan seleksi rute perjalanan baik di dalam pulau maupun antar pulau. Komponen biaya yang dilihat meliputi biaya perjalanan antar-pulau, biaya perjalanan darat, biaya di titik-titik selektif, dan biaya menunggu keberangkatan. Percobaan numerik dilakukan terhadap kasus perencanaan rute wisata di Maluku, Indonesia. Skenario hari keberangkatan dibangun untuk mengetahui rute dan jadwal yang tepat di setiap hari keberangkatan dengan total biaya minimum. Selain itu, perbandingan juga dilakukan terhadap hasil yang didapat pada model minimisasi waktu yang telah diperkenalkan sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dapat beradaptasi melalui variasi solusi terhadap perubahan parameter dan tujuan yang diberikan.

Kata kunci: pengrutean, penjadwalan, kepulauan, intermoda

**Abstract.** This study aims to develop an optimization model for solving the insular cost minimization single-tour travel problems. The model was developed using an integer non-linear programming approach by considering the selection of departure and arrival points of an island, selecting accommodation points, selecting transportation mode departure schedules, and selecting travel routes both within islands and between islands. The cost components considered include inter-island travel costs, land travel costs, costs at selective points, and costs waiting for departure. A numerical experiment was conducted on the case of planning a tourist route in Maluku, Indonesia. The departure day scenario is built to find out the exact route and schedule on each day of departure with a minimum total cost. In addition, comparisons were also made to the results obtained in the time minimization model that was introduced earlier. The results showed that the model can adapt through variations of solutions to changes in the given parameters and objectives.

Keywords: routing, scheduling, insular, intermoda

### 1. PENDAHULUAN

Teknologi informasi memudahkan suatu organisasi atau industri dapat menyajikan secara langsung apa yang diinginkan kostumernya. Tidak terkecuali pada industri pariwisata, pengembangan aplikasi dilakukan untuk memudahkan turis merencanakan secara pribadi perjalanan wisata yang diinginkan secara *mobile*.

Pembahasan mengenai aplikasi tidak terlepas dari masalah dan model penyelesaian yang digunakan di dalamnya. Terkait dengan perjalanan wisata, masalah yang populer dibahas oleh komunitas riset operasional saat ini adalah *tourist trip design problem* (TTDP).

TTDP atau dikenal juga dengan *tour route plan problem* (TRPP) didefinisikan sebagai masalah perencanaan rute tur dalam mengunjungi sejumlah

titik wisata yang diinginkan (*point of interest* - POI) [1]. Masalah ini memiliki korespondensi dengan *orienteeing problem* (OP) dan *vehicle routing problem* (VRP) [2,3]. Ekstensi dan varian TTDP dibagi menjadi dua kelompok [4]. Pertama, *single-tour* TTDP yang dikembangkan dari OP (varian TSP), difokuskan untuk masalah perjalanan yang bersifat individual atau personal. Kedua, *multi-tour* TTDP yang dikembangkan dari *team OP* (TOP), varian VRP, untuk perjalanan kelompok atau tim.

Dalam artikel ini, pembahasan difokuskan pada varian *single-tour* TTDP dengan mempertimbangkan zona kluster kepulauan. Masalah ini bersinggungan dengan varian-varian OP dan TSP dengan karakteristik *clustered generalized*. Secara parsial, *clustered* digunakan untuk masalah perjalanan antar-kluster dimana semua titik (pada kluster) harus dikunjungi [5,6], sedangkan *generalized* digunakan untuk perjalanan antar-kluster dimana representasi kunjungan ke kluster hanya dapat diwakili minimal oleh satu titik [7,8]. *Clustered generalized* memungkinkan setiap kluster dapat terbentuk dari kluster-kluster yang lebih kecil.

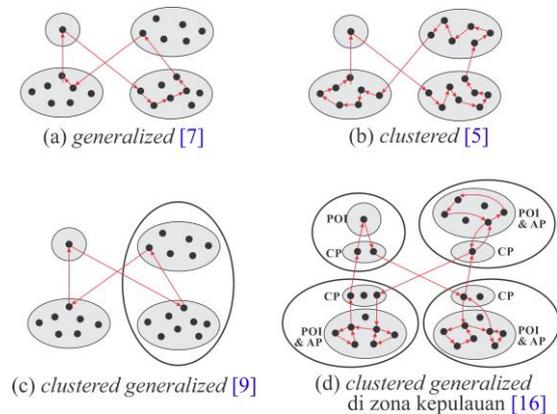
Aplikasi *clustered generalized* pada masalah perencanaan rute pertama kali diperkenalkan dalam masalah logistik, seperti penempatan dan pengambilan barang oleh *robotic automated storage and retrieval system* (ASRS) dan pengiriman barang dengan drone [9]. Namun, model tersebut sulit diaplikasikan untuk masalah perencanaan rute di zona kepulauan. Ini disebabkan karena setiap kluster kecil hanya dapat dikunjungi sekali.

Pada kunjungan di zona kepulauan, kluster pulau terbentuk dari minimal dua jenis kluster kecil, yaitu (1) kluster titik koneksi antar pulau (CP) yang terdiri dari pelabuhan, bandara, dan sebagainya, dan (2) kluster titik tujuan. Kunjungan terhadap kluster CP minimal dilakukan sebanyak dua kali, sebagai titik kedatangan dan keberangkatan [10–13]. Oleh karena itu, di setiap pulau, akan diseleksi minimal satu CP.

Pengembangannya terkait dengan perjalanan tur, seleksi titik tidak hanya dilakukan pada titik koneksi, melainkan juga titik akomodasi. Masalah ini mirip dengan varian-varian OP dan VRP dengan *hotel selection* [14][15], dimana maksimum skor capaian ke sejumlah POI bergantung pada hotel-hotel yang diseleksi, diawali dari hotel dan kembali ke hotel.

Perencanaan rute tur di zona kepulauan dengan mempertimbangkan seleksi titik akomodasi telah diperkenalkan sebelumnya oleh Afifudin & Sahar [16]. Dalam artikel tersebut, model optimisasi

dibangun dengan tujuan untuk meminimisasi waktu. Berbeda dengan masalah dalam artikel ini, model optimisasi dibangun untuk tujuan minimisasi biaya. Hal ini didasari pada kenyataan bahwa waktu tidak selalu menjadi prioritas bagi turis, melainkan juga diperlukan *trade-off* dengan biaya.



Gambar 1. Jenis klusterisasi masalah perutean

Riset-riset terkait TTDP sebelumnya telah memperkenalkan beragam pendekatan penyelesaian, baik eksak, heuristik, maupun metaheuristik [4]. Dalam penelitian ini, model dibangun dengan menggunakan pendekatan eksak pemrograman integer non-linier. Untuk mencapai tujuan model, maka estimasi total biaya direncanakan meliputi biaya perjalanan antar-pulau, biaya perjalanan darat, biaya di titik koneksi, titik akomodasi, dan titik wisata, dan biaya menunggu keberangkatan (*delay*) moda transportasi.

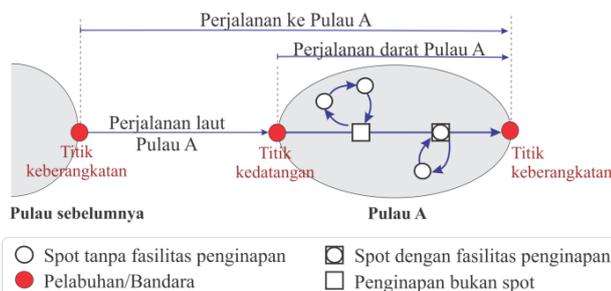
Seleksi titik akomodasi (*accommodation point* - AP) berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan. Dalam kasus ini, seleksi titik akomodasi didasarkan pada kemampuan waktu jangkauan ke POI-POI. AP akan mengcover suatu POI jika waktu perjalanan antar keduanya kurang dari kemampuan waktu jangkauan AP. Semakin banyak POI yang dikover, menyebabkan bertambahnya waktu yang dibutuhkan di AP. Meningkatnya waktu akomodasi, menyebabkan peningkatan pada biaya yang dikeluarkan.

Pengaruh waktu terhadap biaya juga terjadi pada proses menunggu keberangkatan moda transportasi. Semakin lama waktu menunggu, menyebabkan semakin meningkatnya biaya menunggu. Oleh karena itu seleksi titik dan rute perlu dioptimalkan tidak hanya untuk meminimisasi biaya perjalanan dan akomodasi, melainkan juga biaya menunggu keberangkatan di titik koneksi CP.

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1. Metode

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan dan teknik yang sama dilakukan oleh Afifudin & Sahar [16]. Pendekatan pengembangan model menggunakan *integer non-linear programming* (INLP). Untuk mengestimasi biaya total, maka komponen biaya dibagi menjadi enam, yaitu (1) biaya perjalanan antar titik koneksi AC, (2) biaya perjalanan antar AP dan/atau POI, (3) biaya perjalanan dari CP ke AP, (4) biaya perjalanan dari AP ke CP, (5) biaya selama proses di CP, dan (6) biaya sewa AP dan/atau kunjungan ke POI. Gambar 2 mengilustrasikan jenis-jenis perjalanan. Untuk penentuan biaya-biaya tersebut, maka seleksi diperlukan terhadap titik konektivitas di suatu pulau (titik keberangkatan dan kedatangan), seleksi titik akomodasi, seleksi jadwal keberangkatan moda, dan seleksi rute perjalanan (dalam dan antar pulau).



Gambar 2. Ilustrasi perjalanan ke suatu pulau

Pengujian model dilakukan melalui percobaan numerikal untuk menganalisis adaptabilitas model dalam memberikan variasi solusi terhadap 14 skenario yang direncanakan. Skenario didasarkan pada variasi hari keberangkatan (7 hari) dan kemampuan waktu kover titik akomodasi dalam menjangkau POI-POI. Kemampuan waktu kover ( $maxC$ ) dibagi menjadi dua, yaitu normal dan ekstrim.  $MaxC$  ekstrim dirancang agar model hanya menyeleksi satu titik akomodasi (AP) yang dapat mengcover semua POI yang akan dikunjungi di setiap pulau. Sedangkan  $MaxC$  normal dirancang agar model dapat memilih lebih dari satu AP.

Selain itu, perbandingan hasil dilakukan terhadap model lainnya (minimisasi waktu) untuk melihat sejauh mana perilaku dan variasi solusi yang diberikan terhadap perubahan tujuan.

### 2.2. Bahan

Set data [17] yang digunakan dalam pengujian model dikembangkan dari salah satu kasus yang dihadapi di kepulauan Maluku. Set data tersebut memuat parameter pengujian model yang memuat

dataterkait 13 titik (POI/AP), 5 pulau, 10 titik koneksi (CP), dan 54 jadwal keberangkatan selama waktu perencanaan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Notasi dan Teknik Formulasi

Graf sistem masalah dalam artikel ini terdiri dari beberapa set (himpunan) dan *directed link* yang dideskripsikan sebagai berikut.  $Q^1$  merupakan set pulau sebanyak  $N^1$ , dimana setiap pulau diindeks dengan  $A, B$ , atau  $C$ .  $Q^2$  merupakan set titik koneksi antar pulau (seperti pelabuhan dan bandara) sebanyak  $N^2$ , dimana setiap titik koneksi diindeks dengan  $D, E$ , atau  $F$ .  $Q^3$  merupakan set titik (meliputi titik akomodasi dan titik wisata) sebanyak  $N^3$ , dimana setiap titik diindeks dengan  $G, H$ , atau  $I$ .  $Q^4$  merupakan set waktu keberangkatan sebanyak  $N^4$ , dimana setiap waktu keberangkatan diindeks dengan  $J$ . Setiap set saling terhubung melalui *directed link* yang direpresentasikan oleh parameter-parameter dan variabel-variabel yang digunakan.

Parameter-parameter dan variabel-variabel yang digunakan meliputi yang digunakan oleh Afifudin & Sahar [16] dan penambahan beberapa parameter dan variabel sebagai berikut:

*Parameter model*

$C_{Del}$  = Biaya menunggu

*Variabel-variabel keputusan*

$CA_{D,E}$  = Biaya perjalanan antar titik koneksi pulau dari  $D$  ke  $E$

$CB_{G,H}$  = Biaya perjalanan antar AP/POI dari  $G$  ke  $H$

$CC_{D,G}$  = Biaya perjalanan dari titik koneksi  $D$  ke AP  $G$

$CD_{G,D}$  = Biaya perjalanan dari AP  $G$  ke titik koneksi  $D$

$CE_D$  = Biaya selama proses *load-unload* muatan di titik koneksi  $D$

$CF_G$  = Biaya sewa AP dan/atau kunjungan ke POI  $G$

*Variabel-variabel tambahan*

$XD_G$  = 1, jika  $XA_G=0$  dan  $XB_G=1$ ; dan 0, jika tidak

$TG_G$  = Akumulasi waktu di POI  $G$

$TH_{A,G}$  = Akumulasi waktu di AP  $G$  di pulau  $A$  berdasarkan lamanya waktu kunjungan ke semua POI yang dikovernya

$CT_A$  = Jumlah biaya dibutuhkan untuk mengunjungi pulau  $A$  mulai dari keberangkatan dari pulau sebelumnya sampai tiba di titik keberangkatan pulau  $A$

### 3.2. Formula Matematis

#### a. Tujuan

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } C + C_{Del} [Max(TTS_A) + TT_1 - Min(TTS_A) - T] \quad 1 \\
 & C = \left. \begin{aligned}
 & \sum_D \sum_E WA_{D,E} \cdot CA_{D,E} + \sum_G \sum_H WB_{G,H} \cdot CB_{G,H} + \\
 & \sum_D \sum_G WC_{D,G} \cdot CC_{D,G} + \sum_G \sum_D WD_{G,D} \cdot CD_{G,D} + \\
 & \sum_G \sum_H \sum_I WF_{G,H,I} \cdot CB_{H,I} + \sum_A \sum_D YA_{A,D} \cdot CE_D + \\
 & \sum_A \sum_D YB_{A,D} \cdot CE_D + \sum_A \sum_G ZB_{A,G} \cdot XD_G \cdot TG_G \cdot CF_G + \\
 & \sum_A \sum_G (1 - YC_{A,G}) \cdot ZB_{A,G} \cdot XA_G \cdot XB_G \cdot TG_G \cdot CF_G + \\
 & \sum_A \sum_G YC_{A,G} \cdot ZB_{A,G} \cdot XA_G \cdot TH_G \cdot CF_G
 \end{aligned} \right\} 2 \\
 & C \geq \left( \sum_G XB_G \cdot CF_G \right) + (N_1 \cdot 2 \cdot Min(CE_D)) \quad 3
 \end{aligned}$$

Ekuasi (1) merupakan fungsi tujuan minimisasi biaya total.  $C$  merupakan jumlah biaya perjalanan, biaya penginapan, dan biaya kunjungan di spot (lihat Ekuasi 2), sedangkan  $C_{Del}[Max(TTS_A) + TT_1 - Min(TTS_A) - T]$  merupakan jumlah biaya selama menunggu keberangkatan. Ekuasi (3) mengatur nilai batas bawah (*lower bound*) untuk  $C$ .

#### b. Kendala-kendala

Untuk mencapai tujuan minimisasi biaya, maka kendala-kendala yang dihadapi meliputi:

1). Kendala-kendala yang digunakan oleh Afifudin & Sahar (Ekuasi 2 - 68) [16]:

$$\psi \quad 4$$

dimana  $\psi$  meliputi:

- penentuan waktu keberangkatan total TT
- penentuan lower bound (batas bawah) dari total waktu keberangkatan dan waktu keberangkatan dari pulau terakhir dikunjungi
- penentuan rute antar pelabuhan
- penentuan titik penginapan di suatu pulau
- penentuan rute antar titik penginapan di suatu pulau
- penentuan rute antar titik kedatangan dengan titik penginapan di suatu pulau
- penentuan rute antar titik penginapan dengan titik keberangkatan di suatu pulau
- penentuan konektivitas rute antar titik penginapan dengan titik kedatangan dan titik keberangkatan di suatu pulau
- penentuan pengkoveran titik penginapan terhadap spot-spot wisata di suatu pulau
- penentuan rute antar spot wisata dan dengan titik penginapan di suatu pulau
- penentuan waktu keberangkatan dari suatu pulau
- penentuan akumulasi waktu di suatu pulau

- penentuan waktu mulai perjalanan dari setiap urutan pulau.

#### 2). Penentuan akumulasi biaya di suatu pulau

$$\left. \begin{aligned}
 & \sum_{B \neq A} \sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{B,D} \cdot ZA_{A,E} \cdot CA_{D,E} + \\
 & \sum_G \sum_H WB_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot CB_{G,H} + \\
 & \sum_D \sum_G WC_{D,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot CC_{D,G} + \\
 & \sum_G \sum_D WD_{G,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot CD_{G,D} + \\
 & \sum_G \sum_H \sum_I WG_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \cdot CB_{H,I} + \\
 & \sum_D YA_{A,D} \cdot ZA_{A,D} \cdot CE_D + \sum_D YB_{A,D} \cdot ZA_{A,D} \cdot CE_D + \\
 & \sum_D ZB_{A,G} \cdot XD_G \cdot TG_G \cdot CF_G + \\
 & \sum_G YC_{A,G} \cdot ZB_{A,G} \cdot XA_G \cdot TH_G \cdot CF_G + \\
 & \sum_G (1 - YC_{A,G}) \cdot ZB_{A,G} \cdot XA_G \cdot XB_G \cdot TG_G \cdot CF_G
 \end{aligned} \right\} 5$$

$$\quad ; \forall A \in Q^1$$

$$XD_G = \begin{cases} 1, & XA_G = 0, XB_G = 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} ; \forall G \in Q^3 \quad 6$$

$$TG_G = INT \quad ; \forall G \in Q^3 \quad 7$$

$$\left( \frac{TF_G}{24} \right) XB_G \leq TG_G \leq \left( \frac{TF_G}{24} \right) XB_G + 1 \quad ; \forall G \in Q^3 \quad 8$$

$$TH_G = INT \quad ; \forall G \in Q^3 \quad 9$$

$$\left. \begin{aligned}
 & TH_G \geq \left( \frac{\sum_H WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot TF_H}{24} \right) \\
 & TH_G \leq \left( \frac{\sum_H WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot TF_H}{24} \right) + 1
 \end{aligned} \right\} ; \forall G \in Q^3 \quad 10$$

Ekuasi (5) merupakan akumulasi biaya di suatu pulau  $CT$ . Ekuasi (6) menjelaskan  $XD$  merupakan variabel integer binari yang digunakan untuk menjelaskan bahwa suatu spot wisata tidak memiliki fasilitas penginapan. Ekuasi (7) menjelaskan  $TG$  sebagai variabel integer general untuk mengakumulasi waktu dalam satuan hari di setiap spot wisata. Ekuasi (8) menyatakan  $TH$  sebagai akumulasi jumlah waktu yang diperlukan di setiap penginapan dalam mengkover seluruh spot wisata. Ekuasi (9-10) menyatakan batasan nilai  $TH$ .

### 3.3. Percobaan Numerikal dan Pembahasan

Percobaan numerikal dilakukan terhadap model berdasarkan pada skenario dan set data yang diberikan. Untuk melihat lebih jelas performa yang diberikan model, maka perbandingan hasil dilakukan dengan model minimisasi waktu yang diperkenalkan sebelumnya [16]. Tabel 1 menyajikan rangkuman hasil yang diberikan kedua

model dilihat pada tipe rute, jam keberangkatan dari pulau original, jumlah waktu dan biaya perjalanan antar pulau, jumlah waktu dan biaya perjalanan darat, jumlah waktu dan biaya proses di titik-titik selektif, jumlah waktu dan biaya menunggu keberangkatan (*delay*), lama kunjungan wisata (*makespan*), dan biaya total.

a. Hasil percobaan numerikal pada model masalah minimisasi biaya

Dari Tabel 1 dapat dijelaskan, bahwa pada *MaxC* normal (=0.9 jam), terdapat dua tipe solusi optimal yang diberikan model untuk mencapai tujuan yang diinginkan untuk hari-hari keberangkatan. Solusi tipe I berlaku untuk keberangkatan yang dimulai pada hari Senin, Kamis, atau Sabtu, sedangkan solusi tipe II untuk keberangkatan yang dimulai pada hari Selasa, Rabu, Jumat, atau Minggu. Solusi tipe I merekomendasikan rute 1 sebagai rute optimal (lihat Gambar 3), dimana biaya total yang dikeluarkan sebesar 15.64 (xRp.10<sup>5</sup>) dengan waktu wisata selama 6.3 hari (*makespan* = 151.83 jam).

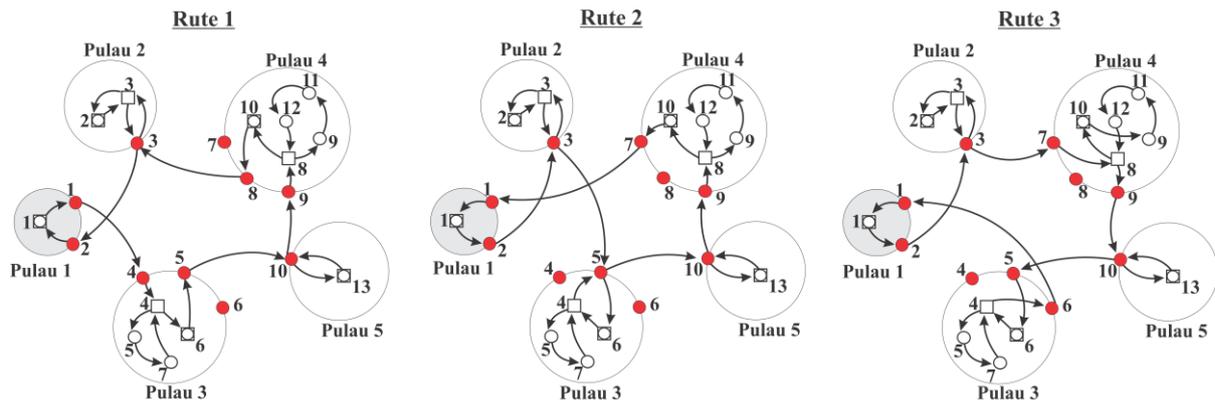
Berbeda dengan solusi tipe II merekomendasikan rute 2 sebagai rute optimal dengan biaya total sebesar 15.76 (xRp.10<sup>5</sup>) dan waktu wisata selama 7.3 hari.

Perbedaan biaya total dari kedua solusi sebagian besar disebabkan karena proses menunggu (*delay*) keberangkatan moda transportasi antar-pulau dan perjalanan antar-pulau. Meningkatnya biaya total pada solusi tipe II disebabkan karena proses *delay*, dimana selisihnya dengan solusi tipe I sebesar 0.23 (xRp.10<sup>5</sup>) atau meningkat 177%. Namun, jika dilihat pada biaya perjalanan antar-pulau, biaya yang diberikan solusi tipe II lebih efisien 4% dibandingkan dengan solusi tipe I.

Untuk skenario *MaxC* dinaikkan secara ekstrim (=1.5 jam), keberangkatan yang dimulai pada semua hari mengerucut pada satu solusi optimal. Untuk mencapai biaya total minimum, maka perjalanan dilakukan dengan menggunakan rute 3. Dengan rute tersebut, maka biaya total yang dicapai sebesar 15.39 (xRp.10<sup>5</sup>) dengan waktu wisata kurang lebih selama 6.5 hari (*makespan* = 156.14 jam).

Tabel 1. Perbandingan waktu dan biaya antara dua model (minimisasi biaya dan minimisasi waktu)

Skenario		Tipe Rute	Jam berangkat dari pulau original	Σ Waktu perjalanan antar-pulau (jam)	Σ Waktu perjalanan darat (jam)	Σ Waktu proses di titik-titik selektif (jam)	Σ Waktu <i>delay</i> (jam)	Make-span (jam)	Σ Biaya perjalanan antar-pulau (Rp.10 <sup>5</sup> )	Σ Biaya perjalanan darat (Rp.10 <sup>5</sup> )	Σ Biaya proses di titik-titik selektif (Rp.10 <sup>5</sup> )	Σ Biaya <i>delay</i> (Rp.10 <sup>5</sup> )	Biaya total (Rp.10 <sup>5</sup> )
<i>MaxC</i> (jam)	Hari berangkat												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Minimisasi Biaya</b>													
0.9 (rendah/ normal)	Senin, Kamis, atau Sabtu	1	6	15.03	19	105.25	12.55	151.83	3.32	7.62	4.57	0.13	15.64
	Selasa, Rabu, Jumat, atau Minggu	2	6	14.32	19.07	105.25	35.85	174.49	3.19	7.64	4.57	0.36	15.76
1.5 (ekstrim tinggi)	Semua hari	3	6	13.75	19.09	105.25	18.05	156.14	3.22	7.27	4.72	0.18	15.39
<b>Minimisasi Waktu</b>													
0.9 (rendah/ normal)	Senin	4	12	12.56	15.8	105	15.61	148.97	3.89	10.41	4.37	0.16	18.83
	Selasa, Kamis, Sabtu, atau Minggu	5	6	13.58	15.75	105	5.63	139.96	3.66	9.71	4.37	0.06	17.8
	Rabu atau Jumat	6	12	12.3	15.87	105	12.76	145.93	3.85	10.43	4.37	0.13	18.78
1.5 (ekstrim tinggi)	Senin	7	12	12.56	14.68	104.5	17.23	148.97	3.89	11.4	5.92	0.17	21.38
	Selasa, Kamis, Sabtu, atau Minggu	8	6	13.58	14.63	104.5	7.25	139.96	3.66	10.7	5.92	0.07	20.35
	Rabu atau Jumat	9	12	12.3	14.79	104.5	14.34	145.93	3.85	11.6	5.92	0.14	21.51



Keterangan:  
 - titik (meliputi: POI dengan fasilitas akomodasi = □, POI tanpa fasilitas akomodasi = ○, dan titik akomodasi bukan POI = □ )  
 - titik koneksi antar pulau (CP) = ●

Gambar 3. Tipe rute optimal untuk masalah minimisasi biaya (MMB)

Baik pada *MaxC* normal ataupun dinaikkan secara ekstrim, kedua kondisi tersebut tidak memperlihatkan adanya variasi pada jumlah biaya proses di titik-titik selektif, untuk setiap hari keberangkatan. Namun jika diperhatikan secara ditel ketiga rute tersebut, terlihat bahwa fenomena ini disebabkan karena adanya kesamaan jumlah titik-titik yang diseleksi oleh setiap solusi.

Dari hasil dan pembahasan di atas, terlihat bahwa model memiliki adaptabilitas terhadap skenario yang diberikan, baik pada perubahan hari keberangkatan maupun kemampuan waktu kover penganan (*MaxC*).

b. Perbandingan hasil dengan model masalah minimisasi waktu

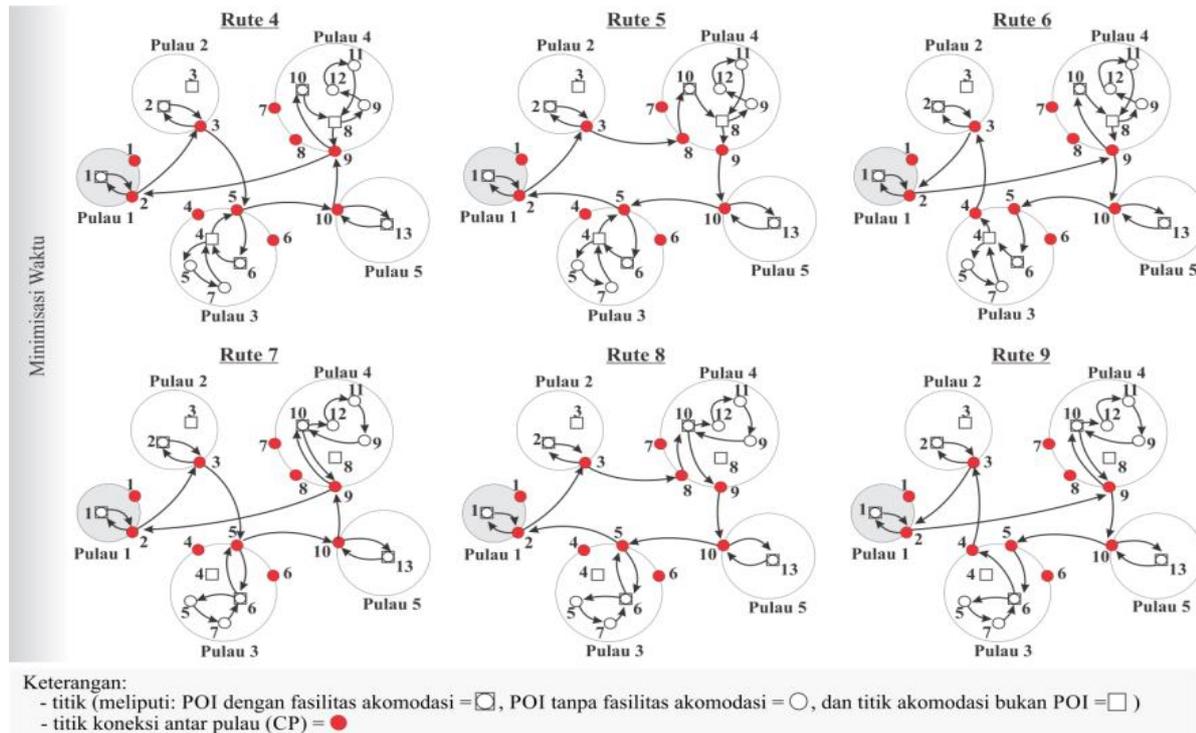
Dari Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa perbedaan mendasar dari kedua model terlihat pada capaian nilai tujuan dan banyaknya variasi solusi yang ditawarkan. Model minimisasi biaya (MMB) berupaya untuk meminimumkan biaya total, sedangkan model minimisasi waktu (MMW) berupaya untuk meminimumkan waktu total atau lama kunjungan wisata (*makespan*). Solusi yang ditawarkan MMB tidak terlalu bervariasi dibandingkan dengan MMW. MMB hanya merekomendasikan dua tipe untuk *MaxC* rendah (=0.9 jam) dan satu tipe solusi untuk *MaxC* tinggi (=1.5 jam), sedangkan MMW merekomendasikan tiga tipe solusi, baik untuk *MaxC* rendah maupun ekstrim tinggi.

Selain perbedaan mendasar di atas, terdapat perbedaan unik yang diberikan oleh kedua model. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada perjalanan antar-pulau ketika perubahan *MaxC* dilakukan. Biaya dan waktu perjalanan antar-pulau untuk setiap hari pada MMW tidak mengalami perubahan ketika *MaxC* dinaikkan (ke 1.5 jam).

Misalnya, keberangkatan pada hari Senin untuk *MaxC* rendah (=0.9 jam) dan untuk *MaxC* tinggi (=1.5 jam) masing-masing menggunakan rute yang berbeda, yaitu rute 4 dan 7 (lihat Gambar 4).

Namun, keduanya memiliki jumlah waktu antar pulau yang sama (=12.56 jam). Pada kedua rute terlihat bahwa perubahan hanya terjadi pada perjalanan darat. Berbeda dengan keberangkatan hari Senin pada MMB, perubahan *MaxC* menjadi 1.5 jam memberikan perubahan rute perjalanan (dari rute 1 ke 3) yang melibatkan tidak hanya pada perjalanan darat, melainkan pula perjalanan antar-pulau. Hal ini disebabkan karena pada MMW, rute antar-pulau dipertahankan sehingga tidak terjadi perubahan pada *makespan*.

Meskipun solusi yang diberikan kedua model bervariasi, namun terdapat persamaan unik yang diberikan oleh keduanya. Persamaan dapat dilihat pada proses di titik-titik selektif. Baik pada skenario *MaxC* rendah maupun tinggi, keduanya merekomendasikan waktu dan biaya proses (di titik-titik selektif) yang sama. Misalnya untuk *MaxC* rendah (=0.9 jam), dua tipe solusi yang direkomendasikan MMB memiliki jumlah waktu proses yang sama sebesar 105.25 jam dengan biaya sebesar 4.57 (xRp.10<sup>5</sup>), sedangkan MMW merekomendasikan tiga tipe solusi dengan waktu proses yang sama sebesar 105 jam dengan biaya sebesar 4.37 (xRp.10<sup>5</sup>). Namun, jika dilihat pada rute masing-masing kelompok, keduanya merekomendasikan jumlah titik selektif yang sama, yaitu 23 titik (pada MMW, satu titik koneksi berfungsi ganda sebagai titik kedatangan dan keberangkatan). Hal yang sama juga dapat dilihat ketika *MaxC* dinaikkan (=1.5 jam).



Gambar 4. Tipe rute optimal untuk masalah minimisasi waktu (MMW)

Dari hasil dan pembahasan di atas, terlihat bahwa model yang dikembangkan (MMB) memiliki konsistensi terhadap tujuan yang dicapai. Untuk mencapai tujuan yang diinginkan, model menunjukkan adaptabilitasnya dengan merekomendasikan variasi solusi yang berbeda dengan model pembandingnya (minimisasi waktu). Selain itu, pada komputer dengan spesifikasi yang sama, rata-rata waktu *running* MMB sebesar 5.57 menit, sedangkan MMW sebesar 8.23 menit.

**4. KESIMPULAN**

Model optimisasi untuk masalah minimisasi biaya wisata tur-tunggal di zona kepulauan diformulasi dalam bentuk integer non-linear programming dengan mempertimbangkan seleksi titik keberangkatan dan kedatangan suatu pulau, seleksi titik akomodasi, seleksi jadwal keberangkatan moda transportasi, dan seleksi rute perjalanan baik di dalam pulau maupun antar pulau. Komponen biaya yang dilihat meliputi biaya perjalanan antar-pulau, biaya perjalanan darat, biaya di titik-titik selektif, dan biaya menunggu keberangkatan (*delay*).

Berdasarkan percobaan numerikal yang dilakukan terhadap model, menunjukkan bahwa model mampu menunjukkan adaptabilitasnya terhadap perubahan parameter (hari dan waktu kover) yang diberikan. Model mampu memberikan variasi solusi yang berbeda dan waktu *running*

yang singkat dibandingkan dengan model pembandingnya (minimisasi waktu).

Model ini dapat digunakan bagi wisatawan secara individual atau manajemen (agen) travel/tour dalam menentukan rute wisata di zona kepulauan dengan mempertimbangkan biaya perjalanan. Model ini hanya dapat digunakan untuk masalah yang memiliki batasan sistem sesuai yang diberikan. Untuk penelitian ke depan, karakteristik masalah akan difokuskan pada pengkoveran tunggal (*single cover*) suatu pulau dengan sifat *passing* dan penggunaannya pada masalah tim atau kelompok.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis berterima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura untuk mendanai penelitian ini. Artikel ini merupakan salah satu keluaran dari Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2020 berdasarkan SK Rektor No. 2010/UN13/SK/2020.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Vansteenwegen, P. and Van Oudheusden, D. (2007) The mobile tourist guide: An OR opportunity. *OR Insight*. 20 (3), 21–27.  
 [2] Vansteenwegen, P., Souffriau, W., and Oudheusden, D. Van (2011) The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*. 209 (1), 1–10.  
 [3] Gunawan, A., Ng, K.M., Kendall, G., and

- Lai, J. (2018) An iterated local search algorithm for the team orienteering problem with variable profits. *Engineering Optimization*. 50 (7), 1148–1163.
- [4] Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., and Pantziou, G. (2014) A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics*. 20 (3), 291–328.
- [5] Laporte, G. and Palekar, U. (2002) Some applications of the clustered travelling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*. 53 (9), 972–976.
- [6] Angelelli, E., Archetti, C., and Vindigni, M. (2014) The clustered orienteering problem. *European Journal of Operational Research*.
- [7] Laporte, G., Asef-Vaziri, A., and Sriskandarajah, C. (1996) Some applications of the generalized travelling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*. 47 (12), 1461–1467.
- [8] Geem, Z.W., Tseng, C.L., and Park, Y. (2005) Harmony search for generalized orienteering problem: Best touring in China. *Lecture Notes in Computer Science*. 3612 (PART III), 741–750.
- [9] Baniyadi, P., Foumani, M., Smith-Miles, K., and Ejev, V. (2020) A transformation technique for the clustered generalized traveling salesman problem with applications to logistics. *European Journal of Operational Research*. 285 (2), 444–457.
- [10] Miranda, P.A., Blazquez, C.A., Vergara, R., and Weitzler, S. (2015) A novel methodology for designing a household waste collection system for insular zones. *Transportation Research Part E*. 77 227–247.
- [11] González, D.S.A., Olivares-benitez, E., and Miranda, P.A. (2017) Insular biobjective routing with environmental considerations for a solid waste collection system in Southern Chile. *Advances in Operations Research*. 2017 (2), Article number 4093689.
- [12] Miranda, P.A., Blazquez, C.A., Obreque, C., Maturana-ross, J., and Gutierrez-jarpa, G. (2018) The bi-objective insular traveling salesman problem with maritime and ground transportation costs. *European Journal of Operational Research*.
- [13] Afifudin, M.T. and Sahar, D.P. (2020) An integer programming approach for single truck routing-and-scheduling problems to islands with time-varying ferry schedules. *Journal of Industrial Engineering & Management (JIEM)*. 5 (2), 53–61.
- [14] Divsalar, A., Vansteenwegen, P., and Cattrysse, D. (2013) A variable neighborhood search method for the orienteering problem with hotel selection. *International Journal of Production Economics*. 145 (1), 150–160.
- [15] Vansteenwegen, P., Souffriau, W., and Sörensen, K. (2012) The travelling salesperson problem with hotel selection. *Journal of the Operational Research Society*. 63 (2), 207–217.
- [16] Afifudin, M.T. and Sahar, D.P. (2021) Model optimisasi untuk masalah minimisasi waktu perjalanan wisata tur-tunggal di daerah kepulauan. *ARIKA*. 15 (1), 15–28.
- [17] Afifudin, M.T. (2021) insularTTDP.Mendeley Data, V2, doi: 10.17632/39yhpfp7ct.2

## PREDIKSI FITUR KEMASAN PRODUK MINYAK KAYU PUTIH DENGAN SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)

W. Latuny<sup>1,\*</sup>, V. O. Lawalata<sup>2</sup>, D. B. Pailin<sup>3</sup>, R. Ohoirenan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [wlatuny@gmail.com](mailto:wlatuny@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [victor.lawalata@fatek.unpatti.ac.id](mailto:victor.lawalata@fatek.unpatti.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [dani.ti.fatek@gmail.com](mailto:dani.ti.fatek@gmail.com)

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [rahmanohoirenan45@gmail.com](mailto:rahmanohoirenan45@gmail.com)

**Abstrak.** UD Sinar Baru memiliki produk minyak kayu putih dengan berbagai ukuran dari 30 ml sampai 550 ml, dan ukuran 550 ml menjadi produk minyak kayu putih yang paling banyak di konsumsi. Kendati demikian, produk ini dikritik konsumen tentang kemasannya yang belum memenuhi keinginan mereka. Penelitian ini bertujuan memperoleh metode klasifikasi sentimen konsumen yang akurat dan mendapatkan fitur-fitur yang berpengaruh pada desain ulang kemasan produk minyak kayu putih ukuran 550 ml. Pengumpulan data menggunakan metode survei secara *online* dari media sosial facebook untuk mendapatkan komentar konsumen menggunakan *power query*. Analisis data memakai konsep metode *Support Vector Machine* (SVM) dengan dukungan aplikasi WEKA untuk menyajikan analisis sentimen dan akurasi dari komentar konsumen. Hasil penelitian menyajikan kecenderungan komentar terhadap setiap atribut dengan penilaian berupa akurasi untuk seluruh *class* sebesar 83%, untuk *class* positif sebanyak 3% komentar dan 57% komentar untuk *class* negatif. Adapun sentimen yang menunjukkan kemasannya cenderung biasa saja sebesar 20% yang diartikan sebagai netral. Kesimpulan dari hasil penelitian ini SMO mempunyai tingkat prediksi yang sangat akurat untuk menganalisis sentimen konsumen tentang fitur kemasan minyak kayu putih 550 ml, serta perlu dilakukan desain ulang kemasan saat ini dengan memperhatikan fitur bentuk, warna, ukuran, dan efisiensi.

Kata kunci: Akurasi Prediksi, Fitur Kemasan, Minyak Kayu Putih, *Support Vector Machine*

**Abstract.** UD Sinar Baru has eucalyptus oil products with various sizes from 30 ml to 550 ml, and the size of 550 ml is the most consumed eucalyptus oil product. However, this product has been criticized by consumers for its packaging which has not met their expectations. This study aims to obtain an accurate method of classifying consumer sentiment and obtain features that affect the redesign of the 550 ml eucalyptus oil product packaging. Collecting data using an online survey method from social media facebook to get consumer comments using power queries. Data analysis uses the concept of the *Support Vector Machine* (SVM) method with the support of the WEKA application to provide sentiment analysis and accuracy of consumer comments. The results of the study present the tendency of comments on each attribute with an assessment of 83% accuracy for the entire class, 3% for positive class comments and 57% comments for negative class. The sentiment that shows the packaging tends to be normal at 20% which is interpreted as neutral. The conclusion from the results of this study is that SMO has a very accurate prediction rate to analyze consumer sentiment about the features of the 550 ml eucalyptus oil packaging, and it is necessary to redesign the current packaging by considering the features of shape, color, size, and efficiency.

Keywords: Prediction Accuracy, Packaging Features, Eucalyptus Oil, *Support Vector Machine*

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu sektor industri yang berkontribusi dalam proses pembangunan di Maluku adalah industri kecil penyulingan minyak kayu putih. Keberadaan industri kecil tersebut mempunyai andil dalam memperkokoh struktur industri di Indonesia termasuk di Maluku [1]. Minyak kayu putih menjadi andalan karena khasiatnya untuk memberikan rasa hangat pada tubuh, penghilang gatal dari digigit serangga, meredakan sakit perut, perut kembung, masuk angin, dan aromanya yang wangi dan aromatik untuk kesehatan. Produk ini umumnya dihasilkan oleh industri kecil dan menengah (IKM) di Maluku.

Persaingan produk minyak kayu putih di pasaran cukup ketat, membuat IKM perlu mengantisipasi produk pesaingnya. Salah satu inovasi adalah mendesain kemasan produk yang menarik konsumen untuk membeli produk tersebut. Kemasan merupakan “pemicu” karena ia langsung berhadapan dengan konsumen. Untuk itu, kemasan harus dapat mempengaruhi konsumen untuk memberikan respon positif [2]. Hal ini berarti desain kemasan berkontribusi pada daya tarik produknya.

Tantangan bagi IKM berkaitan dengan komunikasi dengan konsumen untuk mengetahui hal-hal yang diinginkan, kebutuhan atau daya tarik yang melekat pada kemasan produk minyak kayu putih. Keterbatasan akses informasi dan kemampuan mengoperasikan teknologi pendukung menjadikan industri tersebut lebih mengandalkan pengalaman konsumen dan promosi “mouth to mouth” untuk mendapatkan respon dari konsumen akan kualitas produknya. Saat ini masyarakat lebih bergantung pada media sosial seperti facebook, twitter, Instagram dan WhatsApp untuk akses informasi, komunikasi dan perdagangan. Survei pembelian online secara global termasuk Indonesia, sebanyak 71% konsumen melakukan peninjauan terhadap produk sebelum membeli produk tersebut. Sebanyak 43% setuju bahwa media sosial menjadi alat bantu untuk memenuhi kebutuhan pengetahuan berupa review produk dan ulasan forum, guna membantu membuat keputusan pembelian [3]. Review produk maupun ulasan forum disampaikan melalui komentar di sosial media yang berisi keluhan, pujian atau pandangan terhadap produk atau jasa dari suatu toko online. Komentar tersebut mendeskripsikan tanggapan yang berbeda-beda dari setiap konsumen. Komentar-komentar berupa teks tersebut dapat dikumpulkan dan diolah dengan analisis sentimen. Pendekatan ini menganalisa pendapat, sentimen, evaluasi, penilaian, sikap dan emosi publik terhadap entitas seperti produk, jasa,

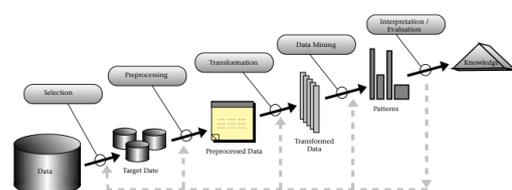
organisasi, individu, masalah, peristiwa, topik, dan atribut mereka [4]. Analisis sentimen mempelajari opini yang mengungkapkan atau mengekspresikan pandangan positif atau negatif [5]. Opini yang dibutuhkan untuk melakukan analisis berasal dari komentar halaman toko online di facebook. Facebook dipilih karena penggunanya saling berinteraksi secara masif, dimana total pengguna facebook sebanyak 1,44 miliar dengan pengguna harian sebanyak 936 juta [6]. Sejak peningkatan penggunaan media sosial dan keterbatasan aktivitas sosial masyarakat, maka survei pendapat akan lebih efektif dan efisien menggunakan media sosial untuk perbaikan kemasan produk minyak kayu putih.

## 2. BAHAN DAN METODE

*Text mining* adalah lintas disiplin ilmu yang mengacu pada pencarian informasi, *data mining*, *machine learning*, statistik, dan komputasi *linguistic* [7]. *Text mining* juga dikenal dengan *text data mining* atau pencarian pengetahuan di basis data tekstual adalah proses yang semi otomatis melakukan ekstraksi dari pola data [8].

Tipe pekerjaan *text mining* meliputi kategorisasi, *text clustering*, ekstraksi konsep/entitas, analisis sentimen, *document summarization*, dan *entity-relation modeling* (yaitu hubungan pembelajaran antara entitas) [7]. Sumber data yang digunakan pada *text mining* adalah kumpulan teks yang memiliki format yang tidak terstruktur atau minimal semi terstruktur. Tujuan dari *text mining* adalah untuk mendapatkan informasi yang berguna dari sekumpulan dokumen.

*Text mining* merupakan variasi dari *data mining* yang berusaha menemukan pola yang menarik dari sekumpulan data tekstual yang berjumlah besar. Perbedaan terletak pada pola yang digunakan, pola *text mining* diambil dari sekumpulan bahasa alami yang tidak terstruktur sedangkan dalam *data mining* pola diambil dari *database* terstruktur [9]. Beberapa tahapan proses pokok dalam *text mining*, yaitu pemrosesan awal teks (*text preprocessing*), transformasi teks (*text transformation*) atau (*feature generation*), pemilihan fitur (*feature selection*), dan penemuan pola teks atau *data mining* (*pattern discovery*).



Gambar 1.1 Proses *Text Mining* [1]

*Text mining* memiliki keunggulan dalam analisis data tekstual. Ide utama dari *text mining* adalah untuk menemukan potongan-potongan kecil informasi dari volume data teks yang besar tanpa harus membaca semuanya [10]. Kekuatan pendekatan ini pada ketersediaan data teks melalui Internet [11] berupa dokumen, *email*, media sosial dan web [12]. Kelebihannya adalah analisis yang cepat dan mudah memvisualisasi hasil analisis, sedangkan kelemahannya yaitu sangat subyektif dalam pengukuran sentimen terhadap teks yang dikaji [13].

## 2.1. Sentimen, Opini dan Analisis Sentimen

### Sentimen

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), *sentiment* berarti pendapat atau pandangan yang didasarkan pada perasaan yang berlebih-lebihan terhadap sesuatu. Sedangkan menurut Merriam-Webster's Online Dictionary, *sentimen* menunjukkan pendapat tetap (terus menerus) yang merefleksikan/ mencerminkan perasaan seseorang.

### Opini

Opini dan konsep terkait seperti *sentimen*, *evaluasi*, *tingkah laku*, dan *emosi* merupakan subyek studi dari analisis *sentimen* dan *opinion mining* [4]. Opini atau pendapat merupakan pusat hampir semua aktivitas manusia dan menjadi pengaruh utama dari perilaku. Persepsi terhadap realitas untuk mengevaluasi objek disekitar. Hajmohammadi *et al.* [5] mendefinisikan opini sebagai berikut:

- 1) Pandangan atau penilaian yang terbentuk tentang sesuatu, tidak selalu berdasarkan fakta atau pengetahuan.
- 2) Keyakinan atau pandangan dari sejumlah besar atau mayoritas orang-orang tentang hal tertentu. Secara umum, opini mengacu pada apa yang orang pikirkan tentang sesuatu. Dengan kata lain, opini adalah keyakinan subyektif, dan merupakan hasil emosi atau interpretasi fakta.

### Analisis Sentimen

Analisis *sentimen* (*opinion mining*) adalah bidang ilmu yang menganalisa pendapat, *sentimen*, *evaluasi*, *penilaian*, *sikap* dan *emosi publik* terhadap entitas seperti produk, jasa, organisasi, individu, masalah, peristiwa, topik, dan atribut mereka [4]. Analisis *sentimen* berfokus pada *opini-opini* yang mengekspresikan atau mengungkapkan *sentimen positif* atau *negatif*.

Secara umum analisis *sentimen* yang telah diteliti memiliki tiga tingkat (*level*), yaitu:

- 1) *Level dokumen*: mengklasifikasikan apakah seluruh dokumen *opini* mengungkapkan *sentimen positif* atau *negatif*. Analisis mengasumsikan bahwa setiap dokumen mengungkapkan *opini* yang objektif tentang suatu entitas tunggal (misalnya, produk tunggal).
- 2) *Level kalimat*: menentukan apakah setiap kalimat menyatakan *opini positif*, *negatif*, atau *netral*.
- 3) *Level entitas dan aspek*: menemukan *sentimen* pada entitas dan/atau aspeknya. Sebagai contoh, kalimat "kualitas panggilan iPhone baik, tetapi daya tahan baterai pendek". Ada dua aspek *evaluasi*, *kualitas panggilan* dan *baterai kehidupan*, dari iPhone (*entitas*). *Sentimen* pada *kualitas panggilan iPhone* adalah *positif*, tapi *sentimen* pada *hidup baterai* *negatif*. *Kualitas panggilan* dan *daya tahan baterai iPhone* adalah *target pendapat*.

Analisis *sentiment* merupakan salah satu cabang penelitian *text mining* [14]. Analisis *sentimen* hadir untuk menangani kondisi ledakan informasi teks yang tidak terstruktur. Dalam *text mining*, analisis *opini* terhadap ulasan *online* mengekstrak atribut produk dan *opini* terkait, yang oleh analisis *sentimen*, dapat menetapkan skor *sentimen* untuk setiap pasangan aspek *opini* [15]

## 2.2. Support Vector Machine (SVM)

Salah satu metode statistik yang dapat diterapkan untuk melakukan klasifikasi adalah *Support Vector Machine* (SVM). SVM merupakan suatu teknik untuk menemukan *hyperplane* yang bisa memisahkan dua *set* data dari dua kelas yang berbeda [16]. SVM memiliki kelebihan diantaranya adalah dalam menentukan jarak menggunakan *support vector* sehingga proses komputasi menjadi cepat [17] dan memiliki tingkat akurasi lebih tinggi [18].

SVM adalah suatu teknik untuk melakukan prediksi, baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi [19]. Metode ini memiliki prinsip dasar *linier classifier*, yaitu kasus klasifikasi yang secara linier dapat dipisahkan, namun SVM telah dikembangkan agar dapat bekerja pada problem non-linier dengan memasukkan konsep kernel pada ruang kerja berdimensi tinggi. Pada ruang berdimensi tinggi, akan dicari *hyperplane* yang dapat memaksimalkan jarak (*margin*) antara kelas data.

Algoritma *sequential minimal optimization* (SMO), telah diusulkan untuk memecahkan

masalah regresi menggunakan SVM [20]. Algoritma ini perpanjangan dari algoritma SMO yang diusulkan oleh Platt untuk Desain pengklasifikasi SVM. Kecepatan komputasi dan kemudahan implementasi adalah beberapa fitur penting dari SMO algoritma. Beberapa disarankan perbaikan pada Platt Algoritma SMO untuk desain pengklasifikasi SVM. Secara khusus, ditunjukkan sumber penting dari ketidakefisienan yang disebabkan oleh cara SMO memelihara dan memperbarui satu nilai ambang batas. Mendapatkan petunjuk dari kriteria optimalitas yang terkait dengan kondisi Karush – Kuhn – Tucker (KKT) untuk masalah ganda, kami menyarankan penggunaan dua parameter ambang batas dan merancang dua versi modifikasi dari SMO untuk regresi itu jauh lebih efisien daripada SMO asli.

Komputasi perbandingan pada dataset menunjukkan bahwa modifikasi dilakukan jauh lebih baik daripada SMO asli. Setiap cabang menggambarkan hasil dari atribut yang diuji, dan setiap daun menggambarkan kelas.

#### 1) K-Fold Cross Validation

Cross validation digunakan sebagai metode evaluasi hasil klasifikasi. Pengujian dilakukan untuk memprediksi *error rate*. *Training data* dibagi menjadi *K* buah subset secara acak dengan ukuran yang sama, satu diantara subset acak tersebut digunakan sebagai *testing data*. Setelah itu dilakukan iterasi sebanyak *K* kali dan dilakukan perhitungan *error rate* tiap *subset*. Kemudian hitung *error rate* pada setiap *subset*. Berdasarkan hasil *error rate* tiap *subset*, dihitung rata-ratanya untuk mendapatkan nilai *error rate* keseluruhan.

#### 2) Confusion Matrix

Salah satu metode evaluasi yang digunakan untuk klasifikasi naïve bayes adalah *confusion matrix*. Matriks ini adalah salah satu *tools* penting dalam metode visualisasi yang digunakan pada mesin pembelajaran yang biasanya memuat dua kategori atau lebih [21]. Sebanyak setengah atau dua pertiga dari data keseluruhan digunakan untuk keperluan proses *training* sedangkan sisanya digunakan untuk keperluan *testing* [22].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Data set* di ambil dari halaman facebook peneliti yang telah di posting selama 6 bulan dan setiap 1 bulan sekali dilakukan pemostingan kembali agar mendapatkan jumlah *data set* yang diinginkan peneliti untuk menganalisa sentimen komentar publik.

Komentar yang telah didapatkan kemudian di-*crowling text* ke Ms. Excel Power Query untuk selanjutnya dilakukan tahap *Text Preprocessing*.

Data yang diolah berjumlah 100 komentar dari tiap orang yang berbeda. Data ini dibersihkan yang belum teratur untuk menjadi satu data set yang baik untuk digunakan pada WEKA. Pembersihan ini terdiri dari pemrosesan awal teks (*text preprocessing*), transformasi teks (*text transformation* atau *feature generation*), pemilihan fitur (*feature selection*), penemuan pola *text* atau *data mining (pattern discovery)*, dan *interpretation/ evaluation*.

#### 3.1. Text Preprocessing

*Preprocessing* disini menggunakan Ms. Excel dengan memperhatikan data yang telah dipisahkan seperti saran pada komentar yang tidak berkaitan dengan pengolahan untuk metode klasifikasi untuk sentimen komentar dengan atribut yang telah ditentukan. Agar pada tahap klasifikasi lebih optimal dalam perhitungannya. Tahap *preprocessing* pada penelitian ini diantaranya:

##### 1) Tokenizing

Pada tahap ini akan dilakukan penghapusan delimiter yaitu karakter angka dan karakter simbol kecuali karakter huruf dengan cara membuat daftar kode karakter yang diperlukan.



Gambar 2. Tokenizing

##### 2) Case Folding

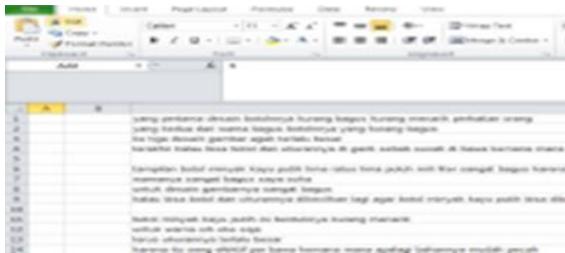
Pada tahap ini data pada komentar diubah menjadi huruf kecil semua dan karakter emotikon yang lain akan dihilangkan.



Gambar 3. Tahap Case Folding

Transformasi teks (*text transformation* atau *feature generation*). Pada tahap ini peneliti

membagi dan memilih tiap komentar sesuai dengan 4 atribut untuk metode klasifikasi yang akan di proses. Data dibagi terdiri atas data Bentuk, Ukuran, Warna dan Efisiensi.



Gambar 4. Feature Generation

**Featured Selection**

Tahap ini merupakan tahap lanjut dari pengurangan dimensi pada proses transformasi teks yang terbagi atas:

1) Tahap **Filtering**

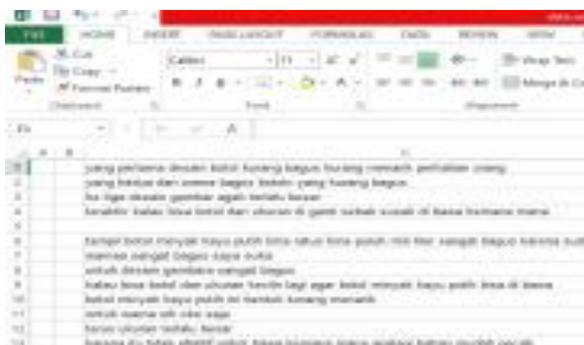
Pada tahap ini akan di hapus kata-kata yang sering muncul dan bersifat umum.



Gambar 5. Hasil Tahap Filtering

2) Tahap **Stemming**

Tahap ini kata-kata pada komentar akan di kembalikan ke bentuk dasarnya dengan menghilangkan imbuhan pada setiap kata.



Gambar 6. Hasil Tahap Stemming

3) **Convert Negation**

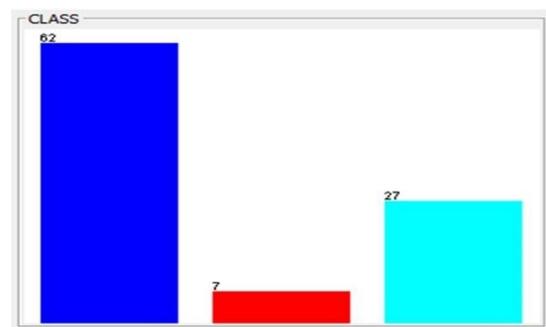
Pada tahap ini kata yang bersifat negasi akan dilakukan konversi seperti, “tidak”, “enggak”, “nga”, “seng”, dan lain-lain.



Gambar 7. Hasil Tahap Convert Negation

**3.2. Pattern Discovery**

Klasifikasi *data mining* dan pengujian data untuk klasifikasi data yang telah di preprocessing di atas, peneliti menggunakan software WEKA untuk mengklasifikasi data dimana dalam WEKA terdapat naïve bayes, k-NN dan *decision tree*.



Gambar 8. Visualize untuk Atribut Class

Dari gambar histogram di atas, diidentifikasi bahwa balok yang berwarna biru adalah jumlah keseluruhan untuk data negatif pada data *set* yang di peroleh dengan jumlah 62. Balok berwarna merah merupakan jumlah keseluruhan data positif yang di peroleh dengan jumlah sebanyak 7 data. Balok yang berwarna biru muda merupakan total keseluruhan data netral yang berjumlah 27 data.

1) **Classifier Zero-R**

Klasifikasi data ini adalah sebagai *baseline* untuk melihat data akurat untuk membandingkan tiga metode klasifikasi tersebut, dimana klasifikasi ini digunakan untuk standar penilaian tingkat keberhasilan akurasi data untuk tiga metode yang nantinya akan di uji.

Tabel 1. *Stratified Cross-Validation*

<i>Stratified cross-validation</i>		
<i>Correctly Classified Instances</i>	62	64,58%
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	34	35,42%

Tabel 2. Confusion Matrix

Confusion Matrix				
a	b	c	<--	classified as
62	0	0		A = Negatif
7	0	0		B = Positif
27	0	0		C = Netral

Pada klasifikasi Zero-R dapat diketahui bahwa data yang di peroleh pada Classifier output yaitu *Run information*, *Stratified cross-validation*, *Detailed Accuracy by Class*, dan *Confusion Matrix*. Dari hasil ini diketahui nilai standar yang akan menjadi *baseline* untuk 3 metode yang dipakai untuk *Correctly Classified Instances* sebesar 64,58% dan untuk *Confusion Matrix* yaitu 62 data *instances* untuk class negatif, 7 *instances* untuk class positif dan 27 *instances* untuk class netral.

## 2) Support Vector Machine (SVM)

Pada pengolahan data *training* menggunakan Classifier SMO dapat diketahui hasil *Run information*, *Classifier model (full training set)*, *Time taken to build model*: 0,18 seconds, *Stratified cross-validation*, *Detailed Accuracy by Class*, dan *Confusion Matrix*. Hasil ini menunjukkan untuk *Correctly Classified Instances* berada pada standar *baseline* dengan jumlah 81,25% dan *Confusion Matrix* yang terklasifikasi keseluruhan sebanyak 54 *instances* untuk negatif, 3 *instances* untuk positif dan 21 *instances* untuk netral.

Tabel 3. *Stratified Cross-Validation*

<i>Stratified cross-validation</i>		
<i>Correctly Classified Instances</i>	81	81,25%
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	18	18,75%

Tabel 4. *Confusion Matrix*

<i>Confusion Matrix</i>				
a	b	c	<--	classified as
54	0	8		A = Negatif
0	3	4		B = Positif
3	3	21		C = Netral

### *Interpretation/Evaluation*

Berdasarkan *cross-validation*, metode yang di uji (SMO) memiliki *Correctly Classified Instances* lebih besar (81,25%) dan *Incorrectly Classified Instances* lebih kecil (18,75%). *Confusion Matrix* menunjukkan metode ini memperoleh akurasi yang baik (*class* negatif = 54 *instances* terklasifikasi dengan benar, 21 data *instances* terklasifikasi pada *class* netral, dan *class* positif = 3 *instances*). Artinya metode SMO dapat menganalisis sentimen komentar publik untuk penelitian ini.

### 3.3. Class Balancing

*Class Balancing* dilakukan untuk membuat jumlah *data set* untuk tiap atribut menjadi

seimbang. Hasil analisis menggunakan *cost sensitive classifier* disajikan pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5. *Stratified Cross-Validation*

<i>Stratified cross-validation</i>		
<i>Correctly Classified Instances</i>	80	83,33%
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	16	16,67%

Tabel 6. *Confusion Matrix*

<i>Confusion Matrix</i>				
a	b	c	<--	classified as
57	0	5		a = Negatif
1	3	3		b = Positif
6	1	20		c = Netral

### 3.4. Testing dan Training

*Testing* menggunakan 10 data dengan label atau *class* yang belum diketahui, sedangkan *training* memakai data yang sebelumnya telah di proses menggunakan metode klasifikasi SMO. Hasil *testing* dan *training* disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil *Predicted Class*

Predicted CLASS	Prediction Margin	
	Statistic	value
Netral = 5 komentar	Minimum	-0,995
Negatif = 3 komentar	Maximum	0,993
Positif = 2 komentar	Maen	0,582
	StdDev	0,627

### 3.5. Diskusi

Teknik *text mining* klasifikasi SMO mempunyai tingkat prediksi yang sangat akurat. Klasifikasi ini dapat menganalisa *data instances* dengan baik untuk tiap atribut *class* dengan tingkat akurasi 81%. Peneliti ini mendapatkan hasil prediksi sebesar 83,33% untuk *Correctly Classified Instances* dan 18,75% *Incorrectly Classified Instances*. Hasil *class* prediksi untuk positif 2 komentar, negatif 3 komentar dan netral 5 komentar berarti presentasi prediksi menggunakan klasifikasi SMO mendapatkan hasil yang sangat baik.

Hasil diatas menunjukkan fitur kemasan minyak kayu putih 550 ml seperti Bentuk, Warna, Ukuran, dan Efisiensi berpengaruh pada desain ulang kemasan botol minyak kayu putih 550 ml. Komentar pengguna pada sosial media untuk fitur kemasan seperti bentuk yang memiliki nilai *class* negatif sebanyak 47 komentar, sedangkan *class* positif sebanyak 36 komentar, serta untuk *class* netral sebanyak 13 komentar. Oleh karena *class* negatif lebih besar dari *class* lainnya, maka kemasan baru harus memiliki daya tarik yang lebih

tinggi. Beberapa usulan yang perlu diperhatikan berupa bentuk yang sederhana, bentuk regular, bentuk lebih kecil dari desain awal tanpa mengurangi volumenya, bentuk yang lebih nyaman saat digunakan atau dibawa, dan bentuk cembung dari pada bentuk cekung. Atribut ukuran kemasan dapat mempengaruhi desain ulang kemasan dengan nilai *class* negatif 82 komentar, *class* positif 11 komentar, sedangkan *class* netral hanya 3 komentar. Untuk ukuran masih harus disesuaikan dengan kondisi penggunaan, seperti jika untuk dibawa sebagai oleh-oleh dapat dibuat lebih kecil tanpa menurunkan volume kemasan. Efisiensi mempengaruhi desain ulang pada kemasan yang sangat harus diperhatikan 3 hal seperti, penambahan pegangan atau genggaman agar mudah digunakan atau dibawa, penggunaan bahan selain kaca untuk mengurangi beban pada kemasan tanpa menghilangkan khasiat dari minyak kayu putih tersebut, dan lekukan pada kepala kemasan botol dibuat menlekung agar mudah digunakan. Hal ini dikarenakan untuk atribut efisiensi memiliki nilai *class* negatif 94 komentar, dan *class* positif 2 komentar. Untuk atribut warna, kemasan diusulkan lebih bening atau transparan agar konsumen dapat melihat langsung warna dari minyak kayu putih. Usulan ini dikarenakan atribut warna memiliki nilai *class* negatif 46 komentar, *class* positif 32 komentar, dan untuk *class* netral 18 komentar.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa SMO mempunyai tingkat prediksi yang sangat akurat untuk menganalisis sentimen konsumen tentang fitur kemasan minyak kayu putih 550 ml. Fitur kemasan yang berpengaruh dalam perubahan desain kemasan produk tersebut adalah bentuk, warna, ukuran, dan efisiensi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, H. dan Idrus, S. (2016). Estimated Production of Cajuput Oil on Small.
- [2] Dwiningih, N. (2002). Desain Produk dan Manajemen Kualitas.
- [3] Utomo, B. (2014). Analisis Sentimen pada Twitter Menggunakan Text Mining.
- [4] Liu, B. (2012). Sentiment Analysis and Opinion Mining.
- [5] Ibrahim, R. dan Othman, Z. A. (2012). Opinion Mining and Sentiment Analysis.
- [6] Hapsari, Y., Hidayattullah, M. F., & Khambali, M. (2018). Opinion Mining Terhadap Toko Online Di Media Sosial Menggunakan Algoritma Naïve Bayes.
- [7] Han, J. (2012). Data Mining Concepts and Techniques.
- [8] Turban (2005). Decision Support Systems and Intelligent Systems.
- [9] Kamber, M. (2006). Classification and Prediction.
- [10] Mashreghi, Z. dan Esmaeili, M. (2017). A Combination Method for Improving Text Summarization.
- [11] Rose, J. dan Lennerholt, C. (2017). Low Cost Text Mining as a Strategy for Qualitative Researchers.
- [12] Hassani, H., Beneki, C., Unger, S. and Mazinani, M. J. (2020). Text Mining in Big Data Analytics.
- [13] Lukitowati, H. L. dan Paryatno, L. (2020). Evaluasi Pelaksanaan Webinar Pusdiklat Perdagangan Dengan Menggunakan Text Mining: Analisis Saran Peserta Webinar.
- [14] Sudalma, S. (2015). The Effect of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> from Transportation and Stationary Emissions Sources to SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in Rain Water in Semarang.
- [15] Gao, S., Tang, O., Wang, H. dan Yin, P. (2018). Identifying Competitors through Comparative Relation Mining of Online Reviews in the Restaurant Industry.
- [16] Vapnik, V. N. (1999). An Overview of Statistical Learning Theory, 10(5), 988–999.
- [17] Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-Vector Network. Machine Learning 20, 273-297.
- [18] Rachman, F. dan Purnami, S.W. (2012). Klasifikasi Tingkat Keganasan Breast Cancer dengan Menggunakan Regresi Logistik Ordinal dan Support Vector Machine (SVM). Jurnal Sains dan Seni ITS, Vol. 1, No. 1 ISSN: 2301-928X.
- [19] Santosa, B. (2007). Data Mining Teknik Pemanfaatan Data untuk Keperluan Bisnis. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [20] Schölkopf, B. dan Smola, A. J. (2002). Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization and Beyond. Massachusetts Institute of Technology. ISBN 0-262-19475-9.
- [21] Horn, C. dan Horn, C. (2010). Analysis and Classification of Twitter messages Analyse und Kategorisierung von Twitter Nachrichten.
- [22] Kantardzic, M. (2003). Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms.

## PENGUKURAN PERSEPSI DOSEN FAKULTAS TEKNIK TENTANG IMPLEMENTASI REMUNERASI DI UNIVERSITAS PATTIMURA

Alfredo Tutuhatonewa<sup>1,\*</sup>, Ariviana L. Kakerissa<sup>2</sup>, Tradessantia Syatauw<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [alfredo.tutuhatonewa@fatek.unpatti.ac.id](mailto:alfredo.tutuhatonewa@fatek.unpatti.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [vianakakerissa71@gmail.com](mailto:vianakakerissa71@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [tsyatauw@gmail.com](mailto:tsyatauw@gmail.com)

**Abstrak.** Penelitian bertujuan untuk mengetahui persepsi dosen Fakultas Teknik, terhadap kebijakan implementasi remunerasi pada Universitas Pattimura. Persepsi terkait implementasi remunerasi dapat diukur dari beberapa indikator, antara lain penetapan grading, penetapan tarif, sistem pelaporan kinerja, sistem penghargaan, sistem penilaian kinerja serta pengalaman dan masa kerja. Analisis dilakukan dengan klusterisasi menggunakan *K-mean cluster*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari tiga kluster yang dibentuk, memiliki perbedaan yang signifikan, dengan persepsi yang tinggi, sedang dan rendah. Keterbatasan penelitian dan usulan penelitian lanjutan dibahas pada bagian akhir makalah ini.

Kata kunci: kluster, persepsi, remunerasi.

**Abstract.** This study aims to determine the perception of lecturers of the Faculty of Engineering on the policy of implementing remuneration at the Pattimura University. Perceptions related to remuneration implementation can be measured from several indicators, including grading determination, tariff setting, performance reporting system, reward system, performance appraisal system as well as experience and years of service. The analysis was carried out by clustering using *K-mean cluster*. The results showed that of the three clusters formed, there were significant differences, with high, medium and low perceptions. The limitations of the study and suggestions for further research are discussed at the end of this paper.

Keywords: cluster, perception, remuneration.

### 1. PENDAHULUAN

Kebijakan remunerasi di Universitas Pattimura telah dilaksanakan sejak bulan Juni 2019, termasuk Fakultas Teknik. Kebijakan ini menimbulkan persepsi yang berbeda-beda bagi sebagian besar dosen.

*Remuneration* memiliki kata dasar *remunerate* yang berarti membayar atau juga dapat disebut mengupahi [1]. Dalam praktiknya remunerasi diberikan kepada pegawai atas dasar adanya hubungan kerja, dimana ketika suatu pekerjaan telah diselesaikan maka remunerasi dapat diterima.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur persepsi dosen Fakultas Teknik tentang

implementasi remunerasi di Fakultas Teknik Unpatti.

Persepsi terkait implementasi remunerasi dapat diukur dari beberapa indikator, antara lain penetapan grading, penetapan tarif, sistem pelaporan kinerja, sistem penghargaan, sistem penilaian kinerja serta pengalaman dan masa kerja [2].

#### *Penetapan Grading dan Tarif Remunerasi*

Grading merupakan tingkatan tarif remunerasi yang diklasifikasikan berdasarkan hasil evaluasi jabatan. Grading atau kelas jabatan ditetapkan berdasarkan proses evaluasi jabatan yang menghasilkan nilai jabatan berupa skor kuantitatif.

### *Kinerja dan Penilaian Kinerja*

Kinerja merupakan ukuran ketercapaian atas target dari suatu pekerjaan[2]. Untuk mengetahui berapa capaian kinerja yang diperoleh seseorang maka perlu dilakukan evaluasi atau penilaian kinerja. Evaluasi kinerja adalah suatu metode dan proses penilaian pelaksanaan tugas(performance), sesuai dengan standar kinerja yang ditetapkan lebih dahulu[3]. Sementara itu, Uno dan Lamatenggo[4]berpendapat bahwa evaluasi kinerja adalah proses mengukur kinerja seseorang dengan cara membandingkan dengan standar, target/sasaran, atau kriteria yang telah ditetapkan terlebih dahulu atau sudah disepakati bersama.

Prinsip dasar yang penting untuk diketahui dalam penyusunan remunerasi[5], yaitu:

1) Adil dan Proporsional

Adil tidak berarti bahwa setiap karyawan menerima upah atau gaji yang sama, namun juga harus mempertimbangkan kondisi perusahaan dan kebutuhan pekerja. Di sisi perusahaan. Adil dan proporsional berkaitan dengan kondisi keuangan perusahaan dan kecenderungan pasar di masa mendatang, sedangkan di sisi pekerja, adil adalah tercukupinya pendapatan yang dapat memenuhi kebutuhan pekerja maupun keluarganya. Asas adil sangat penting karena didapat dalam rangka mewujudkan terciptanya suasana yang harmonis, motivasi kerja, semangat, disiplin, dan stabilitas perusahaan.

2) Layak dan Wajar

Batasan pengertian layak dan wajar itu relative. Bisa saja di sisi pekerja mengatakan bahwa remunerasi yang didapat belum memenuhi kebutuhan pekerja dan keluarganya, sedangkan pihak pengusaha sudah memastikan bahwa apa yang telah diberikan sudah memenuhi kesejahteraan. Parameter yang digunakan untuk menetapkan remunerasi karyawan di perusahaan, yaitu ketentuan normatif yang ditetapkan melalui peraturan perundang-undangan.

3) Tepat

Sistem remunerasi kepada pekerja didasarkan pada kinerja karyawan. Hasil kerja karyawan dievaluasi dan dinilai dengan mengacu pada parameter yang telah ditetapkan. Hasil penilaian tersebut menentukan berapa seharusnya remunerasi yang tepat untuk diterima karyawan tersebut.

4) Kompetitif

Dapat bersaing dengan perusahaan lain seperti perusahaan yang menghasilkan produk sejenis atau lokasi perusahaan yang berdekatan agar

tidak terjadi saling cemburu di antara sesama pekerja.

5) Transparan

Adanya keterbukaan dalam penetapan remunerasi. Dalam menetapkan syarat kenaikan remunerasi harus diketahui dan mudah dipahami oleh karyawan.

Pada beberapa penelitian, remunerasi berpengaruh terhadap motivasi kerja, disiplin kerja dan kepuasan kerja karyawan di perusahaan [6], [7], atau rumah sakit [8]. Selain itu, remunerasi juga berpengaruh terhadap kepuasan kerja dan motivasi kerja pada perguruan tinggi [9], [10].

## **2. BAHAN DAN METODE**

### **2.1. Tipe Penelitian**

Tipe penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode kuantitatif dengan analisis cluster.

### **2.2. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan kuesioner Kuesioner digunakan untuk menanyakan hal-hal terkait implementasi pelaksanaan remunerasi di Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Dalam penelitian ini digunakan kuesioner tertutup, dimana responden hanya memilih jawaban yang tersedia. Skala pengukuran yang digunakan dalam instrument ini adalah skala likert. Skala likert secara umum menggunakan peringkat lima angka penilaian yaitu, Sangat setuju (skor 5), Setuju (skor 4), Tidak pasti/netral (skor 3), Tidak setuju (skor 2), Sangat tidak setuju (skor 1).

Variabel penelitian terdiri dari [2]:

- a. Persepsi terhadap proses penetapan grading (X1). Bagian ini berisi pernyataan mengenai bagaimana proses penetapan grading yang dilakukan tim implementasi remunerasi Universitas Pattimura. Hal yang dinilai adalah tentang penetapan grading, kesesuaian antara beban kerja dengan grading, serta kesesuaian tugas dan fungsi dengan grading.
- b. Persepsi terhadap proses penetapan tarif (X2) Bagian ini mempertanyakan persepsi dosen mengenai tarif remunerasi yang meliputi kesesuaian antara tarif remunerasi dengan beban kerja serta kebutuhan setiap dosen.
- c. Persepsi terhadap sistem pelaporan kinerja (X3). Bagian ini menggambarkan persepsi dosen terhadap pemahaman pengisian laporan kinerja dan sosialisasi tentang mekanisme pelaporan kinerja yang dilakukan oleh tim implementasi remunerasi.
- d. Persepsi terhadap sistem penghargaan (X4).

Sistem penghargaan adalah bagaimana pencapaian kinerja yang melebihi target patut diapresiasi, yang diberikan berupa bonus agar dapat meningkatkan kinerja dosen.

- e. Persepsi terhadap sistem penilaian kinerja (X5) Bagian ini mempertanyakan persepsi dosen terhadap besarnya pengaruh unsur-unsur penilaian kinerja terhadap capaian remunerasi yang diperoleh.
- f. Persepsi terhadap pengalaman dan masa kerja (X6). Bagian ini mempertanyakan persepsi dosen terhadap pemberian remunerasi yang berdasar pada banyaknya pengalaman dan lamanya masa kerja.

### 2.3. Metode Analisis Data

**Uji validitas.** Dilakukan untuk mengetahui kelayakan butir-butir dalam suatu daftar (konstruk) pertanyaan dalam mendefinisikan suatu variabel. Suatu butir pertanyaan dikatakan valid jika nilai  $r$ -hitung yang merupakan nilai dari  $\text{corrected item-total correlation} >$  dari  $r$ -tabel yang diperoleh melalui  $Df$  (Degree of Freedom).

**Uji Reliabilitas** merupakan ukuran suatu kestabilan dan konsistensi responden dalam menjawab hal yang berkaitan dengan konstruk-konstruk pertanyaan yang merupakan dimensi suatu variabel dan disusun dalam suatu bentuk kusioner. Alat ukur yang akan digunakan adalah *cronbach alpha*. Reliabilitas suatu konstruk variable dikatakan baik jika memiliki nilai *cronbach alpha*  $>$  0,60.

**Proses pengklasteran** dilakukan dengan SPSS, yaitu dengan *K-Mean Cluster*. Data kuesioner akan distandarisasi dengan merubahnya menjadi data *z-score*. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap klaster yang terbentuk, sehingga diperoleh *Final cluster center*. Selanjutnya dihitung skor masing-masing variabel untuk tiap klaster, dengan menggunakan persamaan:

$$X = \mu + z\sigma \quad (1)$$

Dimana:

$X$  = rata-rata sampel/data/variabel dalam kluster tertentu

$\mu$  = rata-rata populasi

$\sigma$  = standard deviasi

$z$  = nilai *z-score*

**Uji Perbedaan rata-rata** dilakukan untuk menganalisis ada atau tidaknya perbedaan signifikan antara nilai rata-rata klaster satu dengan klaster lain yang terbentuk. Uji perbedaan rata-rata dilakukan dengan Uji F. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ , Tidak terdapat perbedaan signifikan antara rata-rata hitung dari  $n$  klaster.
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$ , Ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata hitung dari  $n$  klaster.

Tolak hipotesis nol ( $H_0$ ) jika nilai  $p$ -value  $<$  0.05.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Sampel Penelitian

Berdasarkan data, jumlah seluruh dosen Fakultas Teknik adalah sebanyak 71 dosen. Jumlah sampel yang diambil sebanyak 42 orang, dengan komposisi pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Responden

No.	Responden	Jumlah
1	Pimpinan Fakultas	7
2	Ketua Prodi	4
3	Dosen biasa	31
Jumlah		42

### 3.2. Uji Validitas

Hasil uji validitas item pertanyaan pada kuesiner ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

	Pearson Correlation	Total	
		Sig. (2-tailed)	$N$
X1	0,746**	0,000	42
X2	0,776**	0,000	42
X3	0,793**	0,000	42
X4	0,470**	0,002	42
X5	0,888**	0,000	42
X6	0,681**	0,000	42

Hasil uji validitas menunjukkan bahwa semua item pertanyaan dinyatakan valid.

### 3.3. Uji Reliabilitas

Reliabilitas suatu konstruk variabel dikatakan baik jika memiliki nilai *cronbach alpha*  $>$  0,60. Hasil uji reliabilitas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Reliabilitas

Cronbach's Alpha	$N$ of Items
0,821	6

Tabel 3 menunjukkan nilai *cronbach alpha* yang diperoleh sebesar 0,821 sehingga dapat dinyatakan instrumen penelitian telah reliabel.

### 3.4. Analisis Klaster

Analisis klaster dilakukan untuk mengelompokkan obyek berdasarkan ciri-ciri atau karakteristik yang dimiliki. Pengelompokkan obyek ini bisa berdasarkan ciri-ciri pada responden berdasarkan persepsi terhadap remunerasi. Analisis dilakukan dengan *K-Mean Cluster*. Analisis didahului dengan membuat standarisasi terhadap data kuesioner, dengan cara membuat nilai z-score. Statistik deskriptif ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Statistik deskriptif

	N	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation
X1	42	1,00	5,00	3,2619	0,88509
X2	42	1,00	5,00	2,9167	0,84042
X3	42	1,00	5,00	3,3690	1,03039
X4	42	1,00	5,00	4,5476	0,83235
X5	42	1,33	5,00	3,2460	0,86816
X6	42	1,50	4,50	3,0357	0,75217
Valid N (listwise)	42				

Pada Tabel 4, dapat dilihat nilai rata-rata dari masing-masing variabel. Nilai rata-rata tertinggi ada pada variabel persepsi responden terhadap sistem penghargaan (X4), yaitu sebesar 4,5476. Sementara, nilai rata-rata terendah adalah variabel persepsi terhadap proses penetapan tarif (X2), sebesar 2,9167.

Tabel 5. Keanggotaan Klaster

Responden	Klaster	Responden	Klaster
1	3	22	1
2	3	23	1
3	3	24	3
4	3	25	3
5	1	26	1
6	1	27	1
7	1	28	1
8	1	29	2
9	1	30	1
10	1	31	1
11	1	32	3
12	1	33	1
13	1	34	2
14	1	35	1
15	1	36	3
16	1	37	3
17	1	38	3
18	3	39	1
19	1	40	3
20	1	41	2
21	3	42	1

Hasil pengelompokkan obyek ke dalam 3 cluster, menyebabkan pembagian keanggotaan cluster seperti pada Tabel 5. Terdapat 26 anggota cluster 1, 3 anggota cluster 2 dan 13 anggota cluster 3.

Tabel Final cluster center ditunjukkan pada Tabel 6. Untuk menafsirkan tabel hasil analisis dengan ketentuan sebagai berikut: (1) Jika nilainya negatif berarti klaster yang bersangkutan ada di bawah rata-rata total; dan (2) Jika nilai positif berarti klaster yang bersangkutan ada di atas rata-rata populasi.

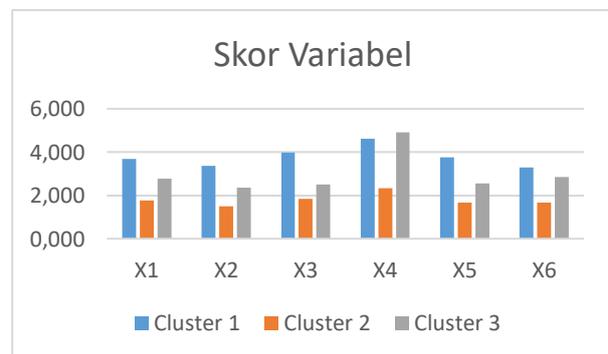
Nilai rata-rata setiap variabel dihitung dengan persamaan (1), dimana hasilnya ditunjukkan pada Tabel 7. Perbedaan nilai rata-rata setiap variabel untuk masing-masing klaster, ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 6. Final Cluster Center

	Klaster		
	1	2	3
Zscore(X1)	0,47179	-1,67680	-0,55663
Zscore(X2)	0,53392	-1,68567	-0,67884
Zscore(X3)	0,59368	-1,49042	-0,84342
Zscore(X4)	0,08142	-2,66030	0,45108
Zscore(X5)	0,60265	-1,81920	-0,78548
Zscore(X6)	0,33602	-1,82012	-0,25202

Tabel 7. Hasil perhitungan skor

Variabel	Klaster		
	1	2	3
X1	3,679	1,778	2,769
X2	3,365	1,500	2,346
X3	3,981	1,833	2,500
X4	4,615	2,333	4,923
X5	3,769	1,667	2,564
X6	3,288	1,667	2,846



Gambar 1. Nilai rata-rata klaster

### 3.5. Uji F

Uji F dilakukan dengan berdasarkan Tabel 8, untuk melihat nilai F dan p-value.

Berdasarkan Tabel 8, semua variabel memiliki nilai p-value atau taraf signifikan 0,000, (< 0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga klaster

yang terbentuk memiliki perbedaan yang signifikan untuk enam variabel yang diamati.

Tabel 8. Tabel Anova

	ANOVA					
	Cluster		Error		F	Sig.
	Mean Square	df	Mean Square	df		
Zscore(X1)	9,125	2	0,583	39	15,643	0,000
Zscore(X2)	10,964	2	0,489	39	22,418	0,000
Zscore(X3)	12,538	2	0,408	39	30,706	0,000
Zscore(X4)	12,025	2	0,435	39	27,666	0,000
Zscore(X5)	13,696	2	0,349	39	39,253	0,000
Zscore(X6)	6,850	2	0,700	39	9,786	0,000

*The F tests should be used only for descriptive purposes because the clusters have been chosen to maximize the differences among cases in different clusters. The observed significance levels are not corrected for this and thus cannot be interpreted as tests of the hypothesis that the cluster means are equal.*

### 3.6. Pembahasan

Untuk variabel Persepsi terhadap proses penetapan grading (X1), klaster 1 memiliki nilai rata-rata (3,679) di atas rata-rata populasi (3,2619). Hal ini menunjukkan bahwa klaster 1 merasa proses penetapan grading yang dilakukan telah sangat baik. Sebaliknya, klaster 2 dan klaster 3 memiliki nilai rata-rata di bawah rata-rata populasi (1,778 dan 2,769). Klaster 2 dan 3 adalah kelompok dosen yang memiliki persepsi bahwa proses penetapan grading belum dilakukan dengan baik, bahkan sangat buruk menurut klaster 2.

Untuk variabel Persepsi terhadap proses penetapan tarif (X2), klaster 1 memiliki nilai rata-rata (3,365) di atas rata-rata populasi (2,9167). Hal ini menunjukkan bahwa klaster 1 juga memiliki persepsi yang tinggi terhadap proses penetapan grading saat ini. Sementara itu, klaster 2 dan 3 juga menganggap proses ini belum dilakukan dengan baik, yang ditandai dengan nilai rata-rata kedua klaster ini (1,50 dan 2,346) yang kurang dari nilai rata-rata populasi.

Untuk variabel Persepsi terhadap sistem pelaporan kinerja (X3), klaster 1 memiliki nilai rata-rata 3,981 yang lebih tinggi dari nilai rata-rata populasi (3,3690). Sementara, nilai rata-rata klaster 2 (1,833) dan klaster 3 (2,500), lebih kecil dari rata-rata populasinya. Hal ini menunjukkan bahwa klaster 1 memiliki persepsi yang baik terhadap pelaporan kinerja yang dilakukan saat ini, tetapi klaster 2 dan klaster 3 memiliki persepsi yang sangat rendah terhadap variabel ini.

Variabel persepsi terhadap sistem penghargaan (X4) menunjukkan kondisi yang berbeda. Nilai rata-rata klaster 1 (4,615) dan klaster 3 (4,923) lebih tinggi dari rata-rata populasinya (4,5476).

Sehingga, berdasarkan variabel sistem penghargaan ini, klaster 1 dan 3 mempersepsikan bahwa proses ini sudah sangat baik. Bahkan, rata-rata klaster 3 juga berada pada posisi lebih tinggi dari klaster 1. Sebaliknya, dengan nilai rata-rata 2,333, klaster 2 masih memiliki persepsi yang sangat rendah terhadap variabel ini.

Untuk variabel Persepsi terhadap sistem penilaian kinerja (X5), klaster 1 memiliki nilai rata-rata 3,769, di atas rata-rata populasi sebesar 3,2460. Hal ini menunjukkan bahwa klaster 1 memiliki persepsi yang sangat tinggi terhadap sistem penilaian kinerja yang dialami saat ini. Di sisi lain, klaster 2 dan 3 memiliki nilai rata-rata lebih rendah (1,667 dan 2,564) dari nilai rata-rata populasi, yang menunjukkan bahwa klaster 2 dan klaster 3 memiliki persepsi yang rendah terhadap sistem penilaian kinerja saat ini.

Untuk variabel terakhir, Persepsi terhadap pengalaman dan masa kerja (X6), klaster 1 juga memiliki nilai rata-rata (3,288) di atas nilai rata-rata populasi (3,0357), yang menunjukkan persepsi klaster 1 terhadap variabel ini sangat tinggi. sebaliknya, walaupun klaster 3 memiliki nilai rata-rata yang cukup tinggi (2,846), tetapi masih berada di bawah nilai rata-rata populasi. Sehingga, klaster 2 dan klaster 3 memiliki persepsi yang kurang baik terhadap variabel ini.

### 4. KESIMPULAN

Dari tiga klaster yang terbentuk, dapat disimpulkan bahwa klaster 1 yang beranggotakan 26 dosen, merupakan kelompok dosen yang memiliki persepsi paling tinggi terhadap implementasi remunerasi di Universitas Pattimura. Klaster 3 yang memiliki 13 dosen merupakan kelompok yang bisa dibalang rata-rata, walaupun semua nilai rata-rata masih di bawah nilai rata-rata populasi. Sementara klaster 2 yang terdiri dari 3 dosen, merupakan kelompok dosen yang memiliki persepsi sangat rendah terhadap implementasi remunerasi di Universitas Pattimura saat ini. Ketiga klaster berbeda secara signifikan untuk enam variabel yang diamati.

Penelitian ini hanya mengamati enam atribut persepsi responden terhadap implementasi remunerasi. Selain itu, sampel yang dipilih mungkin belum mewakili dosen secara keseluruhan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji lebih banyak atribut persepsi yang mungkin berpengaruh, serta mempertimbangkan juga kesesuaian besar remunerasi dengan kebutuhan hidup layak. Selain itu, perlu dilanjutkan penelitian dengan menambah jumlah sampel agar hasilnya dapat digeneralisasi untuk seluruh populasi dosen Universitas Pattimura.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Roberia, “Analisis yuridis perbaikan sistem remunerasi pegawai negeri sipil Republik Indonesia,” Tesis, Universitas Indonesia, Jakarta, 2009.
- [2] Y. P. Senjani, “Analisis Implementasi Remunerasi BLU (Studi Kasus pada UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta),” *EkBis: Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2017, doi: 10.14421/EkBis.2017.1.1.993.
- [3] P. J. Simanjuntak, *Manajemen dan Evaluasi Kinerja*. Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, 2011.
- [4] H. B. Uno and N. Lamatenggo, *Teori Kinerja dan Pengukurannya*. Bumi Aksara, 2012. Accessed: Jun. 21, 2021. [Online]. Available: /home/catalog/id/17064/slug/teori-kinerja-dan-pengukurannya.html
- [5] A. de Pora, *Remunerasi: Kompensasi dan Benefit*. Tangerang: Parninta Offset, 2011.
- [6] M. P. Satjanata and R. Saragih, “The effect of remuneration on employees performance at PT Utama Karya (Persero),” *e-Proceeding of Management*, vol. 6, no. 2, pp. 4579–4589, Aug. 2019.
- [7] E. Sardjana, S. Sudarmo, and D. G. Suharto, “The Effect of Remuneration, Work Discipline, Motivation on Performance,” *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, vol. 5, no. 6, Art. no. 6, Jan. 2019, doi: 10.18415/ijmmu.v5i6.529.
- [8] A. Mendes, R. J. Lunkes, L. Flach, and S. D. Kruger, “The influence of remuneration on the behavior of hospital employees in Brazil,” *Contaduría y Administración*, vol. 62, no. 1, pp. 207–221, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.cya.2016.04.005.
- [9] W. A. Pratama and A. Prasetya, “Pengaruh sistem remunerasi terhadap kepuasan kerja dan motivasi kerja pada perguruan tinggi,” *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB)*, vol. 46, no. 1, pp. 52–60, May 2017.
- [10] O. Y. Calvin, “The Impact of Remuneration on Employees’ Performance : A Study of Abdul Gusau Polytechnic, Talata-Mafara and State College of Education Maru, Zamfara State,” *AJBMR*, vol. 4, no. 2, pp. 34–43, Mar. 2017, doi: 10.12816/0037554.

## AKSES TRANSPORTASI DALAM PENURUNAN BIAYA LOGISTIK KEPULAUAN BERBASIS KOMODITI UNGGULAN LOKAL

Marcus Tukan<sup>1,\*</sup>, Hozairi<sup>2</sup>, B.J. Camerling<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [marcustukan@gmail.com](mailto:marcustukan@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Informasi, Fakultas Teknik Universitas Islam Madura, Madura 69351

Email: [dr.hozairi@gmail.com](mailto:dr.hozairi@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [camerlingbilly@gmail.com](mailto:camerlingbilly@gmail.com)

**Abstrak.** Kelancaran akses kapal dan pelabuhan dapat menurunkan biaya logistik, olehnya itu transportasi dipandang sebagai urat nadi perekonomian wilayah. Penurunan biaya logistik ( $B_L$ ) merupakan fungsi dari kunjungan kapal (Call) dengan kapasitas muatan bongkar yang tersedia ( $Q_{\text{bongkar}}$ ), kinerja bongkar ( $K_{B/M}$ ) adalah kemampuan dan efisiensi penggunaan tenaga kerja bongkar-muat (TKBM) di pelabuhan termasuk peralatan bongkar-muat dipelabuhan pada suatu wilayah, maka efisiensi biaya logistic transport  $\eta B_L$  dapat meningkatkan kinerja transportasi wilayah kepulauan dan kondisi ini akan memberikan dampak turunan terhadap daya beli masyarakat di wilayah kepulauan. Hasil kajian diperoleh parameter  $\beta_0 = -1.102$ ,  $\beta_1 = 0.001046$ ,  $\beta_2 = 0.00005$ ,  $\beta_4 = +08970$ ,  $\beta_4 = 0.000000$  dimana kenaikan biaya logistik dapat berpengaruh terhadap Call,  $Q_{\text{bongkar}}$ , Kinerja $_{B/M}$ , PDRB $_{\text{unggulan}}$ , bila  $B_L$  naik sebesar 1% akan berdampak juga terhadap semua parameter yang ada. jika kinerja $_{B/M} = +08970$ . maka  $B_L$  mempunyai korelasi yang cukup baik dengan perbaikan kinerja bongkar barang dipelabuhan dan berpengaruh signifikan terhadap muatan yang berdampak kuat pada penurunan harga dalam mendorong daya beli dan pertumbuhan ekonomi

Kata Kunci : logistik, transportasi, biaya.

**Abstract.** Smooth access to ships and ports can reduce logistics costs, therefore transportation is seen as the lifeblood of the regional economy. The decrease in logistics costs ( $B_L$ ) is a function of ship visits (Call) with available loading and unloading capacity ( $Q_{\text{bongkar}}$ ), unloading performance ( $K_{B/M}$ ) is the ability and efficiency of the use of loading and unloading labor (TKBM) at the port including loading and unloading equipment. loading at a port in an area, the efficiency of logistic BL logistics transport costs can improve the transportation performance of the archipelago and this condition will have a derivative impact on the purchasing power of the people in the islands. The results of the study obtained parameters  $0 = -1.102$ ,  $1 = 0.001046$ ,  $2 = 0.00005$ ,  $4 = +08970$ ,  $4 = 0.000000$  where the increase in logistics costs can affect Call,  $Q_{\text{bongkar}}$ , Performance $_{B/M}$ , GRDP $_{\text{unggulan}}$ , if  $B_L$  increases by 1% will have an impact also for all existing parameters. if performance $_{B/M} = +08970$ . then  $B_L$  has a fairly good correlation with improved loading and unloading performance at the port and has a significant effect on cargo which has a strong impact on price declines in encouraging purchasing power and economic growth

Keywords: logistics, transportation, cost.

### 1. PENDAHULUAN

Senerginya akses transportasi antar moda serta rendahnya biaya logistik menjadi kata kunci dalam menentukan keberhasilan pembangunan

ekonomi suatu wilayah, oleh sebab itu transportasi dipandang sebagai urat nadi perekonomian, terutama dalam menggerakkan pembangunan yang diikuti dengan upaya

penurunan biaya logistik antar pulau. Sistem transportasi juga akan berdampak positif jika dimensi sarana transportasi memiliki korelasi positif terhadap ketersediaan potensi ekonomi yang menjadi komoditas unggulan wilayah.

Peningkatan ekonomi suatu wilayah menjadi tujuan dalam upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Yang menjadi persoalan saat ini adalah masih tingginya biaya logistik transportasi Indonesia yang mencapai 24% dari total PDB atau setara dengan lebih kurang Rp 1.820 triliun per tahun (Frost dan Sullivan, 2016). Proporsi besaran biaya logistik ini masih cukup besar dibandingkan Vietnam (20%), Thailand (15%), China (14%), Malaysia, Filipina, dan India (13%), Taiwan dan Korea Selatan (9%), serta Singapura dan Jepang (8%) dimana kondisi ini sebagai dampak geografis Indonesia. Hal ini menjadi kendala dalam upaya pemberdayaan ekonomi di wilayah kepulauan.

Dari Permasalahan di atas bahwa tingginya biaya logistik pada suatu wilayah tidak dapat dipisahkan dari peran transportasi, sekaligus merupakan kunci percepatan suksesnya pembangunan berbagai bidang. Olehnya itu penataan transportasi dan logistik perlu dilakukan secara cermat dan tepat. Yang menjadi problem dasar pembangunan Indonesia sebagai Negara Kepulauan adalah penataan infrastruktur transportasi yang optimal dan efisien [1] wilayah kepulauan.

Sebagai wilayah kepulauan, transportasi memiliki peran penting untuk memicu pemberdayaan ekonomi masyarakat dengan mengedepankan potensi unggulan wilayah. Transportasi antar pulau tidak dapat dipisahkan dengan pelayaran. Pelayaran yang terencana dengan baik merupakan faktor penting dalam penurunan biaya logistik. Revitalisasi konektivitas antar pulau diharapkan dapat mendukung program Tol Laut pemerintah sebagai ikon pembangunan Indonesia dengan menganalisis eksistensi transportasi dan pengaruhnya terhadap biaya logistik. Dengan demikian, kajian akan melihat sejauhmana peran transportasi laut dan pengaruhnya terhadap penurunan biaya logistik. Dengan batasan lingkup permasalahan hanya di pulau Ambon dan Seram sebagai representasi wilayah Kepulauan Maluku dengan mengambil data sekunder yang bersumber dari dinas terkait. Adapun tujuan untuk menganalisis pengaruh transportasi terhadap penurunan biaya logistik wilayah kepulauan.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Transportasi dan Ekonomi

Transportasi mempunyai pengaruh positif yang kuat terhadap pembangunan dan pertumbuhan ekonomi dan sebaliknya peningkatan produksi barang dan jasa dapat dikaitkan langsung dengan perbaikan transportasi [2]. Sementara [3] mendefinisikan infrastruktur sebagai salah satu faktor penting yang menentukan pembangunan ekonomi.

Lokasi wilayah dan analisa spasial perlu dilakukan dengan memperhatikan factor-faktor utama dan menentukan lokasi pemilihan kegiatan ekonomi, baik pertanian, perikanan, industri, jasa dan lainnya. Secara garis besar terdapat 6 (enam) faktor ekonomi utama yang mempengaruhi lokasi kegiatan ekonomi [4].

The Local and Regional Economic Impacts Of The Port Of Houston [5], dalam studinya dengan menggunakan an economic impact analysis menyimpulkan bahwa aktivitas pelabuhan berdampak pada ekonomi regional dan lokal dengan pertumbuhan pendapatan rata mencapai 10% pertahun. Implikasi model hubungan transportasi dengan ekonomi dapat dipakai untuk mengukur kemajuan ekonomi wilayah pulau melalui variable infrastruktur, khususnya wilayah maritim atau wilayah pelabuhan [6].

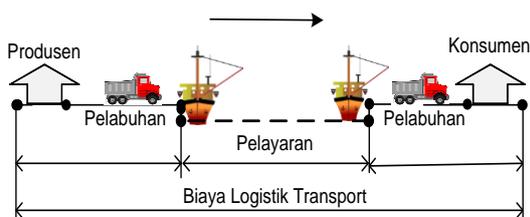
Pengaruh transportasi dalam Perekonomian serta kondisi geografis wilayah secara umum sangat berdampak pada perekonomian masyarakat di wilayah kepulauan Maluku yang cenderung dipengaruhi oleh karakteristik perbedaan karakteristik wilayah kepulauan serta ketersediaan infrastruktur yang dimiliki oleh masing-masing wilayah pulau. Di samping itu, karena transportasi merupakan infrastruktur dasar (*basic infrastructure*) bagi kegiatan ekonomi, sosial dan budaya [7] maka dalam penelitian ini tidak dapat dilepaskan dari pola kegiatan masyarakat itu sendiri dengan pengaruh transportasi, dimana pengertian transportasi itu adalah suatu usaha gerakan perindahan baik orang maupun barang dari suatu tempat ke tempat yang lain.

Transportasi juga merupakan kegiatan mengangkut atau usaha untuk memindahkan muatan (barang dan penumpang) dari suatu tempat ke tempat lain, dan sangat vital bagi perekonomian dan pembangunan serta fasilitas penunjang (*supporting facility*) terhadap pengembangan dan pertumbuhan sektor-sektor lain [8]. Oleh karena itu, kinerja operasional pelayanan transportasi harus ditingkatkan, sehingga efektif dan efisien, dalam melayani

kebutuhan hidup masyarakat melalui pendekatan terpaduan antarmoda

Untuk itu kondisi ini akan memberikan gambaran pendekatan pola transportasi namun transportasi laut sebagai sarana utama pembangunan ekonomi wilayah perlu dikaji secara komprehensif sehingga dapat memberikan gambaran ilmiah seberapa besar pengaruh transportasi dan sistem logistik dalam perekonomian di Kepulauan Maluku.

Logistik merupakan salah satu kegiatan yang terpusat pada cara untuk mengelola barang melalui tindakan perencanaan dan penentuan kebutuhan, pengadaan, penyimpanan, penyaluran, pemeliharaan dan penghapusan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Logistik juga terkait dengan aktivitas yang fokus untuk mendapatkan produk yang tepat dengan jumlah yang tepat (*of the right products*) ke tempat yang tepat (*to the right place*) pada waktu yang tepat (*at the right time*) pada biaya yang rendah (*at the lowest possible cost*), [9]. Dengan demikian tujuan logistik adalah suatu upaya pengiriman barang jadi dan bermacam-macam material dalam jumlah yang tepat pada waktu yang dibutuhkan, dan dengan total biaya yang terendah [10]. Melalui proses logistik kebutuhan material dari wilayah kepulauan untuk proses produk-produk industri dapat didistribusikan mulai dari produsen sampai ke konsumen (*end to end*). Seperti terlihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram model distribusi sistem logistik kepulauan.

Dari gambar tersebut diatas dapat dijelaskan bahwa proses distribusi (produsen sampai ke konsumen) yang mempengaruhi sistem logistik dimulai dari *produsen-pelabuhan berangkat – pelayaran-pelabuhan tiba-dan akhirnya dikonsumsi* dimana biaya logistik dalam proses rantai pasok dan biaya produk akhir sangat menentukan harga akhir dari proses distribusi. Dan dalam penelitian ini secara kualitatif ditemukan biaya tinggi yang terjadi di pelabuhan tiba maupun pelabuhan berangkat berada diluar siklus idel sebuah proses logistik

sehingga membuat tingginya harga yang diterima konsumen.

## 2.2. Transporasi dan Logistik

Biaya Transportasi, penghitungan biaya logistik tidak lepas dari perhitungan komponen biaya transportasi yang mencakup biaya transportasi untuk memindahkan hasil produk dari pabrik dan pemasok ke gudang (disebut sebagai biaya transportasi sekunder) atau dapat disebut juga sebagai biaya pengiriman produk jadi ke konsumen akhir. Sementara biaya pergerakan barang dari pabrik atau pusat distribusi ke pabrik atau pusat distribusi lain, atau angkutan inbound pembelian barang dari pabrik atau distributor untuk dijual kembali (*resale*) (disebut sebagai biaya transportasi primer).

Biaya logistik merupakan faktor yang cukup mempengaruhi daya saing suatu wilayah. Dalam mekanisme pasar, biaya logistik juga dapat mempengaruhi harga jual produk akhir. Sementara bagi wilayah pulau, biaya logistik agregat akan mempengaruhi pasar ekspor dan impor.

## 2.3. Pemodelan Transport dan Biaya Logistik

Model efisiensi biaya logistik transport dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\eta B_{\perp} = f(Call, Q_{\text{muatan}}, K_{B/M}, PDRB_{\text{Sektoral}}) \quad (1)$$

dimana;

$\eta B_{\perp}$  = efisiensi biaya logistik

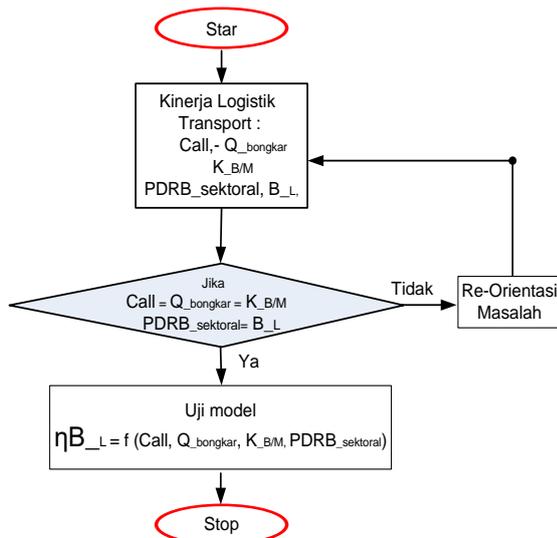
$Q_{\text{muat}}$  = potensi muatan muat

$K_{B/M}$  = kinerja tenaga bongkar muat di pelabuhan.

$PDRB_{\text{sektoral}}$  = potensi sektoral unggulan Maluku antara lain sektor perikanan, perkebunan, pertanian dan kehutanan.

Gambar diagram 2 adalah model diagram alir hubungan antara kinerja logistic dan transportasi;

Dari gambar diagram 2 dapat dijelaskan bahwa jika biaya logistik ( $B_{\perp}$ ) merupakan fungsi dari kunjungan kapasitas kapal ( $Call$ ) dengan kapasitas muatan bongkar yang tersedia ( $Q_{\text{bongkar}}$ ), kinerja bongkar ( $K_{B/M}$ ) adalah kemampuan dan efisiensi penggunaan tenaga kerja bongkar-muat di pelabuhan (TKBM) termasuk peralatan bongkar-muat dipelabuhan pada suatu wilayah, maka efisiensi biaya logistik transport  $\eta B_{\perp}$  dapat meningkatkan kinerja transportasi wilayah kepulauan dan kondisi ini dapat memberikan dampak turunan terhadap daya beli masyarakat di wilayah kepulauan.



Gambar 2. Diagram alir hubungan transportasi dan biaya logistik.

Uji model data dilakukan dengan melihat hubungan antara load factor kapal (Lf) dengan kinerja logistik, dimana jika  $\eta B_L = Lf$  maka secara ekonomi model ini memenuhi syarat keekonomian untuk pengoperasian kapal kargo di wilayah kepulauan.

**2.4. Pemodelan Ekonometrika Dimensi Transportasi dan Biaya Logistik**

Model logistic yang sering disebut sebagai regresi logistik atau model logit dalam ilmu statistik, statistika regresi logistik digunakan untuk memprediksi peluang terjadinya suatu peristiwa (*probabilitas*) dengan menyusun data pada fungsi logit kurva logistik. Seperti analisis regresi umumnya, dimana metode ini menggunakan beberapa variabel prediktor, baik numerik maupun variabel kategori. Metode ini merupakan model linier umum yang digunakan untuk regresi binomial.

Analisis model, dalam mengembangkan model analisis biaya logistik ( $B_L$ ) yang dilakukan dengan menggunakan teori produksi Cobb Douglass pada persamaan yang melibatkan lebih dari dua variabel, dimana data time series dari kinerja logistik di pelabuhan, seperti jumlah kunjungan kapal (Call) dengan kapasitas muatan bongkar ( $Q_{bongkar}$ ), kinerja bongkar-muat ( $K_{B/M}$ ) serta kemampuan dan efisiensi penggunaan tenaga kerja bongkar-muat di pelabuhan (TKBM) termasuk peralatan bongkar-muat dipelabuhan pada suatu wilayah juga potensi sektoral wilayah sebagai komponen pembentuk PDRB wilayah merupakan input yang diolah dalam bentuk regresi multilinear kemudian dirubah menjadi bentuk Cobb Douglass dimana proses ini merupakan

input untuk mencari kondisi maksimum Biaya Logistik yaitu jika biaya logistik transport khususnya di Pelabuhan dapat diturunkan.

**2.5. Data**

Penelitian ini menggunakan data kinerja pelabuhan antara lain : data kunjungan kapal (Call), data muatan bongkar ( $Q_{bongkar}$ ), kinerja bongkar-muat ( $K_{B/M}$ ) serta kemampuan dan efisiensi penggunaan tenaga kerja bongkar-muat di pelabuhan (TKBM) termasuk peralatan bongkar-muat dipelabuhan pada suatu wilayah dan dilakukan dengan pendekatan kualitatif yang menggunakan skala likert sebagai sebuah skala psikometrik. juga potensi sektoral wilayah sebagai komponen pembentuk PDRB.

Pada penelitian ini didefinisikan bahwa interval penilaian logistic cost antara lain :

- Indeks >40% : sangat idak baik.. skor 1
- Indeks 21%–39,99% : kurang baik.. skor 2
- Indeks 16%–20% : cukup baik.. skor 3
- Indeks 11%–15,99% : baik.. skor 4
- Indeks 5%–10% : Sangat baik.. skor 5.

Untuk kinerja bongkar-muat barang yang didukung dengan fasilitas peralatan bongkar-muat dipelabuhan dapat didefinisikan antara lain:

- Tidak adanya peralatan B/M.. skor 1
- Peralatan yang sangat terbatas B/M.. skor 2
- Peralatan B/M cukup baik.. skor 3
- Peralatan B/M baik.. skor 4
- Peralatan B/M Sangat baik.. skor 5.

Tabel 1. Data kunjungan kapal, muatan bongkar, biaya logistik dan pertumbuhan PDRB wilayah pada pelabuhan Ambon.

Tahun	Call	$Q_{bongkar}$	$K_{B/M}$	$B_L$	PDRB
2013	2521	68568	2	1	6962687
2014	2775	78950	3	2	7909338
2015	2059	792499	2	2	8276649
2016	1515	861337	3	3	8844786
2017	3461	946766	4	2	9491966

Sumber: Maluku Dalam Angka 2018

Hasil survei menunjukkan bahwa tren pertumbuhan kunjungan kapal (Call) dari tahun 2013 dimana terjadi peningkatan dan ada penurunan pada tahun 2016 tetapi pada tahun berikutnya terjadilagi peningkatan yang sangat signifikan. Untuk muatan bongkar terjadi peningkatan yang positif sejak tahun 2013 terus meningkat secara dalam kurun waktu lima tahun sampai pada tahun 2017. Sementara kinerja bongkar barang berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara lapangan di pelabuhan Ambon

ditemukan penilaian yang bervariasi terhadap kinerja, tetapi jika dilihat rata-rata menunjukkan berada pada kinerja cukup baik. Untuk biaya logistik ditemukan berada pada kinerja kurang baik artinya telah ditemukan masih tingginya biaya logistik dipelabuhan yang terus terjadi dari tahun ke tahun, dimana semua kondisi ini dapat dilihat pada tabel 1.

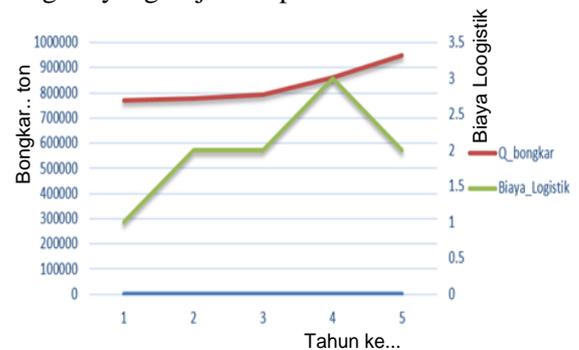
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran transportasi bagi pertumbuhan ekonomi dapat digambarkan sebagai infrastruktur yang memberikan manfaat kepada rumah tangga (*household*) Perkembangan moda transportasi berkorelasi dengan struktur ekonomi dan mobilitas tenaga kerjadan menyebabkan terjadinya pertumbuhan ekonomi sehingga pada akhirnya memberikan kesejahteraan. Memahami implikasi sosio-ekonomi dari perpindahan atau pergerakan sangat relevan baik dari perspektif bisnis maupun sosial. hal bergantung pada asumsi yang dibuat berdasarkan pengetahuan yang tersedia [11]. Dalam mendorong pembangunan infrastruktur, kontribusi infrastruktur terhadap pembangunan. Keterkaitan antara infrastruktur (*sektor transportasi*) dengan pertumbuhan ekonomi pada konteks pengeluaran pemerintah (*government spending*) disektor transportasi sesuai dengan Teori Keyles (dalam Gardner Ackley, 1961) menyatakan bahwa kegiatan pemerintah merembes ke segala bidang dengan asumsi perekonomian tertutup, dimana  $Y$  adalah pertumbuhan ekonomi (*PDRB*), Secara sistematis memiliki identitas sebagai berikut: Penelitian tentang efek investasi negara pada infrastruktur (dalam hal ini transportasi dan komunikasi) terhadap pertumbuhan dilakukan oleh Easterly dan Rebelo pada tahun 1993. Dengan menggunakan penilaian variabel sebagai penolong untuk mengindari endogenous yang menghubungkan dua variabel dan kemungkinan hubungan timbal balik sebab akibat. Dengan metode pool regresi, ditemukan bahwa transportasi publik memiliki peran utama menjaga kemajuan pembangunan sehingga transportasi perlu dibenahi baik secara kuantitas maupun kualitas.

Yang menjadi kendala pembangunan transportasi di wilayah kepulauan adalah masih tingginya logistic cost dipelabuhan (kurang lebih 70%) dari total logistic cost distribusi barang yang ada. Dimana Indonesia saat ini rata-rata biaya logistik mencapai 26,4% dari produk domestik bruto (PDB).

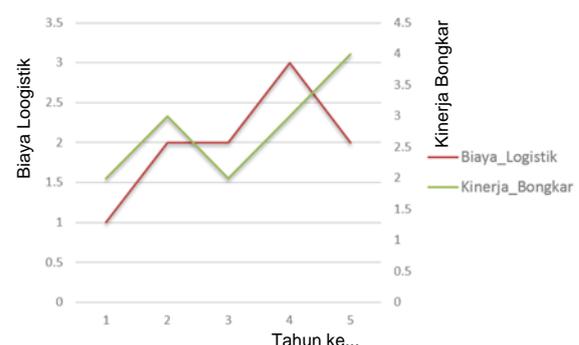
Gambar 3 di bawah ini dapat dijelaskan bahwa adanya korelasi yang cukup signifikan

antara pertumbuhan kinerja muatan bongkar dengan biaya logistic yang terjadi dipelabuhan, dimana peningkatan kinerja mampu menurunkan lgistik cost, tetapi data satu tahun terakhir menunjukkan hubungan yang terbalik hal ini menggambarkan bahwa biaya logistik tidak mutlak ditentukan oleh peningkatan muatan bongkar yang terjadi di pelabuhan.



Gambar 3. Diagram hubungan muatan bongkar versus biaya logistik

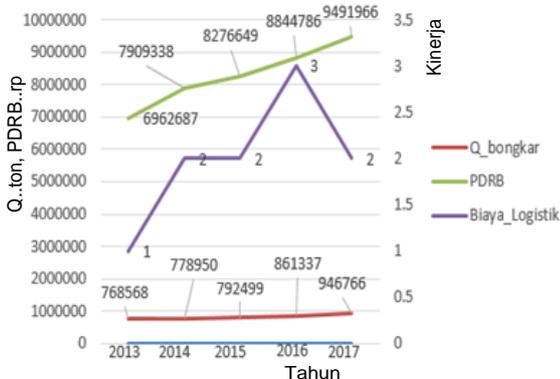
Gambar 4. di bawah ini dapat dijelaskan bahwa adanya korelasi yang cukup signifikan antara pertumbuhan kinerja muatan bongkar dengan biaya logistic yang terjadi dipelabuhan, dimana peningkatan kinerja mampu menurunkan biaya logistik, tetapi data tahun terakhir menunjukkan hubungan yang terbalik dimana biaya logistik justru semakin tinggi sehingga perlu dialami fenomena lain dibalik perubahan ini, seperti yang ditemui saat dilakukan survei lapangan dan ditemukan adanya biaya-biaya nonteknis yang ikut mempengaruhi biaya logistik di pelabuhan.



Gambar 4. Diagram hubungan kinerja muatan bongkar versus biaya logistik

Gambar 5 di bawah ini dapat dijelaskan bahwa adanya korelasi yang sangat signifikan antara pertumbuhan muatan bongkar terhadap PDRB dimana pola biaya logistic yang terjadi dipelabuhan pada tahun-tahun pertama sedikit mengalami perbaikannamun pada tahun terakhir 2017 kembali mengalami penurunan Indeks

kurang baik dengan skor 2 (21% – 39,99%). Hal ini menunjukkan hubungan yang terbalik dimana logistic cost justru semakin tinggi sehingga perlu dialami fenomena lain yang terjadi dipelabuhan dibalik perubahan ini.



Gambar 5. Diagram hubungan muatan bongkar dan pertumbuhan PDRB terhadap biaya logistik

### 3.1. Analisis Logistik Cost Versus Muatan Bongkar

Hubungan Biaya Logistik(B<sub>L</sub>) terhadap pertumbuhan muatan bongkar (Q<sub>bongkar</sub>), dan hubungan tersebut dapat dimodelkan dengan ;  
Regression Analysis: Biaya<sub>Logistik</sub> versus Q<sub>bongkar</sub>  
The regression equation is :

$$B_{Logistik} = -1.44 + 0.000004 Q_{bongkar} \dots(2)$$

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.3842	0.3842	0.71	0.460
Q_bongkar	1	0.3842	0.3842	0.71	0.460
Error	3	1.6158	0.5386		
Total	4	2.0000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.733901	91.4%	0.00%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE	Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1.44	4.08	-0.35	0.748		
Q_bongkar	0.000004	0.000005	0.84	0.460	1.00	

Dari model di atas diketahui parameter  $\beta_0 = -1.44$ ,  $\beta_1 = 0.000004$  artinya pertumbuhan muatan bongkar (Q<sub>bongkar</sub>) akan mempengaruhi Biaya Logistik(B<sub>L</sub>) dipelabuhan, dimana bila B<sub>L</sub> naik sebesar 1% maka Q<sub>bongkar</sub> meningkat sebesar 0.000004 %.

Dengan nilai R<sup>2</sup> = 91.4%, hal ini menunjukkan bahwa dari seluruh variasi total Y yang diterangkan oleh X, sedangkan sisanya 7.6% factor lain yang tidak diperhitungkan masuk ke model. Sehingga Q<sub>bongkar</sub> mempunyai korelasi yang kuat dengan perbaikan logistic cost, walaupun tidak terlalu signifikan akan tetapi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap muatan yang berdampak kuat terhadap pertumbuhan ekonomi.

### 3.2. Analisis Regression Analysis: B<sub>L</sub> versus Call, Q<sub>bongkar</sub>, Kinerja<sub>B/M</sub>, PDRB<sub>unggulan</sub>

Hubungan kinerja Biaya Logistik(B<sub>L</sub>) dengan kunjungan kapal (Call) muatan bongkar (Q<sub>bongkar</sub>), kinerja bongkar K<sub>bongkar</sub> hubungan tersebut dapat dimodelkan dengan ;  
Regression Analysis: Biaya<sub>Logistik</sub> versus PDRB<sub>unggulan</sub>, Call, Q<sub>bongkar</sub>, Kinerja<sub>B</sub>  
Persamaan regresinya adalah :

$$Biaya_{Logistik} = -1.102 - 0.001046 Call - 0.000005 Q_{muat} + 0.8970 Kinerja_{B/M} + 0.000000 PDRB_{unggulan} \dots (3)$$

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	2.00000	0.5000	*	
Call	1	0.91866	0.9187	*	
Q_muat	1	0.11963	0.1196	*	
Kinerja_B/M	1	0.27903	0.2790	*	*
PDRB_unggulan	1	0.15932	0.1593	*	
Error	0	0.00000	*		
Total	4	2.00000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
*	97.00%	*	*

Coefficients

Term	Coef	Coef	T-Value	P-Value
VIF				
Constant	-1.102	*	*	*
Call	-0.001046	*	*	*
2.57				
Q_muat	-0.000005	*	*	*
8.35				
Kinerja_B/M	0.8970	*	*	*
8.07				
PDRB_unggulan	0.000000	*	*	*
5.72				

Dari model diatas diketahui parameter  $\beta_0 = -1.102$ ,  $\beta_1 = 0.001046$ ,  $\beta_2 = 0.000005$ ,  $\beta_3 = +0.8970$ ,  $\beta_4 = 0.000000$  artinya kenaikan Biaya Logistik dapat berpengaruh terhadap Call, Q<sub>bongkar</sub>, Kinerja<sub>B/M</sub>, PDRB<sub>unggulan</sub> serta berpengaruh dipelabuhan, dimana bila Logistik<sub>cost</sub> naik sebesar 1% akan berdampak juga terhadap semua parameter yang ada.

Dengan nilai R<sup>2</sup> = 97,0%, hal ini menunjukkan bahwa dari seluruh variasi total Y yang diterangkan oleh X, juga menggambarkan adanya korelasi yang kuat dan positif yaitu Kinerja<sub>B/M</sub> = +0.8970. Sehingga B<sub>L</sub> mempunyai korelasi yang cukup baik dengan perbaikan kinerja bongkar barang dipelabuhan dan berpengaruh signifikan terhadap muatan yang berdampak kuat terhadap penurunan harga dalam mendorong daya beli dan pertumbuhan ekonomi

#### 4. KESIMPULAN

Hasil kajian dan analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Biaya logistik sangat dipengaruhi oleh kinerja muatan bongkar yang ada disuatu pelabuhan wilayah pulau dalam mendukung Tol Laut.
2. Kelancaran volume muatan bongkar memiliki korelasi yang tidak signifikan dengan terjadinya peningkatan biaya logistik sebab kelancaran bongkar muat tidak berdampak pada biaya.
3. Kenaikan biaya logistik yang terjadi dipelabuhan berada diluar aspek teknis di pelabuhan, karena adanya pihak tertentu yang ikut bermain dalam penetapan tarif muatan bongkar dipelabuhan, hal ini akan memberikan kesan negatif terhadap kinerja pelayaran dan pelabuhan atau terkadang digambarkan sebagai kinerja transportasi yang buruk.

Untuk menurunkan biaya logistik di Pelabuhan perlunya perbaikan manajemen tenaga kerja kontrak dengan tenaga kerja bongkar muat pelabuhan (TKPBM) yang menetapkan tarif bongkar muat sesuai keinginan kelompok, untuk itu dibutuhkan regulasi, pengawasan dan penindakan oleh pemerintah. Dan juga perlunya penelitian lanjutan untuk membuktikan model analisis yang digunakan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marcus Tukan, (2015), Pelabuhan Berbasis Model Ekonomi Kepulauan, Penerbit Unesa University Press, ISBN 978-979-028-806-5
- [2] Button, K.J., 1982. *Transport Economics*, Heinemann Educational Books, Ltd., London, pp. 245
- [3] Tadaro, Michael P., *Economic Development*, Seventh Edition, New York, Addition Wesley Longman, Inc, 2000
- [4] Sjafrizal, *Ekonomi Regional, Teori dan Aplikasi*, Baduose Media, Praninta Offset, Padang Sumatera Barat, 2008
- [5] Martin Stopford, *Maritime Economics*, OX14, Third Edition. P 140.
- [6] Marcus Tukan, *Pengembangan Pelabuhan Berbasis Model Ekonomi Wilayah Kepulauan Disertai MT093350*, ITS, Surabaya, P 130, 2013
- [7] Marcus Tukan, *Transportasi Kepulauan Dalam Mendukung Tol Laut*, Polimedia Publishing, ISBN: 978-602-6372-11-6, pp. 79-80, 90-92, Kampus Polimedia, Jagakarsa Jakarta Selatan 12640, email: [polimediapublishing@gmail.com](mailto:polimediapublishing@gmail.com), 2017
- [8] Jinca, M. Yamin. 2010. “Keterpaduan Sistem Jaringan Antar Moda Transportasi di Pulau Sulawesi” *Jurnal Transportasi* 9(1): [29 November 2016]
- [9] Berkowitz, Eric N. Kerin, Roger A. Hartley, S. W., & Rudelius, W. dalam Budi Sitorus, Tulus Irfan *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik - Vol. 04 No. 02*, P137-146, Juli 2017
- [10] Bowersox, Donald J. *Manajemen Logistik Jilid I*. Cetakan Kelima. Bumi Aksara Jakarta 2006
- [11] María Alonso Raposo, Monica Grosso, Andromachi Mourtzouchou, Jette Krause, *Economic Implications of a Connected and Automated Mobility in Europe*, *Research in Transportation Economics*, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/retrec](http://www.elsevier.com/locate/retrec) P6, April 2021.

## DESAIN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM POMPA AIR TAWAR PADA KAPAL RAKYAT

Franky Tanahitumessing<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Lab. Mekanika Fluida dan Mesin Fluida Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*e-mail: [aldi01dell@gmail.com](mailto:aldi01dell@gmail.com)

**Abstrak.** Persediaan air tawar pada kapal rakyat merupakan kebutuhan vital yang harus dipenuhi selama kapal melakukan pelayaran. System penyaluran air tawar yang digunakan tanpa pengontrolan akan merepotkan Anak Buah Kapal (ABK), yang selalu bertugas untuk mengontrol ketersediaan air pada tangki harian dan menjalankan pompa air. Alat kontrol pompa air dipakai untuk membantu mengurangi waktu kerja ABK dan dapat meningkatkan efisiensi kinerja pompa air. Saklar pelampung merupakan alat kontrol yang sering dipakai, namun sistem pelampungnya akan terganggu seiring waktu pemakaian. *Automatic control system* dengan menggunakan sensor level air belum familiar digunakan untuk mengontrol pompa air. Dari hasil desain yang dilakukan sistem ini lebih efisien dibanding saklar pelampung. Efisiensinya dapat dilihat dari tingkat kepekaan terhadap perubahan tinggi permukaan air, dan juga umur pakai yang lebih lama. Sistem ini dapat digunakan untuk mengontrol kerja pompa air tanpa pengawasan atau pengontrolan dari Anak Buah Kapal (ABK), sehingga lebih menghemat waktu dan ketersediaan air pada tangki harian tetap tersedia setiap saat.

**Kata kunci :** kontrol pompa air, *automatic control system*, sensor level air.

**Abstract.** *Freshwater supplies on people's ships are a vital need that must be met during the ship's voyage. The distribution system used without control will be troublesome for the Crew, who are always in charge of controlling the availability of water in the daily tank and running the water pump. Water pump control equipment is used to help reduce the working time of the Crew and can improve the performance efficiency of the water pump. A buoy switch is a control tool that is often used, but the buoy system will be disrupted over time. An automatic control system using a water level sensor is not familiar to use to control the water pump. From the design results of this system is more efficient than the buoy switch. Its efficiency can be seen from the degree of sensitivity to changes in water level, as well as longer service life. This system can be used to control the work of water pumps without supervision or control of the Crew, thus saving more time and the availability of water in the daily tank remains available at all times.*

**Keywords:** *water pump control, automatic control system, water level sensor.*

---

### 1. PENDAHULUAN

Pelayaran rakyat juga telah berfungsi sebagai penggerak roda perekonomian masyarakat di wilayah-wilayah pedalaman yang terpencil dan pulau-pulau terluar untuk mendistribusikan barang hasil bumi dan jasa, maupun untuk mendistribusikan barang-barang kebutuhan pokok yang diperlukan masyarakat. Peran pelayaran rakyat ini tidak tergantikan oleh kapal-kapal bertonase besar mengingat kedalaman perairan pantai dan sungai yang semakin dangkal akibat

proses sedimentasi yang tidak dapat dikendalikan [1].

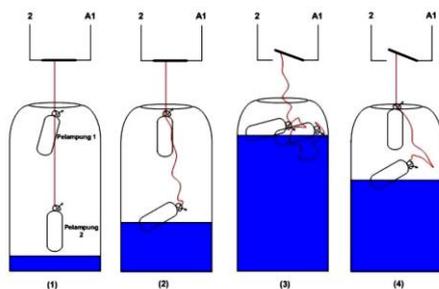
Ketersediaan air bersih (air tawar) pada saat pengoperasian kapal rakyat merupakan salah satu kebutuhan vital. Untuk itu, sistem penyediaan air bersih harus didesain sedemikian rupa dapat digunakan setiap saat. Fungsi air tawar adalah sebagai air minum, cuci, mandi, dan lain-lain [2].

Air minum untuk para awak dan penumpang kapal disimpan di dalam storage tank. Dari storage tank, air minum tersebut akan dialirkan menuju service tank yang kemudian dari service tank akan

dialirkan menuju ruangan-ruangan yang membutuhkan [3].

Dan untuk mempertahankan kelancaran sistem penyediaan air tawar (air bersih), maka pompa air merupakan bagian vital dari suatu instalasi pipa air bersih, yakni dengan satu tujuan mampu memperlancar aliran air sampai ke tujuan. Namun dalam penggunaannya sering tidak terkontrol dengan baik sehingga terjadi pemborosan atau dapat dikatakan bahwa penggunaannya belum efektif, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada pompa akibat umur pakai yang tidak terkontrol, karena kesibukan Anak Buah Kapal yang melakukan aktivitas lain di kapal. Setiap manusia pasti memiliki kesalahan dan kelalaian dalam mengingat atau melakukan sesuatu (*human error*) [4]. Untuk itu, diperlukan alat bantu untuk mengontrol kinerja pompa air sehingga penggunaannya menjadi lebih efektif dan tidak terjadi pemborosan atau luapan air yang terbuang percuma, juga dapat memperpanjang umur pakai dari mesin pompa tersebut. Contoh yang paling sederhana saja ialah pengaturan mati dan hidup pompa pengisian tangki air yang menggunakan Level Control [5].

Alat kontrol yang sangat familiar yakni saklar pelampung, yang menggunakan sebuah sistem mekanis sederhana dengan sebuah saklar (*limit switch*) dengan tali untuk mengikat pelampung. Saklar pelampung ini mempunyai keuntungan yakni sederhana dan mudah dalam pemasangan serta pengoperasiannya.



Gambar 1. Cara kerja saklar pelampung.

Namun ada pula kerugiannya yakni sistem kerja saklar akan terganggu karena lapuknya tali yang digunakan akibat terendam air.

Hal inilah yang menjadi motivasi bagi penulis untuk mendesain sebuah *automatic control system* dengan menggunakan sensor level air (*water level sensor*). Sistem ini menggunakan tigabuah elektroda celup yang berfungsi sebagai common power, low level dan high level dari level ketinggian air. Pada sistem ini, tidak menggunakan saklar mekanis seperti pada saklar pelampung, namun dengan sistem ini, air akan berfungsi

seperti saklar untuk menghubungkan aliran listrik ke relay yang digunakan.

Desain *automatic control system* ini bertujuan untuk menggantikan sistem saklar pelampung dalam mengontrol kinerja pompa air sehingga lebih efisien dan efektif, dan dapat menghemat waktu kerja anak buah kapal (*crew*) di kapal.

## 2. BAHAN DAN METODE

Untuk mendesain *automatic system* ini diperlukan beberapa bahan pokok yang menjadi sarana utama, yakni relay magnetik (*magnetic relay*) dan adaptor sebagai power suplay yang mengubah arus listrik ac menjadi dc.

### 2.1 Magnetic Relay

*Magnetic Relay* merupakan komponen listrik yang prinsip kerjanya sama dengan saklar, yakni menghubungkan dan atau memutuskan aliran listrik ke beban listrik. Relay bekerja dengan menggunakan arus listrik yang terhubung ke kumparannya, yang kemudian menimbulkan gaya magnet untuk menarik saklar internal yang ada pada relay tersebut. Saklar internal inilah yang disebut sebagai kontak NO (*Normally Open*= Bila coil contactor atau relay dalam keadaan tak terhubung arus listrik, kontak internalnya dalam kondisi terbuka atau tak terhubung) dan kontak NC (*Normally Close*= Sebaliknya dengan *Normally Open*) [6].

Ada bermacam-macam relay yang digunakan dalam dunia kelistrikan maupun elektronik. Misalnya dalam dunia kelistrikan ada yang dikenal dengan nama kontaktor, yakni tipe relay daya yang cukup besar, yang digunakan untuk mengontrol mesin-mesin listrik dengan daya besar. Ada juga tipe relay yang digunakan dalam dunia elektronika, yang berukuran kecil dengan daya yang kecil pula.

Dalam desain ini, digunakan relay type Omron 12VDC coil 250VAC contact 8 pin.



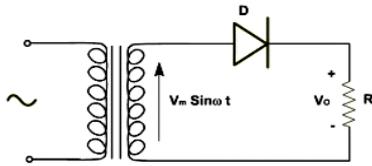
Gambar 4. Contoh Tipe Relay

### 2.2 Adaptor (Power Suplay DC)

Adaptor merupakan rangkaian penyearah yang mengubah tegangan bolak-balik (ac) menjadi tegangan searah (dc). Rangkaian ini merupakan rangkaian elektronika sederhana yang terdiri dari transformator dan dioda sebagai komponen utama.

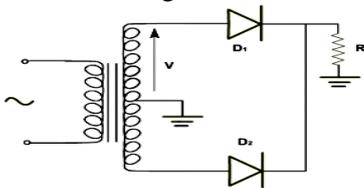
Ada 3 (tiga) jenis rangkaian penyearah yang dikenal dalam dunia elektrik maupun elektronik [7].

a. *Penyearah Setengah Gelombang*, seperti pada gambar. Penyearah jenis ini jarang digunakan.



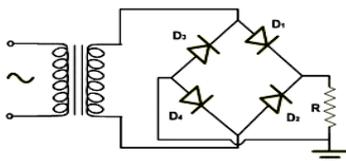
Gambar 5. Penyearah setengah gelombang

b. *Penyearah Gelombang Penuh*, seperti pada gambar. Penyearah jenis ini menggunakan 2 (dua) buah dioda dengan transformator yang titik nol berada di tengah.



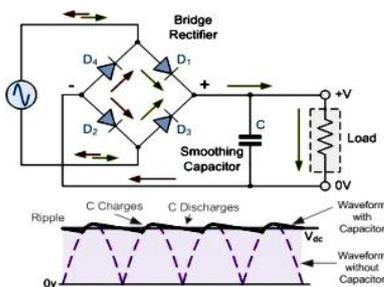
Gambar 6. Penyearah Gelombang Penuh

c. *Penyearah Gelombang Penuh Tipe Jembatan (Bridge)* seperti terlihat pada gambar. Jenis penyearah ini menggunakan empat buah dioda.



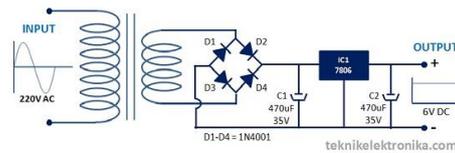
Gambar 7. Penyearah Gelombang Penuh Tipe Jembatan.

Untuk memperbaiki atau menghaluskan output dari rangkaian penyearah, maka dapat digunakan kapasitor elektrolit yang dihubungkan pada output penyearah tersebut.



Gambar 8. Kapasitor sebagai penghalus gelombang

Berikut contoh DC power suplay (adaptor) yang dilengkapi dengan IC Regulator [8].



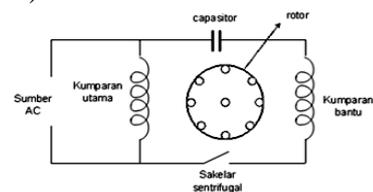
Gambar 9. Rangkaian DC Power Suplay.

### 2.3 Motor Listrik (Motor Induksi)

Motor induksi merupakan motor listrik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat. Motor ini mempunyai konstruksi yang sederhana, kuat dan mudah dioperasikan [9]. Disebut motor induksi karena arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu tetapi merupakan arus yang terinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator [10]. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip [11]. Bertambahnya beban akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor akan bertambah besar.

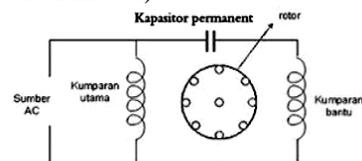
Untuk mengimbangi beban yang besar, maka pada motor induksi dapat dipasang pula kumparan bantu pada stator yang dilengkapi dengan kapasitor dan sebuah saklar yang bekerja akibat adanya gaya sentrifugal pada rotor. Dengan dipasangnya kapasitor pada kumparan bantu, maka akan timbul beda fasa 90° antara arus pada kumparan utama dan arus kumparan bantu dan karenanya diperoleh kopel mula yang lebih besar. Menurut hubungan kapasitor, terdapat 3 (tiga) tipe motor kapasitor, yaitu :

1) Motor kapasitor start (starting capacitor motor)



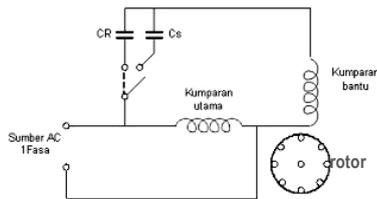
Gambar 10. Skema Motor Kapasitor Start

2) Motor kapasitor tetap/running (permanent capacitor motor)



Gambar 11. Skema Motor Kapasitor Tetap / Running

3) Motor kapasitor start-running (start-running capacitor motor)



Gambar 12. Skema Motor Kapasitor Start-Running

Motor kapasitor merupakan salah satu jenis motor induksi yang menggunakan kapasitor dalam konstruksinya [10].

Motor listrik jenis kapasitor banyak dipakai untuk keperluan rumah seperti kompresor, pompa air, mesin pendingin, yang memang memerlukan kopel mula yang cukup besar [12].

Dengan demikian, dapat kita ketahui bahwa sebenarnya, mesin pompa air merupakan salah satu jenis motor listrik dengan tipe motor kapasitor.



Gambar 13. Contoh Mesin Pompa Air

## 2.4 Metode dan Bahan Yang Digunakan

Desain *automatic control system* ini menggunakan metode sistem kontrol lup tertutup. Sistem kontrol lup tertutup merupakan sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Sistem ini adalah sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran dan turunannya), diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati nilai yang diinginkan [13].

Desain ini menggunakan rangkaian sederhana yang terdiri dari 3 (tiga) buah relay DC dan 3 buah sensor level air serta 1 buah adaptor AC-DC.

*Automatic control system* ini merupakan rangkaian sangat sederhana sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhan penggunaan pompa. Jika pompa yang berkapasitas kecil, dapat digunakan relay kapasitas kecil, sebaliknya jika pompa kapasitas besar, digunakan relay kapasitas besar, atau bahkan dapat menggunakan jenis kontaktor daya.

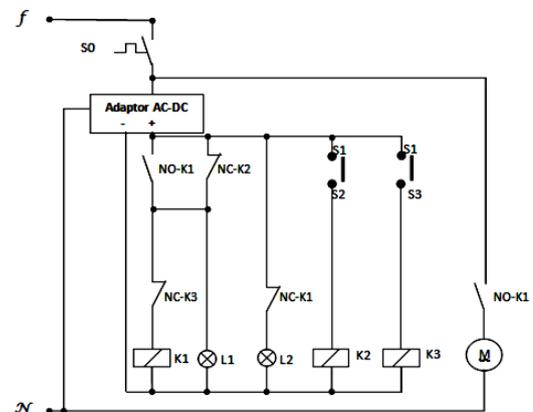
Selain bahan-bahan pokok diatas, terdapat pula beberapa bahan lain yang perlu dipersiapkan antara lain :

- 2 buah lampu indikator (hijau dan merah)
- 3 buah baut stainless steel
- 2 meter pipa PVC ½”
- 2 buah sambungan cabang pipa PVC ½”
- 2 buah sambungan belokan 90<sup>0</sup> pipa PVC ½”
- 4 buah dop pipa PVC ½”
- Kabel NYHY 3x0,75 mm<sup>2</sup> secukupnya.
- 1 buah box, ukuran 20 cm x 20 cm x 15 cm

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Cara Kerja Alat Kontrol Pompa Air

Cara kerja alat kontrol pompa air dengan rangkaian relay dan elektroda celup sebagai sensor level air, dapat dijelaskan berdasarkan Gambar 14.



Gambar 14. Skematik diagram alat kontrol

#### Keterangan Gambar :

$f$  dan  $N$  = Kabel Sumber Listrik AC

$S_0$  = MCB

$S_1$  = Sensor yang terendam

$S_2$  = Sensor level bawah

$S_3$  = Sensor level atas

■ = Permukaan air dalam tangki

$K_1$  = Relay 1 ;  $K_2$  = Relay 2 ;  $K_3$  = Relay 3

NO-K1 = Kontak NO Relay 1

NC-K2 = Kontak NC Relay 2

NC-K3 = Kontak NC Relay 3

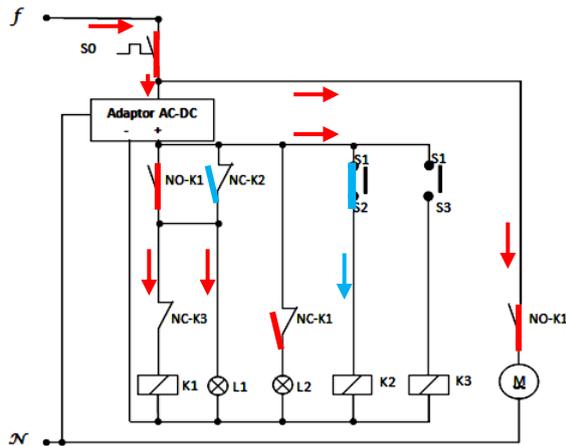
$L_1$  =  $L_2$  = lampu indikator

$M$  = Mesin Pompa Air

Bila kita mencermati gambar 14 di atas, maka kondisi seperti ini adalah kondisi dimana tangki air dalam keadaan kosong (sensor terbuka), maka cara kerja rangkaian kontrol adalah sebagai berikut :

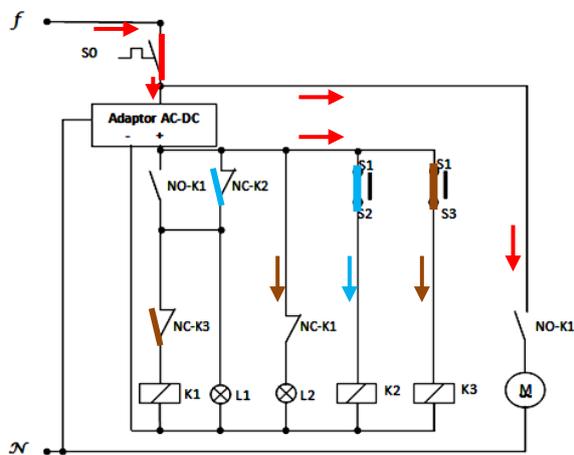
- 1) Ketika kabel listrik dihubungkan ke sumber listrik dan MCB  $S_0$  di-ON-kan maka arus listrik akan mengalir melalui Adaptor AC-DC dan diteruskan ke relay  $K_1$  melalui kontak NC-K2 dan NC-K3. Saat relay  $K_1$  bekerja maka kontak NO-K1 mengunci dan

mengalirkan arus ke motor pompa sehingga pompa bekerja untuk memompa air ke tangki penampung. Pada saat yang bersamaan kontak NO-K1 yang terhubung dengan kontak NC-K2 mengunci sehingga jika air mulai terisi dan sensor S1 terhubung dengan sensor S2 yang mengakibatkan relay K2 bekerja, maka relay K1 tetap bekerja karena arus mengalir melalui kontak NO-K1 yang telah mengunci dan lampu tanda L1 menyala. Kondisi kerja I ini ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Kondisi kerja I.

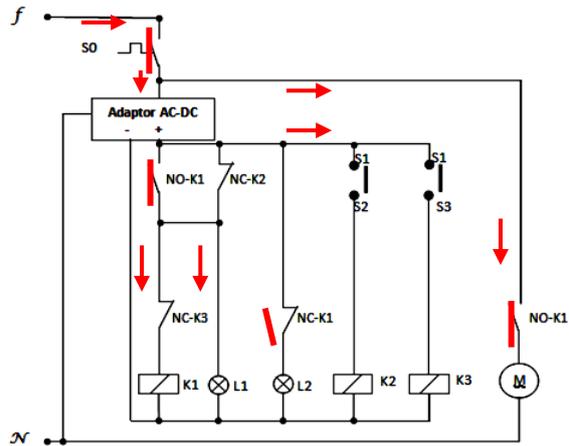
- 2) Ketika air dalam tangki naik sampai pada level atas dan sensor S3 terhubung dengan S1, maka relay K3 bekerja dan memutuskan aliran arus ke relay K1 melalui kontak NC-K3, sehingga kontak NO-K1 yang menghubungkan arus ke pompa terbuka dan arus terputus yang mengakibatkan pompa berhenti bekerja. Pada saat yang bersamaan, lampu tanda L2 akan menyala karena mendapat aliran melalui kontak NC-K1. Kondisi kerja II ini, ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Kondisi kerja II.

- 3) Ketika air dalam tangki mulai turun, sensor S3 dan S1 terputus, mengakibatkan relay K3

terputus dan tidak bekerja sehingga kontak NC-K3 kembali terhubung. Dan saat air sampai pada level bawah dan hubungan antara sensor S2 dan S1 terputus, maka kontak NC-K2 kembali terhubung sehingga arus mengalir dan mengakibatkan relay K1 bekerja dan lampu tanda L1 kembali menyala. Dengan demikian pompa akan kembali bekerja secara otomatis (Gambar 17).



Gambar 17. Kondisi kerja III.

Secara singkat kondisi kerja rangkaian kontrol ini, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kondisi kerja rangkaian

S0	S1-S2	S1-S3	K1	K2	K3	L1	L2	M	Kondisi Kerja Rangkaian
OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	Semua kontak terbuka. Rangkaian dalam kondisi tidak bekerja.
ON	1	0	1	1	0	1	0	1	NO-K1 terhubung; NC-K2 terbuka; NC-K1 terbuka. Pompa bekerja dan air masuk ke dalam tangki.
ON	1	1	0	1	1	0	1	0	NC-K3 terbuka; NO-K1 terbuka; NC-K1 terhubung. Air penuh dan pompa berhenti.
ON	0	0	1	0	0	1	0	1	NC-K2 terhubung; NO-K1 terhubung; NC-K3 terhubung. NC-K1 terbuka. Air mencapai level bawah dan pompa kembali bekerja.
ON	1	0	1	1	0	1	0	1	NO-K1 terhubung ; NC-K2 terbuka; NC-K1 terbuka. Pompa bekerja dan air masuk ke dalam tangki.
ON	1	1	0	1	1	0	1	0	NC-K3 terbuka; NO-K1 terbuka; NC-K1 terhubung. Air penuh dan pompa berhenti.
OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	Semua kontak terbuka. Rangkaian dalam kondisi tidak bekerja.

Demikian kondisi kerja ini akan berulang selama MCB S0 masih dalam keadaan ON, dan

bila MCB S0 di-OFF-kan maka seluruh rangkaian terputus.

### 3.2 Tata Letak Alat Kontrol dan Sensor.

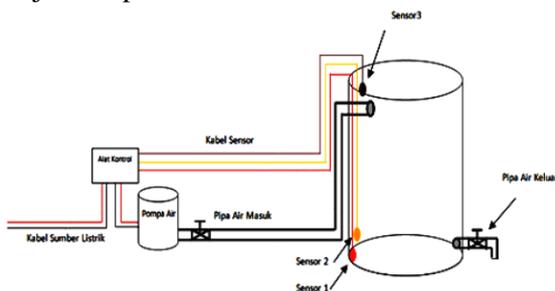
Tata letak peralatan kontrol didesain agar dapat diletakkan dekat pompa. Itu berarti peralatan kontrol ini akan berada di ruang mesin dimana pompa air tawar diletakkan.

Dalam hal ini, sistem perpipaan tidak ada pengaruhnya dengan tata letak, karena yang didesain hanyalah peralatan kontrol automatic systemnya saja.

Sementara letak sensor level air tetap berada dalam tangki dengan posisi sebagai berikut :

- Sensor 1, terletak di dasar tangki dan selalu terendam air, sebagai common sensor.
- Sensor 2, terletak di bagian bawah tangki lebih kurang 10 cm dari Sensor 1, dan berfungsi sebagai sensor level bawah (bottom level sensor).
- Sensor 3, terletak di bagian atas tangki, lebih kurang 10 cm dari penutup tangki, dan berfungsi sebagai sensor level atas (top level sensor).

Posisi sensor ini akan didesain menggunakan baut yang dipasang pada pipa paralon (PVC) ½”, sehingga yang terkena air hanyalah bautnya saja. Tata letak peralatan dan posisi sensor dalam tangki ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Tata Letak Sensor Dalam Tangki

### 3.3 Desain Rangkaian Alat Kontrol dan Pemasangan Sensor Level Air.

Berdasarkan gambar skematik (gambar 14), maka alat kontrol pompa air sebagai bagian utama dari *automatic control system* ini, maka rangkaian alat kontrol ini didesain dengan urutan perakitan sebagai berikut :

- 1) Siapkan box kayu, untuk meletakkan seluruh material sistem kontrol, kecuali sensor yang nantinya akan diletakkan dalam tangki.
- 2) Siapkan rangkaian adaptor, sebagai power suplay pada rangkaian kontrol dan diletakkan dalam box dengan bagian aliran masuk AC terhubung ke terminal strip yang telah dipasang pada bagian tepi box (bagian input).

- 3) Siapkan ketiga relay, yang berfungsi sebagai saklar magnetik untuk menghubungkan dan memutuskan aliran ke pompa. Relay diletakkan dalam box, dengan kabel sensor dan kabel pompa, terhubung ke terminal strip (bagian output).

- 4) Hubungkan rangkaian adaptor ke relay dan lampu indikator sesuai gambar skematik diagram (gambar 14). Kabel yang akan dihubungkan dengan sumber listrik dan pompa, dihubungkan ke terminal strip.

- 5) Rangkaian kontrol siap digunakan.

Demikian pula pemasangan sensor level air didesain sesuai dengan tata letak pada gambar 18. Pemasangan sensor ini dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

- 1) Siapkan pipa paralon (PVC) ½” dengan panjang sesuai tinggi tangki. Kemudian potong pipa untuk penempatan sensor bawah dan sensor atas, yang disambung dengan menggunakan sambungan cabang T.
- 2) Masukkan kabel sensor (kabel NYMHY 3 x 0,75 mm<sup>2</sup>) dengan ujung kabel pertama untuk common sensor yang terletak di ujung bawah pipa (terletak pada dasar tangki); ujung kabel kedua untuk bottom level (kira-kira 10 cm dari common sensor); dan ujung kabel ketiga untuk top level (kira-kira 10 cm dari penutup tangki).
- 3) Pasangkan dop yang telah dipasang mur baut pada ujung pipa bagian bawah untuk common sensor. Sedangkan untuk sensor bawah dan sensor atas, dop dipasang pada ujung sambungan cabang T yang telah diberi sepotong pipa.
- 4) Pada ujung pipa bagian atas, yang keluar melalui lubang penutup tangki, dipasang sambungan belokan 90<sup>o</sup>, sehingga kabel tetap terlindungi.
- 5) Kabel sensor dari tangki dihubungkan ke terminal strip pada box kontrol, sesuai urutan pada gambar skematik diagram (gambar 14).
- 6) Seluruh sistem siap untuk digunakan.

### 3.4 Desain Automatic Control System Pompa Air Tawar Pada Kapal Rakyat

*Automatic control system* pompa air tawar pada kapal kayu (kapal rakyat) didesain sedemikian rupa sehingga tidak tergantung pada sistem perpipaan yang ada. Dalam hal ini, hanya terfokus pada peralatan kontrol yang didesain sebagai *automatic control system* pompa air tawar pada kapal.

Sesuai dengan cara kerja dan gambaran letak peralatan kontrol, serta posisi sensor dalam tangki, maka letak box kontrol (tempat peralatan kontrol)



- Kumparan yang Tidak Identik Sama (Studi Kasus: Daya Keluaran dan Efisiensi Motor),” *Jurnal EECCIS*, vol. 12, no. 2, pp. 89–92, 2018.
- [10] A. Defarian, S. Sutikno, and R. Rinaldi, “Pemodelan Dan Simulasi Motor Kapasitor Pada Kondisi Variable Speed,” *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 4, no. 2, pp. 1–15, 2017.
- [11] M. Naim, “Pengaruh Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi Satu Phasa Starting Kapasitor Pada Mesin Bor Meja Terhadap Arus dan Daya listrik serta Putaran Motor,” *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 34–43, 2020, doi: 10.26618/jte.v12i2.4228.
- [12] M. Robith, “Prinsip Kerja Motor Induksi 1 Fasa,” 2015. <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-induksi-1-fasa/>.
- [13] I. Mardjun *et al.*, “Rancang Bangun Solar Tracking Berbasis Arduino Uno,” *Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 19–24, 2018.

## PERILAKU CHAOS ALIRAN FLUIDA BERDENYUT DALAM SALURAN BERPENAMPANG SEGIEMPAT

Prayitno Ciptoadi<sup>1\*</sup>, M. F. Noya<sup>2</sup> dan, G. S. Norimarna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97234

\*Email: [pciptoadi69@gmail.com](mailto:pciptoadi69@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97234

Email: [mfnoya@fatek.unpatti.ac.id](mailto:mfnoya@fatek.unpatti.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97234

Email: [gsnorimarna@fatek.unpatti.ac.id](mailto:gsnorimarna@fatek.unpatti.ac.id)

**Abstrak.** Aliran fluida berdenyut di dalam saluran beralur melintang akan menjadi aliran chaos meskipun pada bilangan Reynold yang rendah. Bilangan Reynold dimana aliran mengalami chaos dipengaruhi oleh jarak antar alur. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh jarak alur terhadap perilaku chaos. Penelitian dilakukan pada sebuah saluran tertutup berpenampang segiempat yang diberi alur setengah lingkaran pada dinding bagian bawah. Pengukuran frekuensi osilasi aliran dilakukan dengan menggunakan sensor tahanan yaitu jembatan Wheatstone dimana sensor tahanan dipasang dalam manometer pipa U. Pengukuran dilakukan terhadap aliran pada beberapa bilangan Reynold. Hasil penelitian menunjukkan aliran fluida periodik dalam saluran yang beralur melintang telah mengalami chaos pada bilangan Reynold Re 950 untuk saluran tanpa alur dan bilangan Reynold Re 700 untuk saluran beralur. Terjadinya chaos ini diakibatkan oleh timbulnya *vortex* pada setiap perlakuan.

Kata kunci: Aliran berdenyut, saluran beralur, *vortex*, chaos.

**Abstract.** *The pulsatile fluid flow in a transverse grooved channel would becomes chaotic flows in low Reynold numbers. The Reynold number where flows become chaos depends on grooves distances. The objective of this research is to analyze the effect of grooves distances toward the behaviour of chaos. This research was done by implementing a closed square cross section channel, where the bottom surface of the channel was semicircle grooved. The frequency of flow oscillation measurement was done by setting up a resistance sensor that is Wheatstone bridge where the resistance sensor was located in a U manometer. Measurement was done at severals Reynold number. From the research result it is seen that the periodic fluid flows in the transverse grooved channel had became chaos at Reynold number Re 950 in channel without grooved and at Reynold number Re 700 in grooved channel. Chaos took placed since vortex appeared at every treatment.*

*Keywords: Pulsatile flow, grooved channel, vortex, chaos.*

### 1. PENDAHULUAN

Chaos (*chaotic*) adalah istilah yang diberikan kepada sistem-sistem fisis dan matematis deterministik (*deterministic*) yang bergerak dimana jejak sistem-sistem tersebut sensitif terhadap kondisi awal (*sensitive dependence on initial condition*). Harus dibedakan istilah gerakan acak (random motion) dan gerakan chaos (*chaotic*

*motian*). Istilah gerakan acak diperuntukan bagi masalah dimana sama sekali tidak diketahui gaya-gaya input atau hanya diketahui beberapa parameter secara statistik. Sedangkan istilah gerakan chaos diperuntukan bagi masalah deterministik dimana tidak ada input atau parameter yang acak atau tak terprediksi [1]. Dengan kata lain, sistem deterministik adalah

sistem dimana persamaan atur (*governing equation*) dan kondisi awal sistem tersebut diketahui. Meskipun banyak gerak sederhana yang dapat diprediksi kondisinya yang akan datang, tetapi gerak yang rumit seperti gerak yang tidak periodik (*non-periodic motion*) tidak dapat diprediksi kondisinya yang akan datang. Perbedaan hasil prediksi ini disebabkan oleh ketidaklinearan persamaan atur (*non-linearity of the governing equations*). Hal ini menunjukkan bahwa ketidaklinearan memunculkan gerak rumit yang tidak dapat diprediksi, yaitu: gerakan chaos. Dengan kata lain, kita dapat memprediksi gerak rumit, yang selama ini dianggap tidak dapat diprediksi, jika kita memahami ketidaklinearan. Pemahaman tentang dinamika non-linear adalah kunci untuk melangkah ke bidang sains dan teknologi abad ke-21 [2].

Chaos ditandai dengan munculnya atraktor aneh (*strange attractor*). Terdapat tiga jenis gerak dinamik klasik yaitu: 1. Kesetimbangan (*equilibrium*), 2. Gerak Periodik atau Siklus Terbatas (*Periodic Motion or Limit Cycle*), 3. Gerak Kuasiperiodik (*Quasiperiodic Motion*). Ketiga jenis gerak tersebut dinamakan Atraktor (*attractor*) karena jika redaman pada suatu sistem transient ditiadakan, sistem akan "ditarik" ke salah satu jenis gerak diatas. Terdapat satu jenis gerak lain dalam dinamika non-linear yang tidak termasuk ke salah satu dari ke tiga jenis atraktor klasik di atas. Jenis gerak baru ini adalah gerak chaos yang bermakna tidak dapat diprediksi jika terjadi suatu ketidakpastian kecil pada kondisi awal, dan sering juga dihubungkan dengan keadaan gerak yang dinamakan atraktor aneh (*strange attractor*). Aspek lain dari chaos yaitu terjadinya bifurkasi (*bifurcation*) yaitu berpindahnya titik stabilitas dan berubahnya jumlah titik kesetimbangan suatu sistem dinamik jika parameter sistem berubah. Diagram bifurkasi dari suatu sistem dinamik menyajikan keadaan transisi antara jenis gerak berbeda yang terjadi jika parameter sistem berubah. Sumbu horizontal diagram bifurkasi adalah parameter sistem sedangkan sumbu vertikal adalah atraktor [3].

Pada aliran laminar di dalam saluran beralur melintang terdapat dua daerah aliran: (i) aliran utama dalam saluran dan (ii) aliran *vortex* resirkulasi dalam alur. Dua daerah tersebut dipisahkan oleh lapisan geser bebas (*free shear layer*). Dalam kondisi stedi, tidak ada pertukaran fluida antara kedua daerah ini. Salah satu kemungkinan untuk meningkatkan laju transport dalam saluran beralur adalah memperbaiki pencampuran lateral (*lateral mixing*) dengan mengganggu lapisan geser pemisah antara aliran

utama dan aliran resirkulasi dalam alur. Gerakan aliran utama dari hulu ke hilir mengalami defleksi ke dalam alur pada Re 50 sementara aliran *vortex* di dalam alur bergerak ke hilir seiring meningkatnya Re. Osilasi aliran terjadi akibat aliran stedi menjadi tidak stabil karena mengalami bifurkasi pada bilangan Reynold kritis tertentu. Ketidakstabilan ini muncul karena dipicu oleh munculnya *Tollmien-Schlichting wave*. Aliran yang berosilasi menginduksi tegangan Reynold (*Reynold stress*) dan mampu meningkatkan difusi momentum yaitu mengangkut energi dari aliran utama ke aliran osilasi dan mempertahankannya. Akibatnya rugi tekanan (*pressure drop*) dari aliran utama meningkat. Ketidakstabilan Kelvin-Helmholtz terbentuk pada tepi alur disebabkan oleh formasi pelengkungan lintasan profil kecepatan, menekan gelombang *Tollmien-Schlichting* di bagian luar alur dan memproyeksikan energi padanya. Akibat dari interaksi kompleks, menghasilkan gelombang berjalan dua dimensi (*two-dimensional traveling waves*) pada bilangan Re cukup rendah [4].

Aliran laminar dalam saluran beralur yang bertujuan untuk meningkatkan laju transport banyak dijumpai. Dalam bidang teknik seperti alat penukar kalor (*compact heat exchanger*), sistem pendingin mikroelektronik dan juga dalam bidang kedokteran serta biokimia [5]. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengetahui perilaku aliran fluida dalam saluran beralur melintang. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan pada berbagai kondisi aliran baik kontinyu maupun berdenyut dan berbagai bentuk alur seperti segiempat, segitiga atau setengah lingkaran namun jarak alur tetap. Oleh karena itu penelitian ini memberikan data perilaku chaos aliran fluida berdenyut dalam saluran beralur melintang dengan jarak alur yang berubah-ubah.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Teori

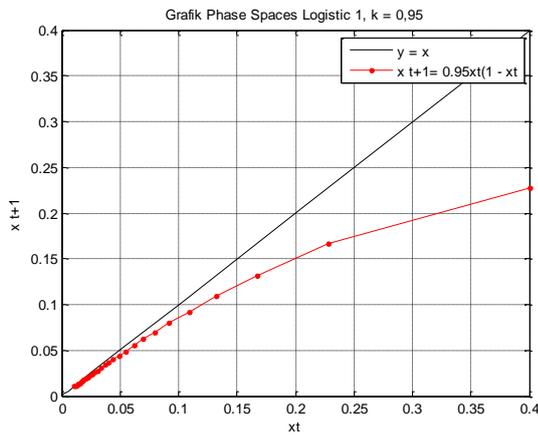
Chaos terjadi jika terdapat ketidaklinearan [6]. Fungsi kuadrat  $y = ax^2 + bx + c$ , jika dibuat  $c = 0$  dan  $a = -b$  akan menjadi  $y = -bx^2 + bx = bx(1 - x)$  [7]. Persamaan di atas dikenal sebagai Persamaan Logistik yang jika diiterasikan dengan bentuk [8].

$$x_{t+1} = kx_t(1 - x_t), \text{ dengan } k = b \quad (1)$$

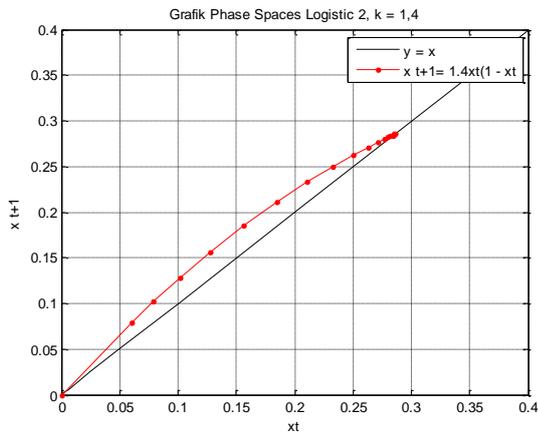
akan menunjukkan perilaku chaos. Hasil iterasi untuk  $k = 0,95$  konvergen ke 0,  $k = 1,4$  konvergen ke 0,286,  $k = 2,8$  konvergen ke 0,643 seperti terlihat pada Gambar 1, 2, dan 3. Selanjutnya hasil iterasi untuk  $k = 3,4$  telah terjadi bifurkasi dengan terbentuk dua titik kesetimbangan yang

berbeda yaitu: 0, 452 dan 0, 842 seperti terlihat pada Gambar 4.

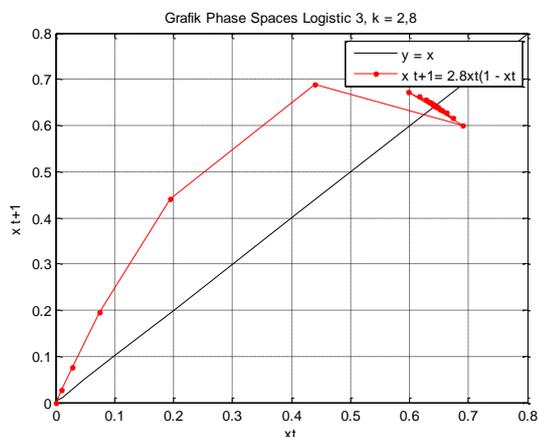
Selanjutnya hasil iterasi untuk  $k = 3,75$  terjadi bifurkasi dengan terbentuk banyak sekali titik kesetimbangan yang mengindikasikan sistem sepenuhnya dalam keadaan chaos seperti pada gambar 5. Fenomena ini membuktikan bahwa sistem dinamik yang non-linear sensitif terhadap kondisi awal.



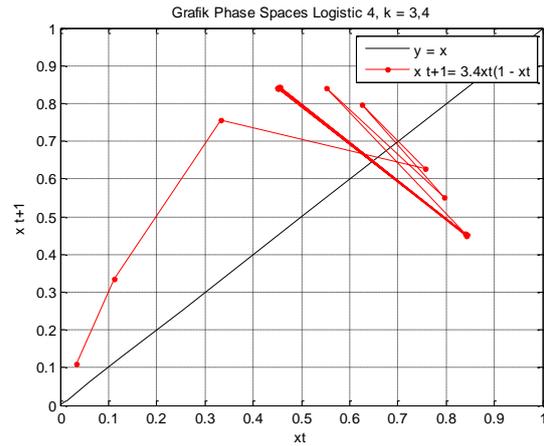
Gambar 1. Diagram ruang fasa persamaan logistik  $k = 0,95$



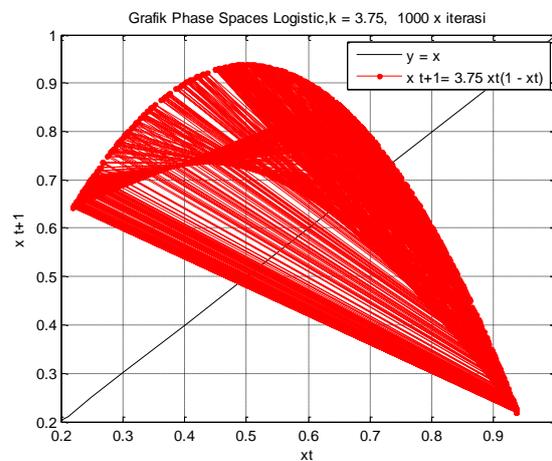
Gambar 2. Diagram ruang fasa persamaan logistik  $k = 1,4$



Gambar 3. Diagram ruang fasa persamaan logistik  $k = 2,8$

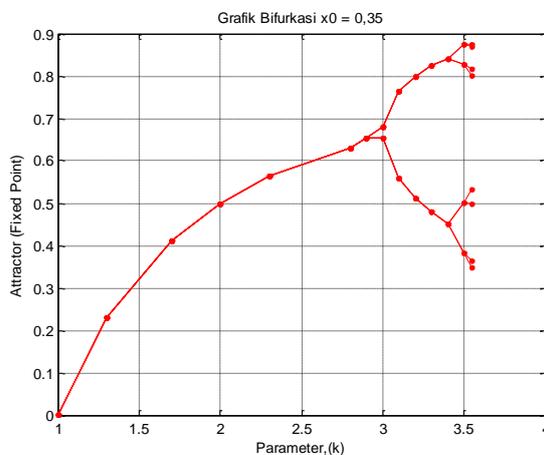


Gambar 4. Diagram ruang fasa persamaan logistik  $k = 3,4$

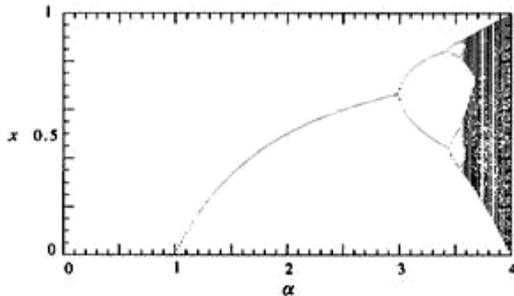


Gambar 5. Diagram ruang fasa persamaan logistik  $k = 3,75$

Diagram bifurkasi persamaan logistik untuk  $k = 0,95$  sampai dengan  $3,6$  diperlihatkan pada gambar 6, sedangkan diagram bifurkasi persamaan logistik sepenuhnya chaos diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 6. Diagram bifurkasi persamaan logistik dengan  $k = 0,95 - 3,6$



Gambar 7. Grafik bifurkasi persamaan logistik [9]

Karakteristik osilasi aliran ditentukan oleh bilangan Strouhal  $Str$  dengan persamaan [10].

$$Str = \frac{fh}{U} \tag{2}$$

dengan  $f$  = frekuensi osilasi aliran, Hz  
 $h$  = tinggi saluran, m  
 $U$  = kecepatan fluida, m.det<sup>-1</sup>

Gerakan fluida diatur oleh persamaan *Navier Stokes* yang ditulis dalam notasi vektor sebagai berikut [10].

$$\rho \left[ \frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U \right] = -\nabla p + \rho g + \mu \nabla^2 U \tag{3}$$

dengan:

- $\mu$  = viskositas dinamik, N.det.m<sup>-2</sup>
- $p$  = tekanan fluida, N.m<sup>-2</sup>
- $\rho$  = densitas fluida, kg. m<sup>-3</sup>
- $g$  = percepatan gravitasi, m.det<sup>-2</sup>
- $t$  = waktu, det

Didefinisikan *vorticity vector*  $\Omega$ , suatu ukuran dari efek rotasi lokal elemen fluida [10].

$$\Omega = \text{curl } U = 2 \times \omega \tag{4}$$

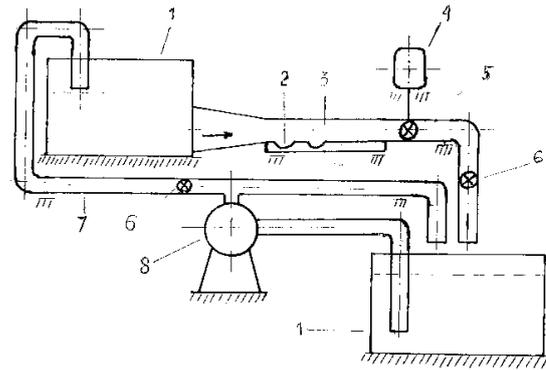
Jika diambil curl dari persamaan (3) diperoleh persamaan transport vorticity [11]

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + (U \cdot \nabla)\Omega = (\Omega \cdot \nabla)U + \nu \nabla^2 \Omega \tag{5}$$

### 2.2 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan seperti pada gambar 8. Saluran dibuat dari bahan tembus pandang (mika) berpenampang segiempat. Ukuran saluran adalah panjang  $l = 450$  mm, lebar  $W = 120$  mm, tinggi  $h = 14$  mm. Bagian atas saluran dibuat rata sedangkan bagian bawah diberi alur (*groove*). Alur dibuat berbentuk setengah lingkaran dengan ukuran jari-jari  $r = 11,5$  mm.

Jumlah alur yang digunakan dua buah dengan jarak antar alur  $L$  dibuat periodik terhadap keliling alur  $K$  yaitu  $\frac{1}{2} K$  (G1),  $\frac{3}{4} K$  (G2) dan  $K$  (G3) dengan  $K = 72,22$  mm.



Gambar 8. Instalasi penelitian

Kerangan:

1. Tandon air
2. Alur setengah lingkaran
3. Saluran
4. Motor listrik
5. Katup denyut
6. Katup pengatur aliran
7. Pipa-pipa
8. Pompa

Agar aliran dapat berdenyut, sebuah katup denyut yang digerakan oleh motor listrik dengan kecepatan putar 66 rpm ditempatkan pada bagian hilir saluran. Sebagai pembanding digunakan juga saluran tanpa alur (G0). Fluida kerja yang digunakan adalah air, kondisi aliran laminar dua dimensi. Variabel penelitian meliputi variabel bebas yaitu: Bilangan Reynold  $Re$  dan Jarak antar alur  $L$  sedangkan variabel terikat yaitu: frekuensi osilasi aliran.

### Teknik Pengambilan data

#### 1. Pengukuran Debit Aliran

Pengukuran debit aliran  $Q$ , berdasarkan volume air yang mengalir per satuan waktu. Volume air yang mengalir diatur melalui pembukaan katup yang ditempatkan sebelum dan sesudah saluran beralur. Data debit aliran digunakan untuk menentukan kecepatan aliran fluida dan bilangan Reynold. Kecepatan aliran fluida = debit aliran dibagi luas penampang saluran ( $U = Q/A$ ) sedangkan bilangan Reynold  $Re$  dihitung dengan menggunakan persamaan [12].

$$Re = \frac{U h}{\nu} \tag{6}$$

dengan,

$U$  = laju aliran, m.det<sup>-1</sup>

$h$  = tinggi saluran, m

$\nu$  = viskositas kinematik ( $1,007 \times 10^{-6}$ , m<sup>2</sup> det<sup>-1</sup>)

Hasil perhitungan kecepatan aliran dan  $Re$  dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan kecepatan aliran dan bilangan Reynold

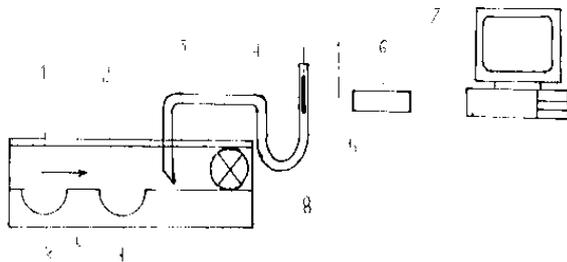
No	Re	Q, m <sup>3</sup> det <sup>-1</sup>	U, mdet <sup>-1</sup>
1	200	2,42 x 10 <sup>-5</sup>	0,0144
2	450	5,44 x 10 <sup>-5</sup>	0,032
3	700	8,46 x 10 <sup>-5</sup>	0,050
4	950	1,15 x 10 <sup>-4</sup>	0,068
5	1200	1,45 x 10 <sup>-4</sup>	0,086

Sumber: Hasil pengukuran (data diolah)

## 2. Pengambilan Data Fluktuasi Kecepatan Aliran

Pengambilan data seperti terlihat pada gambar 9. Data diambil menggunakan sensor tegangan (salah satu tahanan jembatan Wheatstone) yang ditempatkan di dalam manometer yang berisi air.

Manometer dihubungkan dengan saluran sedangkan sensor dihubungkan dengan ADC. Data ini ditampilkan pada monitor komputer dalam bentuk grafik dan teks kemudian disimpan dalam bentuk teks. Untuk menjamin keakuratan, jumlah data yang diambil adalah 400 data per detik dan dilakukan 5 kali pengulangan untuk tiap perlakuan. Pengambilan data ini diulangi untuk beberapa nilai variabel bebas.



Gambar 9. Pengukuran fluktuasi kecepatan aliran fluida

Keterangan:

1. Saluran
  2. Alur setengah lingkaran
  3. Pipa plastik
  4. Manometer
  5. Sensor tegangan
  6. ADC
  7. PPI card dan komputer
  8. Katup denyut
- L: Jarak antar alur

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data fluktuasi kecepatan diolah dengan menggunakan program FFT untuk memperoleh frekuensi-frekuensi yang dominan dari tiap-tiap perlakuan. Selanjutnya dari data-data tersebut dihitung bilangan Strouhal Str.

## Kekuatan Vortex

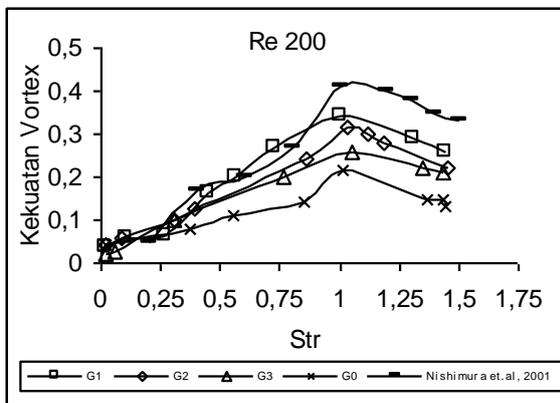
Kekuatan vortex digambarkan dengan bilangan Strouhal, Str dan Energi Kinetik yang dikandung oleh vortex. Pada aliran fluida laminar dalam saluran beralur akan terbentuk *shear layer* antara aliran utama dalam saluran dan aliran resirkulasi dalam alur. Untuk aliran yang berdenyut, pada fase akselerasi (katup denyut mulai membuka) *shear layer* mulai mengalami separasi. Sebuah *vortex* utama terbentuk dalam alur pada tepi atas sisi hulu. Pada saat laju aliran utama maksimum (katup denyut terbuka penuh) vortex utama memenuhi seluruh bagian alur. Ketika fase deselerasi (katup denyut mulai tertutup) vortex utama berkembang hingga keluar dari tepi alur. Disamping itu terbentuk vortex tambahan pada saluran rata dekat dinding bagian atas dengan tanda yang berlawanan dengan vortex utama. Kedua vortex yang berpasangan (*vortices*) tersebut memenuhi keseluruhan saluran pada saat laju aliran utama minimum (katup denyut tertutup). Setelah itu vortex tambahan menghilang. Proses ini berlangsung terus mengikuti osilasi aliran utama [4].

Dari fenomena di atas dapat dilihat bahwa terjadi penggabungan vortex (*merging*) ketika laju aliran utama minimum. Proses ini didominasi oleh efek tak stedi ( $\partial\Omega/\partial t$ ) dan efek kekentalan ( $\nu V^2/\Omega$ ) dari persamaan (4) sedangkan efek inersia non linear  $(U \cdot V)\Omega$  berkurang. Pertumbuhan vortex utama di dalam alur selama fase deselerasi menimbulkan semprotan (*ejection*) fluida di dalam alur dan menghasilkan pertukaran partikel-partikel fluida antara alur dan saluran melintasi *shear layer* [12]. Interaksi antara vortex utama di dalam alur dan vortex tambahan di dalam saluran juga meningkatkan pencampuran (*mixing*) fluida yang didominasi oleh efek *vortex-stretching*  $(\Omega \cdot V)U$  dari persamaan (4) [13]. Pertukaran partikel-partikel fluida antara alur dan saluran dihubungkan dengan kekuatan vortex utama dan transport momentum osilasi melintasi *shear layer* tergantung pada bilangan Re dan bilangan Str. Hubungan antara kekuatan vortex dan bilangan Re 200 dapat dilihat pada gambar 10.

Dari grafik pada gambar 10 terlihat bahwa kekuatan vortex meningkat seiring meningkatnya bilangan Str. Kekuatan vortex mencapai nilai maksimum pada bilangan Str tertentu disebabkan pada nilai bilangan Str tersebut telah terjadi *self sustained oscillatory flow*. Kondisi ini dikarenakan oleh kecepatan aliran osilasi di dalam alur telah mencapai kecepatan aliran utama di dalam saluran dimana terjadi peningkatan amplitudo vortex utama dan munculnya vortex tambahan. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa

nilai bilangan Str pada mana kekuatan *vortex* maksimum untuk  $G1 < G2 < G3$ . Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi antara *vortex-vortex* utama dalam dua alur dipengaruhi oleh jarak antar alur. Interaksi akan lebih kuat dan lebih cepat mencapai nilai maksimum pada jarak antar alur paling pendek. Untuk saluran tanpa alur kekuatan *vortex* hanya tergantung pada osilasi aliran utama dan nilainya kecil dibandingkan dengan nilai kekuatan *vortex* pada saluran beralur.

Grafik bilangan Str vs kekuatan *vortex* diverifikasi dengan penelitian [12] pada bilangan Re 200. Kekuatan *vortex* maksimum dari Nishimura *et. al.*, (2001) lebih tinggi karena faktor geometri alur. Pada penelitian mereka digunakan alur berbentuk segiempat dengan panjang alur dua kali kedalamannya.

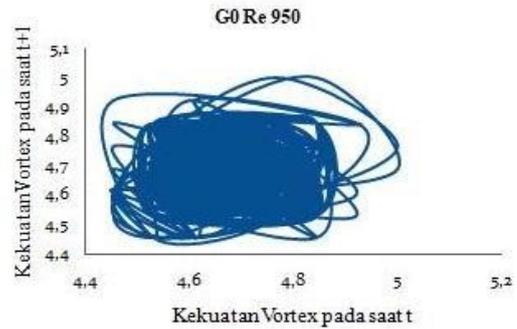


Gambar 10. Grafik kekuatan *vortex* vs Str

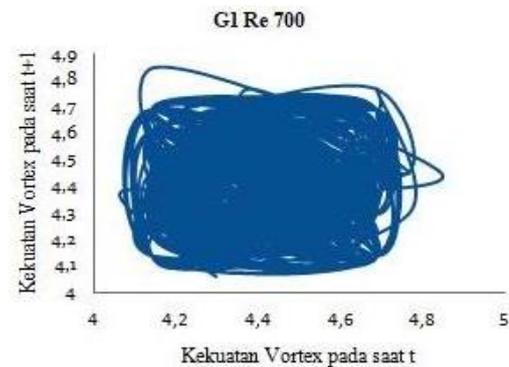
**Chaos Pada Aliran Fluida**

Tumbuh dan bergabungnya *vortex* memicu ketidakstabilan aliran fluida yang menyebabkan chaos. Pada aliran fluida dengan bilangan Rendah yang idealnya aliran dalam kondisi laminar telah muncul atraktor aneh yang mengindikasikan aliran fluida mengalami chaos. Hal ini membuktikan bahwa aliran fluida laminar yang teratur berpotensi menjadi chaos apabila kondisi awalnya terganggu. Aliran chaos ini berperan penting dalam proses peningkatan perpindahan panas [6].

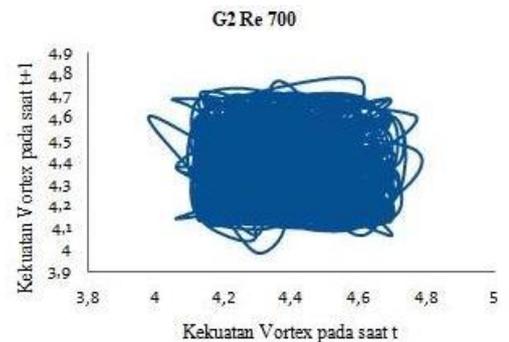
Atraktor aneh aliran fluida dalam saluran pada perlakuan dengan jarak alur berubah-ubah dapat dilihat pada diagram ruang fasa (*phase space diagram*) seperti Gambar 11 sampai 14.



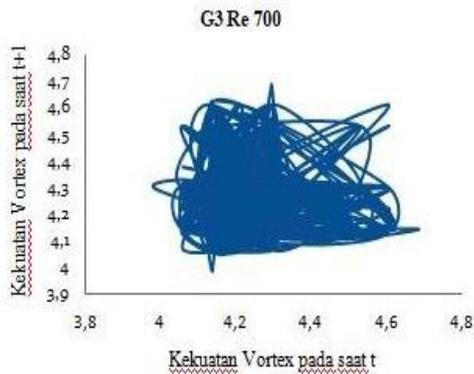
Gambar 11. Diagram ruang fasa aliran fluida pada saluran tanpa alur



Gambar 12. Diagram ruang fasa aliran fluida pada saluran beralur dengan jarak antar alur 1/2 K

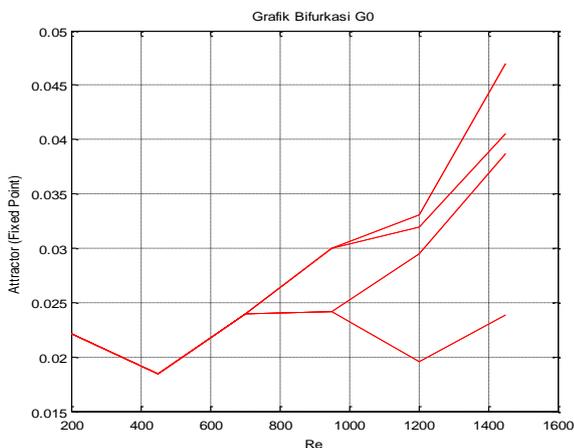


Gambar 13. Diagram ruang fasa aliran fluida pada saluran beralur dengan jarak antar alur 3/4 K

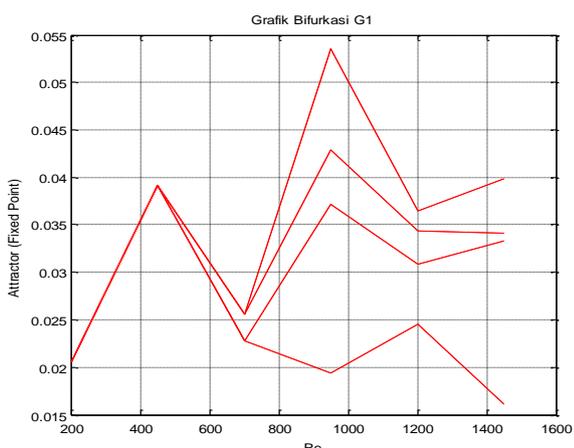


Gambar 14. Diagram ruang fasa aliran fluida pada saluran beralur dengan jarak antar alur K

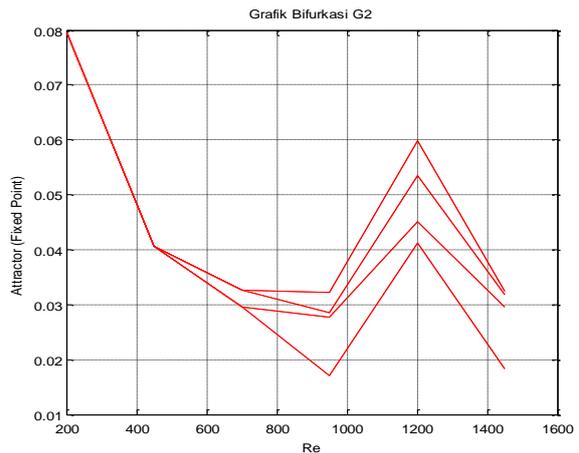
Diagram bifurkasi aliran fluida tiap perlakuan pada Re tertentu diperlihatkan pada Gambar 15, sampai 18.



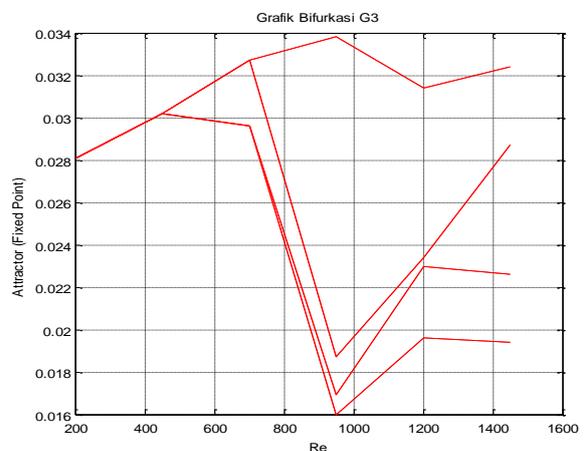
Gambar 15. Diagram bifurkasi aliran fluida pada saluran tanpa alur



Gambar 16. Diagram bifurkasi aliran fluida pada saluran beralur dengan jarak antar alur 1/2 K



Gambar 17. Diagram bifurkasi aliran fluida pada saluran beralur dengan jarak antar alur 3/4 K



Gambar 18. Diagram bifurkasi aliran fluida pada saluran beralur dengan jarak antar alur K

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Aliran fluida periodik dalam saluran yang beralur melintang mengalami chaos pada bilangan Reynold Re 950 untuk saluran tanpa alur dan bilangan Reynold Re 700 untuk saluran beralur.
2. Chaos pada aliran fluida laminar dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan proses transport energi maupun massa.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Moon, F. C., *Chaotic and Fractal Dynamics*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1992.  
[2] Ueda, T., *Chaotic Dynamics and Its Application in Mechanical Engineering*, Collaboration Workshop on Energy, Environment, and New Trend in

- Mechanical Engineering, Brawijaya University, 159-174, 2004.
- [3] Tufillaro N.B. et. al., *An Experimental Approach to Non Linear Dynamics and Chaos*, Addison Wesley, 1992.
- [4] Adhaci, T. and Uehara, H., *Linear Stability Analysis of Flow in a Periodically Grooved Channel*, International Journal for Numerical Methods in Fluids (41), 601-613, 2003.
- [5] Nishimura, T., Morega, A.M. and Kunitsugu, K., *Vortex Structure and Fluid Mixing in Pulsatile Flow Through Periodically Grooved Channels at Low Reynold Numbers*, JSME International Journal Series B, Vol. 40, No. 3, 377-385, 1997.
- [6] Wardana, I. N. G., *Chaos in Fluid Mechanics for Energy Conservation*, Collaboration Workshop on Energy, Environment, and New Trend in Mechanical Engineering, Brawijaya University, 175-192, 2004.
- [7] Williams, G. P., *Chaos Theory Tamed*, Joseph Henry Press, Washington, D. C., 1997.
- [8] Campbell, D. K., *Nonlinear Science, from Paradigms to Practicalities*, Los Alamos Science Special Issue, 218-262, 1987.
- [9] Hassani, S., *Mathematical Methods for Student of Physics And Relations Fields*, Springer, Illinois, USA, 2008.
- [10] White, F. M., *Viscous Fluid Flow*, Second edition, McGraw-Hill, Inc, 1991.
- [11] Raishingania, M.D., *Fluid Dynamics (With Hydrodynamics)* Fourth revised edition, S. Chand & Company LTD. New Delhi, 2002.
- [12] Nishimura, T., Yoshinaka, M., and Kunitsugu, K., *Oscillatory Momentum Transport and Fluid Mixing in Grooved Channels for Pulsatile Flow*, Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Ube, 755-8611, Japan, 2001.
- [13] Gloerfelt, X.; Bogey, Ch.; Bailly, Ch. and Juve, D., *Aerodynamic Noise Induced by Laminar and Turbulent Boundary Layer Over Rectangular Cavities*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2476, 2002.

## STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANCE KAVITASI WATERJET PROPULSI

W. M. Rumaherang<sup>1,\*</sup>, J. Louhenapessy<sup>2</sup>, M. F. Noya<sup>3</sup>, C. S. Tupamahu<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

\*Email: [maxrumaherang72@gmail.com](mailto:maxrumaherang72@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [jandrileonora@yahoo.co.id](mailto:jandrileonora@yahoo.co.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [mesakfrits@gmail.com](mailto:mesakfrits@gmail.com)

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [tupamahucendy@gmail.com](mailto:tupamahucendy@gmail.com)

**Abstrak.** Kavitasi merupakan fenomena dari proses dinamis dalam mesin-mesin hidrolis yang dapat menyebabkan penurunan performance energy, menimbulkan getaran dan merusak permukaan blade. Analisa gejala kavitasi pada mesin-mesin hidrolis dilakukan melalui studi performance kavitasi, yaitu hubungan antara parameter-parameter energi. Setiap mesin mempunyai nilai kritis pada kurva performance kavitasi yang berbeda, karena itu studi pengaruh perubahan kavitasi dilakukan untuk menentukan zona kerja mesin tanpa kavitasi. Dalam penelitian ini analisa performance kavitasi dilakukan pada waterjet propulsor model dengan 5 blade impeller dan 7 blade stator dengan menggunakan metode eksperimen. Koefisien kavitasi divariasikan  $\sigma = 2,25$  sampai  $0,25$  melalui pengaturan dan pengontrolan tekanan inlet pada rig pengujian kavitasi. Titik kritis akan diobservasi pada pada titik dimana terjadi penurunan koefisien thrust sebesar 3,28%. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kavitasi mulai terjadi pada  $\sigma = 1$ , titik kritis dipeoleh pada  $\sigma = 0,75$ . Waterjet ini harus dioperasikan pada kondisi dimana  $\sigma > 0,75$ .

Kata kunci: waterjet propulsor, koefisien kavitasi, performance kavitasi

**Abstract.** Cavitation is a complex phenomenon of dynamic processes in hydraulic machines that can cause a decrease in energy performance, vibration and damage the blade surfaces. Analysis of cavitation symptoms in hydraulic machines is carried out through cavitation performance studies, namely the relations between energy parameters. Each hydraulic machine has a critical value on a different cavitation performance curve. Therefore, a study of the effect of cavitation changes is needed to determine the working zone of hydraulic machines without cavitation. In this study, cavitation performance analysis was carried out on a waterjet propulsor model with 5 impeller blades and 7 stator blades using experimental methods. The cavitation coefficient was varied at  $\sigma = 2.25$  to  $0.25$  by setting and controlling the inlet pressure on the cavitation test rig. The critical point value will be observed at the point where the thrust coefficient was decrease to 3.28%. The results showed that cavitation begins at  $\sigma = 1$ , the critical point is obtained at  $\sigma = 0.75$ . From this studies we find that waterjet must be operated at conditions where is  $\sigma > 0.75$ .

Keywords: Waterjet propulsor, cavitation coefficient, cavitation performance

### 1. PENDAHULUAN

Kavitasi adalah fenomena dan proses dinamis yang kompleks yang ditandai dengan pecahnya kontinuitas cairan secara lokal dengan pembentukan dan penutupan rongga uap-gas. Ini adalah proses tidak stabil yang menyebabkan

terjadinya pulsasi tekanan dan getaran, yang dapat merusak permukaan *blade impeller* dan membahayakan konstruksi mesin-mesin hidrolis [1], [2]. Menurut Zhang dan Zhang [3] dan Tiweri 2020 [4] kavitasi bersifat multiphase tiga dimensi, discontinuous dan merupakan fenomena unsteady. Dengan berkembangnya

kavitasi dalam aliran maka terjadi penurunan tajam efisiensi dalam kurva performansi kavitasi dan tahanan kekuatan material, memperpendek masa periodik reparasi dan maintenance, menambah intensitas tenaga kerja dan biaya operasional turbin [1] dan propeller [5].

Kavitasi dapat terjadi ketika tekanan lokal dari fluida cair lebih rendah dari tekanan uap jenuhnya [2] atau pada zona tekanan rendah yang ditunjukkan oleh distribusi volume fraksi uap menyeluruh dan kurva distribusi tekanan yang konstan sepanjang permukaan [6]. Diketahui bahwa ketika tekanan turun ke nilai tekanan uap  $P_d$  dalam fluida kontinu, cairan mulai mendidih dan sejumlah besar gelembung gas uap kecil yang bersifat ledakan muncul dan meningkat dengan cepat. Jika zona ekspansi cukup panjang, rongga kavitasi terbentuk dari gelembung. Pada saat itu terjadi perubahan fase tunggal menjadi aliran dua fase dan prinsip kontinuitas aliran tidak berlaku [1].

Fenomena kavitasi aliran pada mesin-mesin hidrolik sangat ditentukan oleh proses *design*, pengoperasian serta perbaikan mesin seperti pompa, turbin [7] dan juga *blade* pompa propulsor dalam berbagai tingkatan [6]. Bentuk *blade* dan pitsnya dapat menyebabkan terbentuknya kavitasi secara bertahap dan secara ekstrim dapat merusak material *blade* [8]. Selain pada *impeller* dan stator, kavitasi juga dapat terjadi pada duct saluran masuk yang dapat menyebabkan erosi dan vibrasi sehingga harus dihilangkan.

Penelitian karakteristik kavitasi dilakukan untuk meninjau kavitasi pada *impeller*, stator dan juga pada saluran masuk. Hasil-hasil penelitian melalui eksperimen atau simulasi hidrodinamika menunjukkan bahwa pada penurunan koefisien kavitasi  $\sigma$  [9] atau NPSH [2] terjadi penurunan head dan efisiensi yang tajam, akibat penurunan tekanan pada profil *impeller* [4]. Demikian juga pada variasi nilai  $Q/Q_{max}$  yang kecil nilai efisiensi akan turun secara tajam sesuai hasil studi yang dilakukan oleh Sinagra et al [10] yang dikutip oleh G. Tiweri et al [4].

Kavitasi pada saluran masuk dilakukan melalui analisis distribusi tekanan air di sekitar penampang inlet. Oleh karena itu, kemungkinan kavitasi diselidiki dan dikendalikan dengan cermat melalui pengaturan angka atau koefisien kavitasi [11]. Penelitian kavitasi pada profil NACA 0012 dilakukan melalui variasi koefisien kavitasi  $K$  [1] sedangkan pada turbin dilakukan dengan memvariasikan koefisien kavitasi  $\sigma$ , melalui pengaturan tekanan outlet, sesuai dengan kondisi sisi keluar turbin [9] dan pada pompa *waterjet* dilakukan dengan variasi koefisien

kavitasi  $\sigma$  [4][7][9][12][13] yang dikontrol melalui pengaturan tekanan inlet.

*Waterjet* propulsi merupakan suatu sistem yang kompleks, yang belakangan ini dikembangkan dan digunakan diaplikasikan pada kapal-kapal cepat dengan kemampuan manuver yang lebih tinggi, membuat penggunaan *waterjet* lebih menarik karena telah dihasilkan pompa-pompa dengan kecepatan tinggi dan efisiensi yang tinggi [11]. Pompa axial [14] digunakan dalam berbagai aplikasi teknik termasuk pada pompa pemanas, pompa propane pada sistem pembakaran roket dan paling banyak digunakan sebagai *waterjet* propulsor pada kapal cepat, namun permasalahan penting yang sampai saat masih tetap diteliti adalah masalah pengaruh kavitasi. Hal ini karena kecepatannya yang tinggi sehingga sangat rawan terhadap bahaya kavitasi.

Para peneliti telah membuat kemajuan besar dalam studi kavitasi, tetapi masalah kavitasi dalam kondisi khusus dalam sistem propulsi *waterjet* masih merupakan faktor penting analisa kinerja hidroliknya [6].

Kavitasi aliran mempengaruhi karakter aliran dalam penampang *waterjet*. Perubahan tingkat kavitasi yang ditandai dengan koefisien kavitasi  $\sigma$  atau NPSH [6],[15][16] merubah profil distribusi tekanan dan kecepatan aliran dan selanjutnya menyebabkan perubahan performance *waterjet*, selain dari pengaruh bentuk dan geometri *waterjet* yang masih perlu ditinjau secara luas, dan karena itu dalam paper ini dianalisa pengaruh nilai koefisien kavitasi terhadap profil aliran dan performance kavitasi pompa *waterjet* propulsor dan menentukan titik koefisien kritis kavitasi, yaitu nilai koefisien dimana performance *waterjet* turun sampai dengan 3,28% [6]. Performance kavitasi mencakup berbagai parameter. Namun dalam penelitian hanya dianalisa parameter tekanan, kecepatan, koefisien thrust  $K_t$  dan koefisien head  $K_H$ .

Metode yang saat ini paling efektif adalah experimental dan simulasi numerik [1][2][4][6][9]. Dalam paper ini karakteristik kavitasi dianalisa melalui metode eksperimen untuk model *waterjet* [17] dengan 5 *blade impeller* dengan bentuk dan ukuran yang sudah dimodifikasi.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Parameter-parameter Energi Turbo Mesin

*Waterjet* propulsion sistem memiliki tiga komponen utama: inlet, pump and nozzle [11][14]. *Water jet* propulsor termasuk dalam pompa aksial yang terdiri dari sudu-sudu *impeller* dan sudu-sudu pengarah [14]. Profil aliran dalam

setiap penampang secara teoritis dihitung dengan pendekatan aliran turbulen yang diekspresikan ulang oleh Creswell et al [18] dan Steven Alshop et al [19], yaitu :

$$\frac{v}{U_o} = \left(\frac{r}{R}\right)^{1/7} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan torsiturm thrust yang efisien adalah relasi pada perubahan torsiturm aliran fluida dalam nosel [20][21] yang dinyatakan sebagai:

$$T = \rho Q(V_j - cv_m) = \rho QV_m(a - 1) \quad (2)$$

Dimana  $\rho$  adalah densitas fluida [kg/m<sup>3</sup>],  $Q$  adalah debit aliran [m<sup>3</sup>/s],  $V_j$  adalah kecepatan keluar jet dari nosel [m/s],  $V_m$  adalah kecepatan aliran masuk ke impeller [m/s], dan  $a = \frac{V_j}{V_i} = (D/D_j)^2$  adalah rasio jet [20].

$$V_j = \frac{4Q}{(\pi D_j^2)} \text{ dan } V_m = \frac{4Q}{(\pi D^2)} \quad (3)$$

Head pompa dipengaruhi oleh kondisi aliran di inlet, nozzle, dan posisi kedalaman jet dan dinyatakan sebagai berikut [22]:

$$H_p = \frac{1}{2g} [V_j^2 \eta_n - V_i^2 \eta_i + 2gh_j] \quad (4)$$

Dengan memperhitungkan kerugian-kerugian kecil lainnya, maka head dan debit sistem *waterjet* ditentukan juga dengan memperhitungkan nilai koefisien thrust  $K_t$  dan torsi  $K_Q$  [12]. Nilai kedua koefisien ini secara berturut dinyatakan dengan persamaan :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (5)$$

$$K_Q = \frac{M_z}{\rho n^2 D^5} \quad (6)$$

Menurut Golikov dan W.M. Rumaherang, 2011 [14], kemampuan anti-kavitasi mesin-mesin hidrolis ditentukan oleh koefisien kecepatan spesifik kavitasi dinyatakan sebagai:

$$C_{kr} = \frac{5.62n\sqrt{Q}}{\Delta h_{sup}^{3/4}} \quad (7)$$

Dimana :  $n$  = putaran poros 1/min;  $Q$  = debit, m<sup>3</sup>/s,  $\Delta h_{sup}$  = keamanan kavitasi tersedia, yang sama dengan koefisien kavitasi. Pada pompa dengan kondisi-kondisi khusus dibawah syarat kavitasi, nilai koefisien kecepatan specific berada pada range  $C_{kr}=900 \div 1000$

Mirip dengan desain turbin yang dilakukan oleh W. M. Rumaherang et al [23], diameter impeller ditentukan berdasarkan kecepatan aliran fluida pada penampang meridian ( $V_m$ ) dan debit

( $Q$ ). Dari perhitungan konstruksi dan kekuatan poros, maka kecepatan pada daerah *impeller* adalah [23][24][25]:

$$V_m = \frac{4Q}{\pi D_1^2 (1 - d_{bs}^2)} \quad (8)$$

Koefisien tekanan dinyatakan sebagai berikut [12]:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho(nD)^2} \quad (9)$$

Seperti yang telah disebutkan bahwa syarat permulaan kavitasi pada titik mana pun adalah terjadinya penurunan tekanan pada titik ini ke tekanan uap air jenuh pada suhu *impeller*. Perbedaan antara tekanan pada setiap titik suhu dan tekanan penguapan  $p_v$  ditentukan oleh rumus [9]:

$$\frac{p_\infty - p}{\rho gH} = \sigma_s - \sigma_{wj} \quad (10)$$

Dengan mensubstitusi koefisien tekanan dalam penelitian Takayuki Watanabe et al [12], ke persamaan koefisien kavitasi yang ditulis dalam penelitian yang dilakukan oleh W.M. Rumaherang dan Topazh G.I [9] maka koefisien kavitasi ditulis menjadi:

$$\sigma = \frac{p_\infty - p_v}{\frac{1}{2}\rho(nD)^2} = \frac{NPSE}{E} = \frac{p_\infty - p}{\rho gH} = -C_p \quad (11)$$

Hasil dari persamaan (11) dibandingkan dengan syarat persamaan (7), menunjukkan kondisi anti-kavitasi pompa propulsor tersebut.

## 2.2. Bentuk dan Ukuran Model Waterjet Propulsor

Waterjet propulsor didesain dengan prosedur desain pompa aksial pada persamaan (8), [9] menghasilkan bentuk dan geometri yang diadaptasikan sesuai syarat-syarat untuk *waterjet* propulsor. Ukuran-ukuran pompa yang didesain dan diuji ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran-ukuran utama impeller dan stator

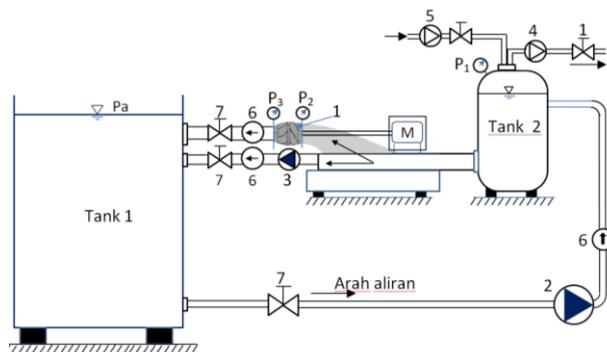
Impeller/Stator model	Simbol	Impeller	Stator
Dia. max (mm)	D <sub>1</sub>	120	120
Dia. min (mm)	D <sub>2</sub>	100	76
Rasio dia.	d/D <sub>2</sub>	0,63	0.63
Jumlah blade	z	5	7
Material	-	bronze	bronze
Luas Permukaan Inlet (m <sup>2</sup> )	A <sub>in</sub>	0.00785	0.11304

### 2.3. Peralatan Test dan Metode

Instalasi pengujian pompa axial sebagai water jet dilakukan untuk mengukur pengaruh koefisien kavitas terhadap parameter-parameter energi yaitu head [6][7][9] [26] dan terhadap thrust [11].

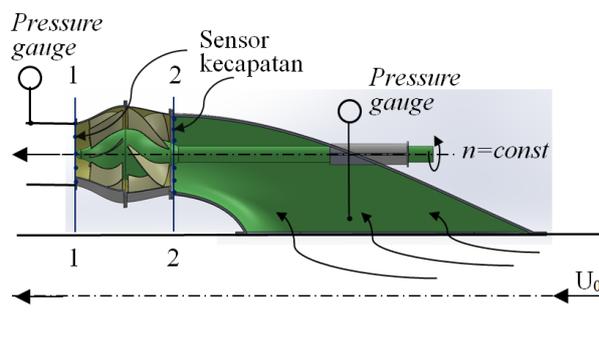
Instalasi pengujian yang dirancang diadopsi model riset yang dilakukan oleh Jie Dang [17][26][16] dengan menambahkan sebuah pompa yang mengontrol kecepatan aliran horizontal pada inlet duct.

Pengukuran performance kavitas dilakukan melalui variasi nilai koefisien kavitas  $\sigma$  pada persamaan (10) dan (11), yang kontrol melalui pengaturan tekanan pada tanki 1 yang diindikasikan oleh *pressure gauge* 1. Nilai *pressure gauge* diperoleh melalui pengaturan kerja kompresor 4 dan 5.



Gambar 1. Diagram skematis dari rig eksperimen:

1. Waterjet propulsor, 2. Pompa input,
3. Pompa kontrol, 4 & 5 Kompresor,
6. magnetic flowmeter, 7. Katup kontrol,  $P_1, P_2, P_3 = \text{pressure gauge}$ .



Gambar 2. Testing pompa axial

Pengukuran performance kavitas dilakukan melalui variasi nilai koefisien kavitas  $\sigma$  pada persamaan (10) dan (11), yang kontrol melalui pengaturan tekanan pada tanki 1 yang diindikasikan oleh *pressure gauge* 1. Nilai *pressure gauge* diperoleh melalui pengaturan kerja kompresor 4 dan 5. Pengukuran dilakukan

pada putaran poros waterjet konstan  $n = 2400$  1/min dan debit  $Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kecepatan aliran inlet dalam arah sumbu x, yaitu  $u_0 = \text{konstan}$ , yang dikontrol dengan kerja pompa 1 dan 3.

Pengukuran performance kavitas dilakukan melalui variasi nilai koefisien kavitas  $\sigma$  pada persamaan (10) dan (11), yang kontrol melalui pengaturan tekanan pada tanki 1 yang diindikasikan oleh *pressure gauge* 1. Nilai *pressure gauge* diperoleh melalui pengaturan kerja kompresor 4 dan 5. Pengukuran dilakukan pada putaran poros waterjet konstan  $n = 2400$  1/min dan debit  $Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kecepatan aliran inlet dalam arah sumbu x, yaitu  $u_0 = \text{konstan}$ , yang dikontrol dengan kerja pompa 1 dan 3.

Data hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh sensor kecepatan digunakan untuk menggambar profil kecepatan pada sensor yang terpasang sepanjang spanwise pada penampang inlet duct dan pada titik koneksi *inlet duct* dan *impeller* (penampang 1-1) dan dan outlet stator (penampang 2-2). Nilai nilai head dan *thrust waterjet* diperoleh dengan formula (2) dan (3), berdasarkan hasil pengukuran tekanan dan kecepatan pada semua penampang.

### 2.4. Karakteristik Kavitas Waterjet

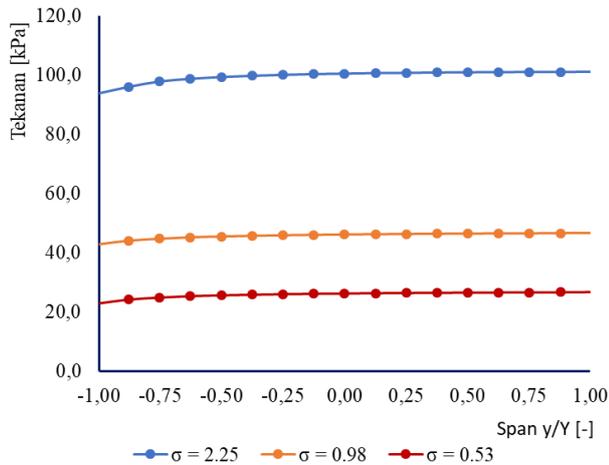
Karakteristik pompa waterjet propulsi menggambarkan karakteristik kavitas yaitu pengaruh koefisien kavitas terhadap head  $H_p$ , thrust  $T_j$  dan torque  $M_z$ . Dalam penelitian ini hubungan ini dinyatakan melalui pengaruh kavitas terhadap koefisien head  $K_H$ , koefisien thrust  $K_t$  yaitu  $K_H, K_t = f(\sigma)$ . Setelah digambarkan karakteristik kavitas, maka ditemukan titik kritis kavitas, yaitu titik dimana koefisien head  $K_H$  dan koefisien thrust ( $K_Q$ ) pada kurva performance pompa turun, 3,28 % dibawah nilai-nilainya yang diperoleh pada kondisi aliran tanpa kavitas.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

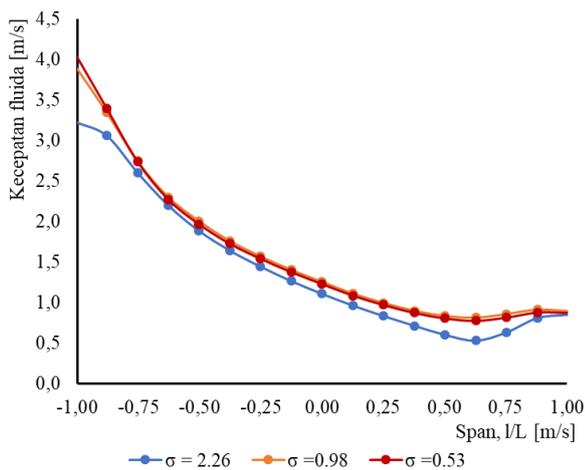
### 3.1. Flow Velocity And Pressure Profiles Pada Penampang Saluran Masuk

Pada pengampang aliran masuk diukur tekanan dan kecepatan pada sensor yang dipasang sepanjang garis tengah penampang melintang 1-1 yang menghubungkan koordinat titik (0, -0,09, -0,015) dengan koordinat (0, -0,015, -0,33). Pada jarak antara sensor-sensor tersebut, nilai tekanan dan kecepatan diperoleh melalui interpolasi. Nilai tekanan pada penumpang dipengaruhi oleh nilai koefisien kavitas  $\sigma$ , yang divariasikan melalui variasi nilai tekanan pada tangki 2. Nilai tekanan dan kecepatan pada variasi nilai koefisien kavitas

$\sigma = 2.25, 0.98$  dan  $0, 52$  ditampilkan pada gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Distribusi tekanan fluida pada penampang saluran masuk (*inlet passage*)



Gambar 4 Distribusi kecepatan aliran fluida pada penampang saluran masuk (*inlet passage*)

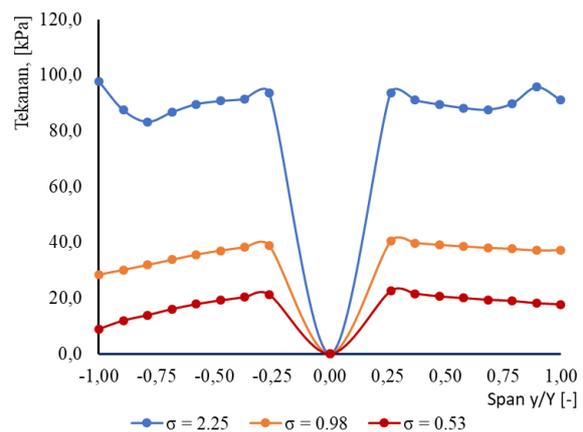
Pada gambar 3 nilai tekanan bervariasi sepanjang garis tengah penampang, dimana tekanan minimum ditemukan pada span ( $l/L$ ) = -1,0 dan meningkat sampai mencapai nilai maksimum ditemukan pada span ( $l/L$ )=1,0. Dengan variasi nilai koefisien kavitas, nilai distribusi tekanan sepanjang span mengalami perubahan, dimana distribusi tekanan turun bersamaan dengan turunnya nilai koefesien kavitas. Nilai koefesien kavitas  $\sigma = 2.25$  adalah nilai dimana tidak ditemukan fenomena kavitas (*non cavitational flow*). Dengan menurunkan tekanan pada tanki 2, distribusi tekanan pada saluran inlet pompa *waterjet* propulsor mengalami penurunan beraturan dengan bentuk profil tekanan

serupa.

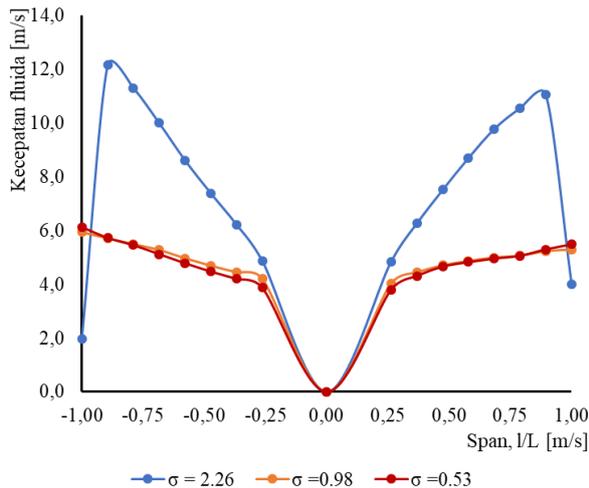
Pada gambar 4. nilai kecepatan bervariasi sepanjang garis tengah penampang, dimana kecepatan maksimum ditemukan pada span ( $l/D$ ) = -1,0 dan berkurang sampai mencapai nilai minimum ditemukan pada span ( $l/L$ ) = 1,0. Pada nilai tekanan minimum, kecepatan mencapai maksimum dan sebaliknya. Sama dengan perubahan nilai distribusi tekanan, distribusi kecepatan sepanjang *spanwise* mengalami perubahan. Nilai kecepatan meningkat dengan turunnya nilai tekanan pada tanki 2. Namun pada nilai koefesien kavitas yang kecil (*cavitational flow*), nilai kecepatan mengalami penurunan dibandingkan aliran tanpa kavitas.

### 3.2. Flow Velocity And Pressure Profiles Pada Penampang Koneksi Impeller Dan Inlet Passage

Pada penampang aliran di depan impeller diukur tekanan dan kecepatan pada sensor yang dipasang sepanjang garis tengah penampang melintang 2-2. Sama dengan inlet passage pada jarak antara sensor-sensor tersebut, nilai tekanan dan kecepatan diperoleh melalui interpolasi untuk mendapatkan nilai-nilai tekanan dan kecepatan. Nilai tekanan pada penampang dipengaruhi oleh nilai koefesien kavitas  $\sigma$ . Nilai tekanan dan kecepatan pada variasi nilai koefesien kavitas  $\sigma = 2.25, 0.98$  dan  $0,52$  pada penampang 2-2 ditampilkan pada gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Distribusi tekanan fluida pada penampang koneksi *impeller* dan *inlet passage*



Gambar 6. Distribusi kecepatan aliran fluida pada penampang koneksi *impeller* dan *inlet passage*

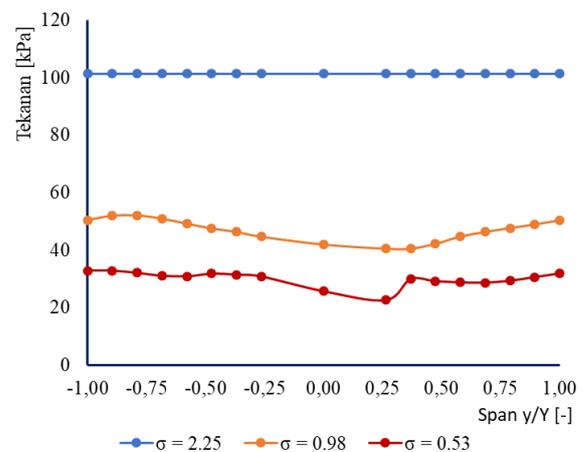
Pada Gambar 5, nilai tekanan statis bervariasi sepanjang garis tengah penampang, dimana tekanan minimum ditemukan pada span ( $r/D$ ) = -0.789 dan maksimum ditemukan pada span ( $r/D$ ) = -1,0 untuk aliran tanpa kavitasi (*non cavitation flow*). Selanjutnya tekanan mencapai maksimum di titik hub *impeller* atau pada titik jari-jari poros pompa. Nilai tekanan nol menunjukkan daerah poros yang tidak dilalui aliran. Dengan variasi nilai koefisien kavitasi  $\sigma$ , nilai distribusi tekanan sepanjang span ( $r/D$ ) mengalami penurunan proporsional dengan perubahan tekanan pada tangka 2, dimana distribusi tekanan turun bersamaan dengan turunnya nilai koefisien kavitasi.

Pada Gambar 6, nilai kecepatan bervariasi sepanjang garis tengah penampang, dimana kecepatan maksimum pada daerah periferi yaitu pada span ( $r/D$ ) = -1,0 dan span ( $r/D$ ) = 1,0 dan minimum pada daerah hub/poros yaitu pada span span ( $r/D$ ) = -0.26 dan span ( $r/D$ ) = 0.26. Pada nilai tekanan minimum, kecepatan mencapai maksimum dan sebaliknya. Sama dengan perubahan nilai distribusi tekanan, distribusi kecepatan sepanjang spanwise mengalami perubahan. Nilai kecepatan meningkat dengan turunnya nilai tekanan pada tanki 2. Namun pada nilai koefisien kavitasi yang kecil (*cavitation flow*), nilai kecepatan mengalami penurunan dibandingkan aliran tanpa kavitasi.

Pada penampang koneksi *impeller* dan *inlet passage*, terlihat pengaruh shroud dan hub terhadap profil aliran pada penampang, demikian juga bentuk saluran masuk membentuk opal aliran pada aliran sampai pada koneksi saluran masuk dengan *impeller*, sehingga kecepatan pada kedua sisi periferi tidak sama.

### 3.3. Flow Velocity And Pressure Profiles Pada Penampang Koneksi *Impeller* dan *Inlet Passage*

Pada penampang aliran di depan *impeller* diukur tekanan dan kecepatan pada sensor yang dipasang sepanjang garis tengah penampang melintang 3-3 di outlet nozel. Sama dengan *inlet passage* pada jarak antara sensor-sensor tersebut, nilai tekanan dan kecepatan diperoleh melalui interpolasi untuk mendapatkan nilai-nilai tekanan dan kecepatan. Nilai tekanan dan kecepatan pada variasi nilai koefisien kavitasi  $\sigma = 2.25, 0.98$  dan  $0, 52$  pada penampang 3-3 (outlet nozel) ditampilkan pada gambar 7. dan gambar 8.

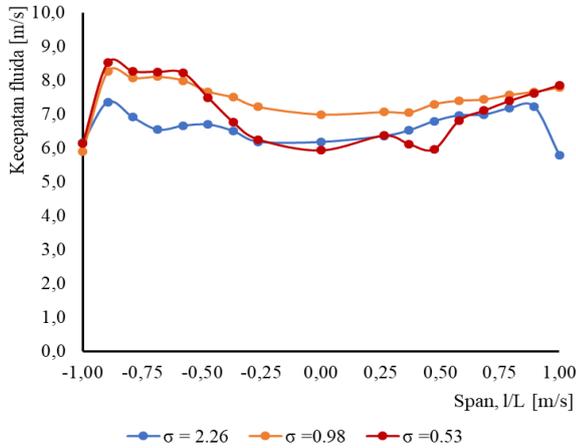


Gambar 7. Distribusi tekanan fluida pada penampang saluran masuk (*inlet passage*)

Pada Gambar 7, nilai tekanan statis bervariasi sepanjang garis tengah penampang, dimana tekanan minimum ditemukan pada span ( $r/D$ ) = -0.789 dan maksimum ditemukan pada span ( $r/D$ ) = -1,0 untuk aliran tanpa kavitasi (*non cavitation flow*). Pada aliran tanpa kavitasi, tekanan statis ditemukan mendekati nilai tekanan atmosfer dan terdistribusi merata sepanjang spanwise ( $r/D$ ). Dengan munculnya kavitasi aliran, tekanan titik seragam sepanjang spanwise ( $r/D$ ). Sama dengan saluran inlet dan aliran di depan *impeller*, tekanan turun proporsional dengan penurunan nilai koefisien kavitasi.

Serupa dengan kondisi aliran pada di depan *impeller*, pada Gambar 8 nilai kecepatan bervariasi sepanjang garis tengah penampang, dimana kecepatan maksimum pada daerah pada span ( $r/D$ ) = -0.8 dan span ( $r/D$ ) = 0.8 dan dipengaruhi oleh bentuk periferi nosel. Perubahan profil aliran pada ujung nosel mengindikasikan terjadinya kavitasi pada *impeller* dan stator.

Profil kecepatan aliran yang melalui secara umum menunjukkan kesesuaian dengan pola aliran yang dibentuk dengan pendekatan aliran turbulen. Dimana distribusi kecepatan pada setiap jarak radius  $r$  dari penampang saluran yang ditunjukkan melalui persamaan pangkat 1/7 [18][19].



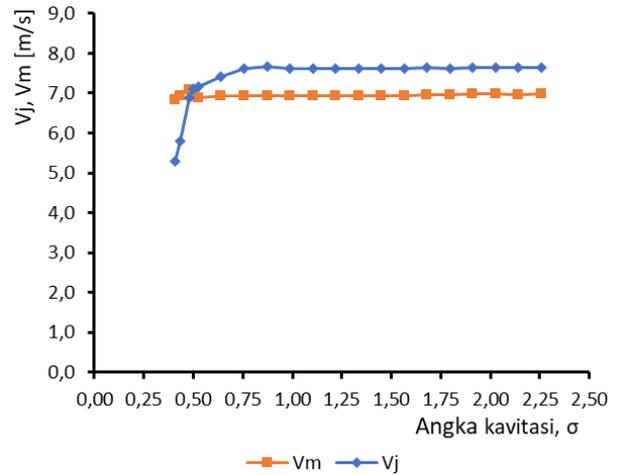
Gambar 8. Distribusi kecepatan aliran fluida pada penampang saluran masuk (*inlet passage*)

Profil aliran pada penampang nosel tidak menunjukkan kondisi yang sama dengan distribusi kecepatan aksial yang dihasilkan dalam penelitian Chuang Wang [26]. Oleh karena itu masih perlu ditinjau demikian masih dibutuhkan penelitian lanjutan tentang pengaruh bentuk dan ukuran stator dan nosel.

### 3.4. Pengaruh Kavitasasi Terhadap Kecepatan Jet.

Pengaruh kavitasasi kecepatan ditunjukkan melalui Gambar 9, hubungan kecepatan jet fluida  $V_j$  pada nosel dan kecepatan fluida pada penampang meridian di depan impeller  $V_m$ . Kedua nilai kecepatan ini, tidak mengalami perubahan pada angka koefesien kavitasasi  $\sigma > 1$  atau pada titik design. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi aliran tanpa kavitasasi tidak berpengaruh terhadap rata-rata kecepatan jet dan kecepatan meridian  $V_m$ .

Pada Gambar 9, gejala kavitasasi ditemukan ketika nilai koefesien kavitasasi  $\sigma < 1$ . Munculnya fenomena kavitasasi ditandai melalui penurunan kecepatan jet  $V_j$  dan  $V_m$ . Pada tahap awal terjadi kavitasasi kecepatan jet sedikit mengalami peningkatan, selanjutnya kecepatan menurun secara drastis dengan penurunan koefesien kavitasasi  $\sigma$ .



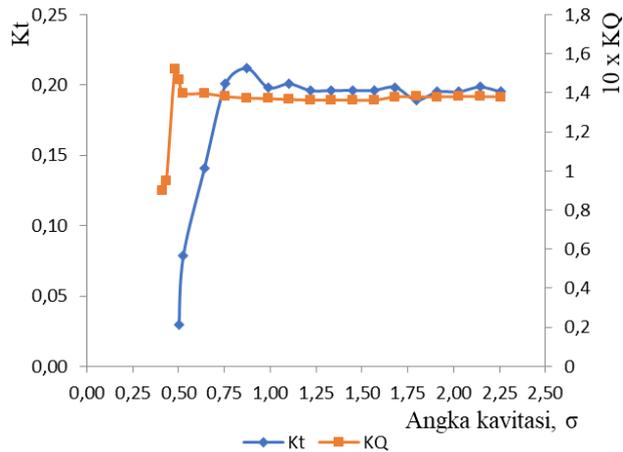
Gambar 9. Pengaruh kavitasasi terhadap kecepatan aliran fluida didepan *impeller*

### 3.5. Karakteristik Kavitasasi

Karakteristik kavitasasi dilukiskan dalam kurva hubungan koefisien kavitasasi terhadap parameter head, thrust dan torsi yang diukur pada poros *impeller*. Dalam penelitian ini dikaji hanya pengaruh kavitasasi terhadap koefisien thrust  $K_t$  dan koefisien torsi  $K_Q$ . Pada Gambar 10, nilai  $K_t$  dan  $K_Q$  mengalami penurunan ketika terjadi kavitasasi pada aliran ini. Fenomena ini terjadi ketika nilai koefesien kavitasasi  $\sigma < 1$ . Koefisien thrust  $K_t$  mengalami peningkatan pada  $\sigma < 1$  dan selanjutnya turun secara ekstrim dengan penurunan nilai koefisien  $\sigma$ . Koefisien torsi mengalami peningkatan pada  $\sigma = 0.5$  dan selanjutnya mengalami penurunan brutal untuk  $\sigma < 0.5$ .

Titik kritis diperoleh dimana koefisien *thrust* mengalami penurunan sampai 3.25 % dibawah koefesien thrust  $K_t$  titik rancang [6]. Kondisi ini terjadi pada nilai  $\sigma = 0.75$ .

Nilai ini jika dibandingkan dengan hasil penelitian analisis dinamis kavitasasi tip vortex pompa jet propeller yang dilakukan oleh Jianping Yuan [27] dimana titik kritis dengan penurunan  $K_t$  3,25% ditemukan pada nilai koefesien kavitasasi pada nilai  $\sigma = 0.75-1$ . Berbeda dengan hasil penelitian analisis numerik aliran dua fasa dalam proses kavitasasi [6] dimana kondisi kritis diperoleh pada nilai  $NPSH_a = 1,32$  yang setara dengan  $\sigma = 0,4$ . Pada penelitian kavitasasi pada marine propeller yang dilakukan oleh Takayuki Watanabe et al [12], nilai koefesien kritis kavitasasi ditemukan pada nilai  $\sigma = 1,0 - 1,2$ .



Gambar 10. Performance kavitasi *waterjet* propulsor 5 blade : Pengaruh koefisien kavitasi terhadap koefisien thrust dan torsi

Beberapa faktor memberikan pengaruh terhadap hasil ini, yaitu bentuk dan geometri sistem pompa *waterjet* khususnya pada *impeller* dan stator, serta kondisi-kondisi parameter aliran debit  $Q$  dan juga putaran poros.

Karena penelitian harus dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk dan ukuran sistem *impeller* dan stator serta pengaruh debit dan putaran pada munculnya fenomena kavitasi pada *waterjet*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dibuat kesimpulan sebagai berikut:

Pada bagian saluran masuk, didepan *impeller* pada nosel, profil aliran berubah mengikuti bentuk dan ukuran penampang dan arah aliran. Penurunan tekanan pada sisi masuk menyebabkan penurunan tekanan dalam nosel. Sebelum terjadi kavitasi, penurunan nilai koefisien kavitas tidak merubah parameter-parameter energi, yaitu kecepatan, koefisien *thrust* dan koefisien torsi. Kavitasi mulai terjadi pada nilai koefisien kavitasi  $\sigma = 1$ , ditandai dengan naiknya kecepatan jet dan koefisien *thrust*  $K_t$  dan kemudian turun dengan pengecilan nilai koefisien kavitasi. Pada gejala kavitasi lanjut, kecepatan, koefisien *thrust* dan koefisien torsi turun secara ekstrim dengan kemiringan kurva yang sangat curam. Nilai koefisien kavitasi kritis pada kurva koefisien *thrust* diperoleh pada  $\sigma_{cr} = 0,65$ . Koefisien kavitasi kritis untuk penurunan nilai torsi ditemukan pada  $\sigma_{cr} = 0,4$ . Untuk kondisi kerja tanpa kavitasi, maka sistem pompa *waterjet* propulsor 5 blade dalam penelitian ini maka kondisi kerja harus menjamin nilai koefisien kavitasi harus lebih dari

1 ( $\sigma \geq 1$ ).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. M. Rumaherang, Topazh G.I. “Оценка эффективности моделирования кавитационного течения жидкости с помощью баротропной модели расчета © 2012,” pp. 645–648, 2012, [Online]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-modelirovaniya-kavitatsionnogo-techeniya-zhidkosti-s-pomoschyu-barotropnoy-modeli-rascheta>.
- [2] S. Zhang, R. Zhang, S. Zhang, and J. Yang, “Effect of Impeller Inlet Geometry on Cavitation Performance of Centrifugal Pumps Based on Radial Basis Function,” *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/6048263.
- [3] H. Zhang and L. Zhang, “Numerical simulation of cavitating turbulent flow in a high head Francis turbine at part load operation with OpenFOAM,” *Procedia Eng.*, vol. 31, pp. 156–165, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.1006.
- [4] G. Tiwari, J. Kumar, V. Prasad, and V. K. Patel, “Utility of CFD in the design and performance analysis of hydraulic turbines — A review,” *Energy Reports*, vol. 6, no. November, pp. 2410–2429, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.09.004.
- [5] O. Usta, C. S. Koksall, and E. Korkut, “A Study on Cavitation Erosion Resistance of Marine Propeller Materials , Using a Water Jet Test Rig A Study on Cavitation Erosion Resistance of Marine Propeller Materials , Using a Water Jet Test Rig,” no. November, 2018.
- [6] W. Jiao, L. Cheng, J. Xu, and C. Wang, “Numerical analysis of two-phase flow in the cavitation process of aWaterjet propulsion pump system,” *Processes*, vol. 7, no. 10, 2019, doi: 10.3390/pr7100690.
- [7] F. Avellan, “Introduction to cavitation in hydraulic machinery,” *6th Int. Conf. Hydraul. Mach. Hydrodyn.*, no. January 2004, pp. 11–22, 2004, [Online]. Available: [http://mmut.mec.upt.ro/mh/Conferinta\\_MH/102Avellan.pdf](http://mmut.mec.upt.ro/mh/Conferinta_MH/102Avellan.pdf).
- [8] M. Volk, *Pump Characteristics and Applications*. 2013.
- [9] W. M. Rumaherang, Topazh G.I “Расчет кавитационного обтекания рабочего колеса радиально - осевой гидротурбины © 2011,” vol. 1, no. 2, pp. 472–475, 2011.

- [10] M. Sinagra, V. Sammartano, C. Aricò, A. Collura, and T. Tucciarelli, “Cross-Flow turbine design for variable operating conditions,” *Procedia Eng.*, vol. 70, pp. 1539–1548, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.02.170.
- [11] P. Ghadimi, R. Shademani, and M. Y. Fard, “Performance assessment of the waterjet propulsion system through a combined analytical and numerical approach,” *Int. J. Phys.*, vol. 1, no. 2, pp. 22–27, 2013, doi: 10.12691/ijp-1-2-1.
- [12] T. Watanabe, T. Kawamura, Y. Takeoshi, M. Maeda, and S. H. Rhee, “Simulation of Steady and Unsteady Cavitation on a Marine Propeller,” *Proc. 5th Int. Symp. Cavitation (CAV 2003), Osaka, Japan, Novemb. 1-4*, no. July, p. GS-12-004 (8 pages), 2003.
- [13] T. Magne *et al.*, “Effect of gas content on the cavitating and non-cavitating performance of an axial three-bladed inducer,” *Multiph. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 2, pp. 81–92, 2020, doi: 10.1615/MultScienTechn.2020031533.
- [14] W. M. Rumaherang, “DESIGN SISTEM BLADE POMPA AKSIAL AFP40-500 W.M. Rumaherang \* ),” no. [1] “DESIGN SISTEM BLADE POMPA AKSIAL AFP40-500 W.M. Rumaherang \* ).”.
- [15] W. Feng, Q. Cheng, Z. Guo, and Z. Qian, “Simulation of cavitation performance of an axial flow pump with inlet guide vanes,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1177/1687814016651583.
- [16] K. Hosono, Y. Kajie, S. Saito, and K. Miyagawa, “Study on cavitation influence for pump head in an axial flow pump,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 656, no. 1, 2015, doi: 10.1088/1742-6596/656/1/012062.
- [17] J. Dang, R. Liu, and C. Pouw, “Waterjet system performance and cavitation test procedures,” *Third Int. Symp. Mar. Propulsors*, no. May, pp. 87–96, 2013.
- [18] N. W. Cresswell, G. L. Ingram, and R. G. Dominy, “The impact of diffuser augmentation on a tidal stream turbine,” *Ocean Eng.*, vol. 108, pp. 155–163, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.07.033.
- [19] S. Allsop, C. Peyrard, P. R. Thies, E. Boulougouris, and G. P. Harrison, “Hydrodynamic analysis of a ducted, open centre tidal stream turbine using blade element torsion theory,” *Ocean Eng.*, vol. 141, no. January, pp. 531–542, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.06.040.
- [20] Y. Ni, W. Liu, Z. Shen, and X. Pan, “Thrust characteristics and nozzle role of water jet propulsion,” *Int. J. Fluid Mach. Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 47–53, 2017, doi: 10.5293/IJFMS.2017.10.1.047.
- [21] M. Altosole, G. Benvenuto, M. Figari, and U. Campora, “Dimensionless numerical approaches for the performance prediction of marine waterjet propulsion units,” *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2012, no. i, 2012, doi: 10.1155/2012/321306.
- [22] H. Ghassemi, S. Majdfar, and H. Forouzan, “Calculations of the Hydrodynamic Characteristics of a Ducted Propeller Operating in Oblique Flow,” *Cienc. y Tecnol. buques*, vol. 10, no. 20, p. 31, 2017, doi: 10.25043/19098642.147.
- [23] Rumaherang W. M., Ufie R., Louhenapessy J., Latuny J, “Karakteristik Turbin Propeller Sumbu Horizontal Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut,” in *Prosiding Archipelago Engineering ALE 2018*, 2018, no. April, pp. 90–95.
- [24] W. M. Rumaherang, “The effect of diameter ratio on energy parameters of the tidal turbine tidal turbine,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.29303/dtm.v10i1.306.
- [25] W. M. Rumaherang, R. Ufie, J. Louhenapessy, and J. Latuny, “Design and Evaluation of Energy Characteristics of a Horizontal Venturi Bulb Turbine Based on Sea Current Data of The,” pp. 88–92, 2018.
- [26] C. Wang *et al.*, “Numerical simulation on hydraulic characteristics of nozzle in waterjet propulsion system,” *Processes*, vol. 7, no. 12, pp. 1–21, 2019, doi: 10.3390/PR7120915.
- [27] J. Yuan *et al.*, “Dynamic analysis of cavitation tip vortex of pump-jet propeller based on DES,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 17, 2020, doi: 10.3390/app10175998.

## ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN IMPAK MATERIAL KOMPOSIT POLIMER DALAM APLIKASI FIBERBOAT

Rezza Ruzuqi<sup>1,\*</sup> dan Victor Danny Waas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Mekanisasi Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, Sorong 98411

\*Email: [rezza.ruzuqi@yahoo.co.id](mailto:rezza.ruzuqi@yahoo.co.id)

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email : [victorwaas90@gmail.com](mailto:victorwaas90@gmail.com)

**Abstrak.** Material komposit merupakan material yang memiliki sistem multi fasa yang tersusun atas bahan penguat dan bahan matriks. Hal tersebut menyebabkan material komposit memiliki keunggulan dalam berbagai hal seperti densitas rendah, sifat mekanik tinggi, kinerja yang sebanding dengan logam, tahan terhadap korosi dan mudah untuk difabrikasi. Dalam bidang industri kelautan dan perikanan, material komposit berbahan penguat *fiber* terutama *fiberglass* terbukti sangat istimewa dan populer dalam konstruksi perahu karena memiliki keuntungan menjadi lembam secara kimia (baik diaplikasikan pada lingkungan umum maupun dalam lingkungan laut), ringan, kuat, mudah dicetak, dan harga bersaing. Dengan begitu dalam penelitian ini, dilakukan metode tarik dan impak dalam mengetahui sifat mekanik material komposit polimer *fiberglass*. Setiap pengujian, dilakukan terhadap variasi jumlah laminasi *fiberglass* CSM 300, CSM 450 dan WR 600 dan variasi persentase berat 99,5% -0,5%, 99% -1%, 98,5% -1, 5%, 98% -2% dan 97,5% -2,5% telah digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah laminasi semakin besar kekuatan impak, yaitu sebesar 413.712 MPa, dan semakin banyak persentase pengeras semakin besar kekuatan impak, yakni sebesar 416.487 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak laminasi kekuatan tarik meningkat, yaitu sebesar 87,054 Mpa, dan semakin banyak persentase pengeras semakin menurunkan kekuatan tarik, yakni sebesar 73.921 MPa.

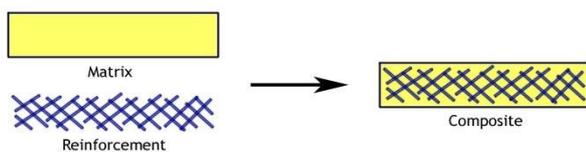
Kata kunci: Kuat Tarik, Kuat Impak, Material Komposit Polimer berpenguat *Fiberglass*

**Abstract.** Composite material is a material that has a multi-phase system composed of reinforcing materials and matrix materials. Causes the composite materials to have advantages in various ways such as low density, high mechanical properties, performance comparable to metal, corrosion resistance, and easy to fabricate. In the marine and fisheries industry, composite materials made from fiber reinforcement, especially fiberglass, have proven to be very special and popular in boat construction because they have the advantage of being chemically inert (both applied in general and marine environments), light, strong, easy to print, and price competitiveness. Thus in this study, tensile and impact methods were used to determine the mechanical properties of fiberglass polymer composite materials. Each test is carried out on variations in the amount of fiberglass laminate CSM 300, CSM 450 and WR 600 and variations in weight percentage 99.5% -0.5%, 99% -1%, 98.5% -1, 5%, 98% -2% and 97.5%-2.5% have been used. The results showed that the greater the number of laminates, the greater the impact strength, which was 413,712 MPa, and the more the percentage of hardener, the greater the impact strength, which was 416,487 MPa. The results showed that the more laminate the tensile strength increased, which was 87.054 MPa, and the more the percentage of hardener, the lower the tensile strength, which was 73.921 MPa.

Keywords: Tensile Strength, Impact Strength, Fiberglass Reinforced Polymer Composite Materials

## 1. PENDAHULUAN

Material komposit adalah sejenis sistem multi-komponen yang kompleks, dan sulit untuk didefinisikan secara akurat. Definisi ringkas diperlihatkan: material komposit adalah material kombinasi multi-fase dari dua atau lebih komponen material dengan sifat berbeda dan bentuk berbeda melalui proses perpaduan, tidak hanya mempertahankan karakteristik utama dari komponen asli, tetapi juga menunjukkan karakter baru yang tidak dimiliki oleh komponen asli [1]. Analogi dari material komposit seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Analogi material komposit [2]

Kemudian menurut jenis bahan matriks yang digunakan pada material komposit, bahan matriks terdiri atas bahan komposit matriks logam, komposit matriks aluminium dan bahan komposit matriks polimer. Banyak penelitian yang dilakukan menggunakan bahan komposit matriks polimer, seperti yang telah dilakukan oleh [3].

Material komposit selain terdapat jenis bahan matriks, di dalam material komposit juga terdapat bahan penguat baik dari bahan sintetis maupun alami seperti ampas tebu (*Bagasse*) [4,5].

Selain material komposit polimer berpenguat alami, ada juga yang menggunakan bahan berpenguat sintetis seperti bahan komposit *fiberglass* (umumnya dikenal sebagai plastik yang diperkuat *fiberglass*), komposit *fibercarbon*, dan komposit *hybridfiber* [6].

Dalam perkembangannya, material komposit banyak sekali diaplikasikan di berbagai bidang industri misalkan industri penerbangan, industri kesehatan, industri kimia, militer, dan lain sebagainya. Dalam bidang pertahanan, pemanfaatan material komposit pada aplikasi militer terbukti dapat memberikan performa yang lebih baik dibandingkan dengan material logam terutama dalam meningkatkan kemampuan mobilitas dari personel pertahanan [7]. Kemudian untuk industri penerbangan, material komposit polimer digunakan untuk menahan persebaran api di pesawat terbang [8].

Selain digunakan untuk industri pertahanan dan penerbangan, dalam perkembangannya

material komposit polimer juga dapat diaplikasikan ke dalam bidang industri kalautan salah satunya sebagai material pembuatan perahu *fiber*. Meskipun ada sejumlah pilihan bahan penguatan dalam material komposit yang digunakan, tetapi jika ditinjau dari segi ekonomi, material komposit berbahan penguat *fiberglass* lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan karbon dan serat aramid untuk diaplikasikan dalam bidang industri kelautan. *Fiberglass* dalam ilmu material termasuk kedalam kategori *Thermoset Polymer Composites*. Memang secara kinerja, kombinasi karbon dan serat aramid memiliki nilai tinggi, tetapi serat gelas masih menyumbang lebih 95% dari pemanfaatan dalam aplikasi maritim [9]. material komposit berpenguat polimer fiber oleh [10].

Kemudian, agar didapati material komposit polimer yang memiliki kekuatan yang sesuai dengan kebutuhan, maka perlu diketahui sifat mekanik dari bahan tersebut. Salah satu karakterisasi untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material adalah dengan melakukan pengujian tarik [11,12]. Beberapa bahan komposit telah diujikan tarik dengan penguat atau matriks yang berbeda diantaranya resin *epoksi-montmorillonit organoklay* oleh [13], *graphene* sebagai pengisi konduktif material komposit dengan memadukan anti-statis *Multi-Layer Graphene (MLG)* diisi *poly vinyl chloride (PVC)* oleh [14], dan serat alami seperti abaca, goni dan sisal ditinjau dari kekuatan tarik oleh [15].

Selain menggunakan pengujian tarik, sifat mekanik dari suatu material dapat diketahui menggunakan pengujian impak. Kekuatan impak sebuah material merupakan ketahanan sebuah material terhadap gaya yang diberi secara tiba-tiba. Beberapa bahan komposit telah diujikan impak dengan penguat atau matriks yang berbeda diantaranya polimer termoplastik akrilik *Glass Fiber Reinforced (GFR)*, berdasarkan suhu kamar matriks *methyl-methacrylate (MMA)* [16], komposit polimer diperkuat serat gelas (*GFRPC*) memiliki kekuatan rendah dibandingkan dengan komposit polimer diperkuat serat karbon (*CFRPC*) [17].

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. BAHAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Lem Kayu, Papan Triplek, Epoxy Resin Tipe BQTN-EX 157, *Hardener* tipe MEPOXE (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*), *Mirror Glass*, serat WR 600 (*Woven Roving*), CSM 300 (*Chopped Strand Mat*) dan CSM 450 (*Chopped Strand Mat*).

**2.2. Prosedur Penelitian dan Persamaan**

Prosedur penelitian yang digunakan adalah menimbang dan memadukan antara bahan penguat dengan bahan matriks dengan variasi kadar penguat. Eksperimental desain dan diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1a dan 1b di bawah ini

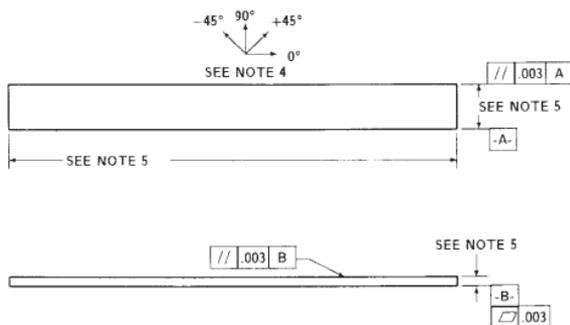
Tabel 1a. Eksperimental desain untuk material komposit polimer variasi penguat dengan variasi matriks sampel B1

Urutan Laminasi:	Susunan Laminasi				
	Sampel A <sub>1</sub>	Sampel A <sub>2</sub>	Sampel A <sub>3</sub>	Sampel A <sub>4</sub>	Sampel A <sub>5</sub>
Lapisan 1	CSM 300				
Lapisan 2	WR 600	CSM 450	CSM 450	CSM 450	CSM 450
Lapisan 3	CSM 450	WR 600	WR 600	WR 600	WR 600
Lapisan 4	CSM 450				
Lapisan 5		CSM 450	WR 600	WR 600	WR 600
Lapisan 6			CSM 450	CSM 300	CSM 300
Lapisan 7				CSM 450	WR 600
Lapisan 8					CSM 450

Tabel 1b. Eksperimental desain untuk material komposit polimer variasi matriks dengan variasi penguat sampel A3

Urutan Laminasi	Prosentase Bobot (%)				
	Sampel B <sub>1</sub>	Sampel B <sub>2</sub>	Sampel B <sub>3</sub>	Sampel B <sub>4</sub>	Sampel B <sub>5</sub>
Epoxy Resins	99.5	99	98.5	98	97.5
Hardener	0.5	1	1.5	2	2.5

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui sifat mekanik material komposit polimer dilakukan karakterisasi menggunakan pengujian tarik. Selanjutnya untuk sampel uji tarik, spesimen dibuat mengacu pada ASTM D3039/D3039M, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 dan Tabel 2 menunjukkan geometri spesimen yang dibutuhkan.



Gambar 2. Spesimen uji tarik (ASTM D3039/D3039M)

Tabel 2. Geometri specimen uji tarik

Orientasi Fiber	Lebar, mm (in.)	Panjang Keseluruhan (in.)	Tebal mm (in.)	Panjang Tab (in.)	Tebal Tab (in.)	Sudut Tab Bevel (°)
Arah 0°	15 (0,5)	250 (10,0)	1,0 (0,040)	56 (2,25)	1,5 (0,062)	7 atau 90
Arah 90°	25 (1,0)	175 (7,0)	2,0 (0,080)	25 (1,0)	1,5 (0,062)	90
Keseimbangan dan Simetrik	25 (1,0)	250 (10,0)	2,5 (0,100)	-	-	-
Diskontinyu acak	25 (1,0)	250 (10,0)	2,5 (0,100)	-	-	-

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui sifat mekanik material komposit polimer selain dilakukan karakterisasi menggunakan pengujian tarik, bisa juga menggunakan uji impak. Kekuatan impak sebuah material merupakan ketahanan sebuah material terhadap gaya yang diberi secara tiba-tiba. Untuk mendapatkan nilai uji impak, beberapa parameter dimasukkan ke dalam persamaan

$$IS = \frac{E1}{A} = \frac{W \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \tag{2.1}$$

Dengan :

*W* = Usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (kg m)

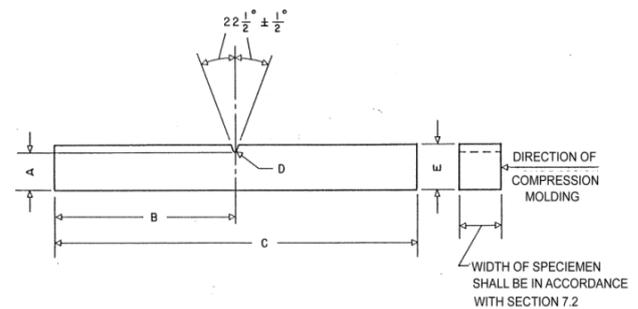
*λ* = Jarak lengan pengayun (m)

*cos β* = Sudut posisi akhir pendulum

*cos α* = Sudut posisi awal pendulum

*A* = luas penampang di bawah takikan (m<sup>2</sup>)

Selanjutnya untuk sampel uji impak, spesimen dibuat mengacu pada ASTM D6110, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Tabel 3 menunjukkan geometri spesimen yang dibutuhkan.



Gambar 3. Spesimen uji impak (ASTM D6110)

Tabel 3. Geometri spesimen uji impak

Simbol	Ukuran (mm)	Toleransi (mm)
A	10,16 ± 0,05	0,400 ± 0,002
B	63,5	2,5
	61,0	2,40
C	127,0	5,00
	124,5	4,00
D	0,25 ± 0,05	0,010 ± 0,002
E	12,70	0,500 ± 0,006

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat mekanik adalah salah satu sifat yang menyatakan kemampuan untuk menerima beban/gaya/energi. Sifat mekanik bahan merefleksikan hubungan antara beban/gaya/energi yang diterima suatu bahan dengan reaksi yang diberikan atau deformasi yang akan terjadi. Sifat mekanik bahan terbagi atas beberapa sifat diantaranya; Kekuatan (*strength*), Kekerasan (*hardness*), Kekenyalan (*elasticity*), Kekakuan (*stiffness*), Plastisitas (*plasticity*), Ketangguhan (*toughness*), Kelelahan (*fatigue*) dan Keretakan – merangkok (*creep – crack*).

Kuat tarik merupakan salah satu sifat penting untuk menggambarkan kinerja mekanik material. Dengan menggunakan pengujian tarik, akan didapati besarnya tegangan dan regangan yang dialami sebuah material.

Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik yang telah dilakukan pada material komposit polimer fiberglass yakni seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4a dan 4b.

Tabel 4a. Hasil pengujian tarik pada variasi penguat material komposit polimer fiberglass

Sampel	Nilai Kuat Tarik (MPa)
A1	59.467
A2	63.722
A3	75.816
A4	82.899
A5	87.054

Dari Tabel 4a, diperoleh nilai kuat tarik pada material komposit polimer fiberglass yakni sebesar A1= 59.467 MPa, A2= 63.722 MPa, A3= 75.816 MPa, A4= 82.899 MPa dan A5= 87.054 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, material komposit polimer fiberglass bervariasi penguat menghasilkan nilai tarik yang semakin meningkat seiring dengan penambahan penguat pada material tersebut.

Tabel 4b. Hasil pengujian tarik pada variasi matriks material komposit polimer fiberglass

Sampel	Nilai Kuat Tarik (MPa)
B1	73.921
B2	69.117
B3	67.592
B4	65.967
B5	65.342

Dari Tabel 4b, diperoleh nilai kuat tarik pada material komposit polimer fiberglass yakni sebesar B1= 73.921 MPa, B2= 69.117 MPa, B3= 67.592 MPa, B4= 65.967 MPa dan B5=65.342 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, material komposit polimer *fiberglass* bervariasi matriks menghasilkan nilai tarik yang semakin menurun seiring dengan penambahan prosentase bobot matriks pada material tersebut.

Kuat impak juga merupakan salah satu sifat penting untuk menggambarkan kinerja mekanik material. Prinsip dari pengujian ini yakni penyerapan energi potensia dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Dengan menggunakan pengujian impak, akan didapati besarnya kekuatan, kekerasan, serta keuletan material yang dialami sebuah material.

Hasil yang diperoleh dari pengujian impak yang telah dilakukan pada material komposit polimer fiberglass yakni seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 5a dan 5b.

Tabel 5a. Hasil pengujian impak pada variasi penguat material komposit polimer fiberglass

Sampel	Nilai Kuat Impak (MPa)
A1	366.297
A2	379.859
A3	396.756
A4	405.392
A5	413.712

Dari Tabel 5a., diperoleh nilai kuat impak pada material komposit polimer *fiberglass* yakni sebesar A1= 366.297 MPa, A2= 379.859 MPa, A3= 396.756 MPa, A4= 405.392 MPa dan A5= 413.712 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, material komposit polimer *fiberglass* bervariasi penguat menghasilkan nilai impak yang semakin meningkat seiring dengan penambahan penguat pada material tersebut.

Tabel 5b. Hasil pengujian impak pada variasi matriks material komposit polimer fiberglass

Sampel	Nilai Kuat Impak (MPa)
B1	396.865
B2	400.890
B3	412.374
B4	416.487
B5	410.247

Dari Tabel 5b, diperoleh nilai kuat impact pada material komposit polimer *fiberglass* yakni sebesar B1= 396.865 MPa, B2= 400.890 MPa, B3= 412.374 MPa, B4= 416.487 MPa dan B5= 410.247 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, material komposit polimer *fiberglass* bervariasi matriks menghasilkan nilai impact yang semakin naik seiring dengan penambahan prosentase bobot matriks pada material tersebut. Akan tetapi terdapat sampel yang menghasilkan kuat impact yang kecil jika dibandingkan jenis sampel sebelumnya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan impact material komposit polimer *fiberglass* dengan masing-masing meninjau pengaruh variasi penguat dan variasi matriks sebagai bahan pembuatan perahu *fiberglass* yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dihasilkan sebuah kesimpulan bahwa variasi penguat berpengaruh terhadap sifat mekanik tarik material komposit polimer *fiberglass*. Semakin besar lapisan yang diberikan pada material komposit polimer *fiberglass*, maka nilai kuat tarik pada material tersebut semakin besar, yaitu sebesar 87,054 Mpa. Akan tetapi berbeda dengan hasil yang diperoleh dari material komposit polimer *fiberglass* variasi matriks. Semakin besar kandungan matriks yang ditambahkan, maka nilai kuat tarik pada material tersebut semakin kecil, yakni sebesar 73.921 MPa. Kemudian untuk kesimpulan berikutnya bahwa pengaruh variasi penguat berpengaruh terhadap sifat mekanik impact material komposit polimer *fiberglass*. Semakin besar lapisan yang diberikan pada material komposit polimer *fiberglass*, maka nilai kuat impact pada material tersebut semakin besar, yaitu sebesar 413.712 MPa. Begitu juga dengan hasil yang diperoleh dari material komposit polimer *fiberglass* variasi matriks. Semakin besar kandungan matriks yang ditambahkan, maka nilai kuat impact pada material tersebut semakin besar, yakni sebesar 416.487 MPa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Unit Penelitian Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Wang, R.-M., Zheng, S.-R., & Zheng, Y.-P. (2011). Polymer matrix composites and technology. Beijing: Woodhead

- Publishing Limited and Science Press Limited.
- [2] Artikel-teknologi. (2018). Pengertian Material Komposit di <http://artikel-teknologi.com/pengertian-material-komposit/>, 2018 (diakses 08 Juli)
- [3] Naresh, K., Shankar, K., Rao, B., & Velmurugan, R. (2016). Effect of high strain rate on glass/carbon/hybrid fiber reinforced epoxy laminated composites. *Composites Part B*, 125-135.
- [4] Clareyna, E. D., & Mawarani, L. J. (2013). Pembuatan dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat Bagasse. *TEKNIK POMITS*, 208-213.
- [5] Minah, F. N., Astuti, S., & Rastini, E. K. (2017). KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT POLIMER POLYSTYRENE DAN SERAT TEBU. *INDUSTRI INOVATIF*, 1-6.
- [6] Kumre, A., Rana, R., & Purohit, R. (2017). A Review on mechanical property of sisal glass fiber reinforced polymer composites. Selection and peer-review under responsibility of Conference Committee Members of 5th International Conference of Bhopal, (hal. 3466–3476).
- [7] Mardiyati. (2018). Komposit Polimer Sebagai Material Tahan Balistik. *Jurnal Inovasi Pertahanan dan Keamanan*, 20-28.
- [8] Toldy, A., Szolnoki, B., & Marosi, G. (2011). Flame retardancy of fibre-reinforced epoxy resin composites for aerospace applications. *Polymer Degradation and Stability*, 371-376.
- [9] Sheno, R. A., & Dotkins, A. R. (2000). Design of Ships and Marine Structures Made from FRP Composite Materials. *Comprehensive Composite Materials*, 429-449. Southampton: Elsevier Science Ltd.
- [10] Mouritz, A., Gellert, E., Burchill, P., & Challis, K. (2001). Review of Advanced Composite Structures for Naval Ships and Submarines. *Composite Structures*, 21-41.
- [11] Maurin, R., Perrot, Y., Bourmaud, A., Davies, P., & Baley, C. (2009). Seawater ageing of low styrene emission resins for marine composites: Mechanical behaviour and nano-indentation studies. *Composites*, 1024–1032.
- [12] Zhang, J., Chaisombat, K., He, S., & Wang, C. H. (2012). Hybrid composite laminates reinforced with glass/carbon woven fabrics for lightweight load bearing structures. *Materials and Design*, 75–80.
- [13] Widyatmaja, D. W., Raharjo, W. W., &

- Sukanto, H. (2014). pengaruh suhu pencampuran terhadap kekuatan tarik dan fracture toughness epoxy resin - organoclay montmorillonite nanokomposit. MEKANIKA, 101-107.
- [14] Wang, H., Xie, G., Fang, M., Ying, Z., Tong, Y., & Zeng, Y. (2015). Electrical and mechanical properties of antistatic PVCfilms containing multi-layer graphene. Composites, 444-450.
- [15] Elanchezian, C., Vijaya Ramnath, B., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar, V., & Saravanakumar, M. K. (2018). Review on mechanical properties of natural fiber composites. Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy, 1785–1790.
- [16] Dossou, G. K., Boumbimba, R. M., Bonfoh, N., Hernandez, S. G., Gonzalez, D. G., Gerard, P., et al. (2019). Innovative acrylic thermoplastic composites versus conventionalcomposites: improving the impact performances. Composite Structures, 1-13.
- [17] Jesthi, D. K., & Nayak, R. K. (2019). Improvement of Mechanical Properties of Hybrid Composite through Interply Rearrangement of Glass and Carbon Woven Fabrics for Marine Applications. Composites Part B, 467-475.

## ANALISIS EFEKTIVITAS PENUKAR KALOR PIPA HELIKAL DESTILASI MINYAK ATSIRI KAYU PUTIH

Antonius Hatumessen<sup>1\*</sup>, Nicolas Titahelu<sup>2</sup>, Cendy Sophia Tupamahu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

\*Email: [tonihatumessen@yahoo.com](mailto:tonihatumessen@yahoo.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [titahelun@gmail.com](mailto:titahelun@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [tupamahucendy@gmail.com](mailto:tupamahucendy@gmail.com)

**Abstrak.** Tanaman kayu putih merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri. Pengolahan minyak kayu putih pada umumnya menggunakan metode destilasi. Destilasi minyak kayu putih yang digunakan secara tradisional menggunakan kondensor pipa lurus. Kelemahan dari kondensor pipa lurus yakni suhu kondensat yang keluar masih sangat tinggi, hal ini menunjukkan bahwa efektivitas kondensor pipa lurus belum optimal. Untuk mengoptimalkan efektivitas kondensor sistem destilasi, maka dirancang sebuah kondensor dengan tipe kondensor pipa helikal pada sistem destilasi minyak atsiri. Pada penelitian ini akan memvariasikan rasio perbandingan jarak pitch terhadap diameter pipa kondensor, yang mana bertujuan untuk mendapatkan rasio pitch helikal koil yang efektif untuk mengoptimalkan efektivitas kondensor pipa helikal. Penelitian ini menggunakan metode simulasi pada COMSOL Multiphysics 5.4. Varian rasio pitch yang digunakan yakni sebesar 2,1; 2,62; 3,15; 3,67; 4,2. Parameter yang dikonstantakan pada penelitian ini adalah suhu fluida masuk pada sisi tube 373 K, suhu fluida masuk pada sisi shell 288 K, kecepatan masuk fluida pada sisi tube 0,2 m/s, dan kecepatan masuk fluida pada sisi shell 1 m/s. Hasil dari simulasi dengan memvariasikan rasio pitch menunjukkan efektivitas meningkat seiring menurunnya nilai rasio pitch, dimana efektivitas tertinggi ditunjukkan pada rasio pitch 2,1 dengan 75,9% dan efektivitas terendah ditunjukkan pada rasio pitch 4,2 dengan 70,7%.

Kata kunci: Penukar kalor, pipa helikal, rasio *pitch*

**Abstract.** *Eucalyptus plant is one of the essential oil-producing plants. Eucalyptus oil processing generally uses the distillation method. Traditionally used eucalyptus oil distillation uses a straight pipe condenser. The weakness of the straight pipe condenser is that the temperature of the condensate that comes out is still very high, this shows that the effectiveness of the straight pipe condenser is not optimal. To optimize the effectiveness of the distillation system condenser, a condenser with a helical pipe type condenser is designed in the essential oil distillation system. This study will vary the ratio of the pitch distance to the diameter of the condenser pipe, which aims to obtain an effective helical coil pitch ratio to optimize the effectiveness of the helical pipe condenser. This study uses the simulation method on COMSOL Multiphysics 5.4. The pitch ratio variant used is 2.1; 2.62; 3.15; 3.67; 4.2. The parameters that are constant in this study are the inlet fluid temperature on the tube side 373 K, the inlet fluid temperature on the shell side 288 K, the fluid inlet velocity on the tube side 0.2 m/s, and the fluid inlet velocity on the shell side 1 m/s. The results of the simulation by varying the pitch ratio show that the effectiveness increases as the pitch ratio value decreases, where the highest effectiveness is shown at pitch ratio of 2.1 which 75.9% and the lowest effectiveness is shown to pitch ratio of 4.2 which 70.7%.*

Keywords: Heat exchanger, helical pipe, pitch ratio

## 1. PENDAHULUAN

Pengolahan minyak atsiri dari tanaman kayu putih banyak ditemukan di kepulauan Maluku. Minyak atsiri kayu putih sering digunakan sebagai pengobatan alternatif. Hal tersebut dikarenakan komponen utama minyak atsiri yakni sineol termasuk dalam golongan terpenoid. Sineol merupakan senyawa monoterpene yang mana berperan sebagai antimikroba, antioksidan kekebalan tubuh, analgesic dan spasmolitik.

Metode yang digunakan dalam pengolahan minyak atsiri kayu putih yakni metode destilasi. Pada sistem destilasi terdapat dua komponen utama yakni boiler sebagai tempat mengukus produk dan kondensor sebagai tempat untuk mendinginkan uap hasil kukusan. Model kondensor pada sistem destilasi yang ada didaerah kepulauan maluku masih menggunakan model kondensor pipa lurus, dimana terdapat kelemahan dari model ini yaitu suhu kondesat yang masih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja kondensor belum optimal.

Berdasarkan riset yang dilakukan terhadap perbandingan penukar kalor pipa lurus dan pipa helical, diketahui bahwa penukar kalor pipa helical lebih efektif dari penukar kalor pipa lurus. Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja dari kondensor. Moawed, M.[1] melakukan penelitian terhadap fenomena konveksi alami pada penukar kalor pipa helical dengan posisi vertikal dan horizontal. Fernández-Seara, et al.[2] melakukan analisis secara numerik kinerja penukar kalor pipa helical dan melakukan validasi dengan data eksperimental. Alimoradi & Veysi.[3] melakukan perhitungan terhadap laju perpindahan panas dan pembangkitan entropi untuk perpindahan panas konveksi paksa pada pipa helical, dimana nilai kritis dan nilai optimal dicari untuk meningkatkan nilai COP (laju perpindahan panas per entropi yang dibangkitkan). Xu, X. et al.[4] menganalisis secara teoritis mekanisme perpindahan panas pada penukar kalor pipa helical, hasilnya menunjukkan bahwa efektivitas penukar kalor pipa helical sangat tinggi karena gerakan aliran sekunder yang tegak lurus terhadap aliran utama yang disebabkan oleh gaya sentrifugal dari fluida. Mirgolbabaie, H.[5] melakukan analisis secara numerik kinerja sebuah penukar kalor pipa helical, dimana diselidiki pengaruh dari jarak *pitch* dan diameter *tube* terhadap efektivitas penukar kalor.

Dari beberapa penelitian terkait perpindahan panas pada pipa helical, belum ada penggunaan pada kondensor sistem destilasi minyak atsiri. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan

dirancang model pipa helical pada sistem kondensor minyak atsiri dengan tujuan untuk mengoptimalkan efektivitas kondensor minyak atsiri. Pada penelitian ini akan dianalisis pengaruh rasio *pitch* (perbandingan jarak *pitch* terhadap diameter *tube*) terhadap efektivitas kondensor sistem destilasi dengan model aliran *counter flow*. Metode numerik akan digunakan untuk menganalisis kinerja dari kondensor pipa helical tersebut.

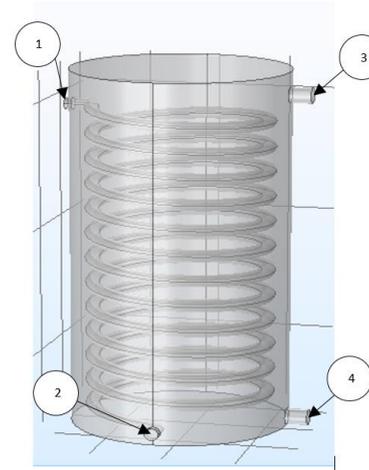
## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Alat Penelitian

Pada penelitian ini digunakan COMSOL Multiphysics 5.4 untuk melakukan simulasi aliran. Simulasi dijalankan pada PC-Desktop Windows 10 Pro 64bit dengan spesifikasi prosesor Intel® Core™ i7-7700 @3,60GHz (8 CPUs) dan 8192MB RAM.

### 2.2. Model

Pada penelitian ini akan dirancang model kondensor dengan konstruksi sebagai berikut:



Gambar 1. Model geometri kondensor

Keterangan:

1. Saluran masuk uap
2. Saluran keluar uap
3. Saluran masuk air
4. Saluran keluar air

Tabel 1. Geometri kondensor pipa helical

Parameter	Ukuran (cm)
Diameter <i>shell</i>	30
Tinggi <i>shell</i>	57
Diameter <i>tube</i>	1,905
Jarak <i>pitch</i>	4, 5, 6, 7, 8
Rasio <i>pitch</i>	2,1; 2,62; 3,15; 3,67; 4,2
Diameter koil	24
Tinggi koil	50

### 2.3. Persamaan Diskritisasi

Aliran diasumsikan *weakly compressible* dengan karakteristik aliran yakni laminar. Persamaan *continuity*, *momentum*, dan *energy* dijelaskan sebagai berikut:

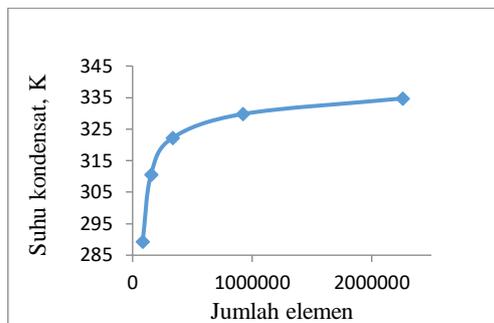
$$u \cdot t = 0 \quad (1)$$

$$\rho (u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + K] + F \quad (2)$$

$$\rho C_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_p + Q_{vd} \quad (3)$$

### 2.4. Independensi grid

Sebelum menjalankan simulasi ditentukan kualitas dari *meshing* model geometri. Jumlah elemen dari masing-masing tingkat kualitas *meshing* diketahui sebagai berikut : *extra coarser* (84.364), *coarser* (152.931), *coarse* (333.383), *normal* (921.773), dan *fine* (2.258.893). Pada penelitian ini digunakan jumlah elemen sebanyak 921.773.



Gambar 2. Perbandingan jumlah elemen terhadap suhu kondensat yang keluar

### 2.5 Data Reduksi

#### a. Perhitungan pada sisi dalam tube

Menurut Fernandez-seara, et al.[2] bilangan *Rayleigh* pada pipa helikal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)d^3}{\nu^2} \quad (4)$$

Moawed, M.[6] mendapatkan bilangan *Nusselt* pada pipa helikal menggunakan persamaan berikut:

$$Nu_h = 0,0779(Ra)^{0,275} \left(\frac{D}{d}\right)^{0,184} \left(\frac{v}{d}\right)^{0,212} \left(\frac{L}{d}\right)^{0,108} \quad (5)$$

Untuk menghitung koefisien konveksi pada sisi dalam pipa helikal digunakan persamaan berikut:

$$h_i = \frac{Nu_h \cdot k_h}{L} \quad (6)$$

#### b. Perhitungan pada sisi luar tube

Menurut Tuncer[7] bilangan *Reynold* pada sisi luar *tube* dengan bentuk helikal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho u D h_{shell}}{\mu_c} \quad (7)$$

Untuk menghitung bilangan *Nusselt* pada sisi luar *tube* digunakan persamaan berikut:

$$Nu_c = 0,6Re^{0,5}Pr_c^{0,31} \quad (8)$$

Koefisien konveksi pada sisi luar *tube* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h_o = \frac{Nu_c \cdot k_c}{L} \quad (9)$$

#### c. Koefisien perpindahan panas menyeluruh

Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2\pi k_w} + \frac{1}{h_o} \quad (10)$$

#### d. Efektivitas

Efektivitas merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan pendekatan untuk menganalisis kinerja sebuah penukar kalor. Menurut Yan, et al.[8]. Perhitungan efektivitas dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{max}} \quad (11)$$

$$Q_{aktual} = UA \Delta_{LMTD} \quad (12)$$

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (13)$$

Menurut Sheeba, et al.[9]  $\Delta_{LMTD}$  pada aliran *counter flow* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$LMTD = \frac{(Th_2 - Tc_1) - (Th_1 - Tc_2)}{\ln((Th_2 - Tc_1)/(Th_1 - Tc_2))} \quad (14)$$

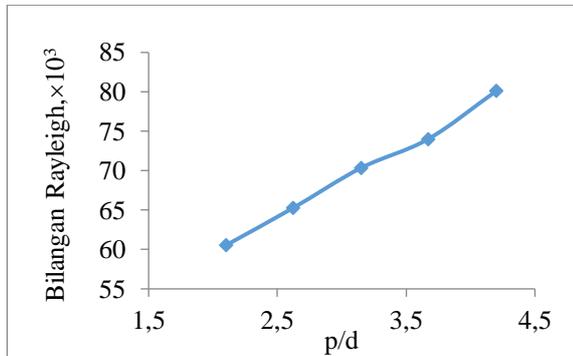
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Pengaruh Rasio Pitch

Dari data pada Tabel 2. akan dihitung parameter-parameter perpindahan panas dari kelima variasi rasio pitch. Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa bilangan *Rayleigh* meningkat seiring meningkatnya nilai rasio pitch. Hal ini diakibatkan oleh meningkatnya gradient temperatur antara dinding tube dan fluida sekeliling (air pendingin).

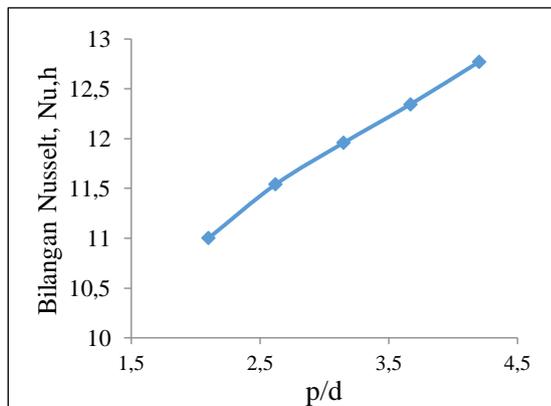
Tabel 2. Data poin simulasi

p/d	T <sub>hi</sub> , (K)	T <sub>ho</sub> , (K)	T <sub>hf</sub> , (K)	T <sub>ci</sub> , (K)	T <sub>co</sub> , (K)	T <sub>cf</sub> , (K)
2,1	373	329,79	351,470	288,2	290,70	289,425
2,62	373	333,78	353,465	288,2	290,40	289,275
3,15	373	337,54	355,345	288,2	290,22	289,185
3,67	373	339,9	356,525	288,2	290,06	289,105
4,2	373	343,39	358,270	288,2	289,87	289,010



Gambar 3. Grafik bilangan *Rayleigh* terhadap p/d

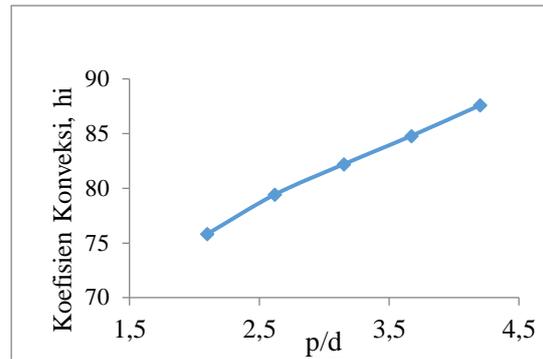
Tren grafik yang meningkat pada bilangan *Rayleigh* mempengaruhi bilangan *Nusselt* dan koefisien perpindahan panas *inner tube*, dimana tren grafik kedua parameter tersebut mengalami peningkatan seiring meningkatnya nilai rasio pitch.



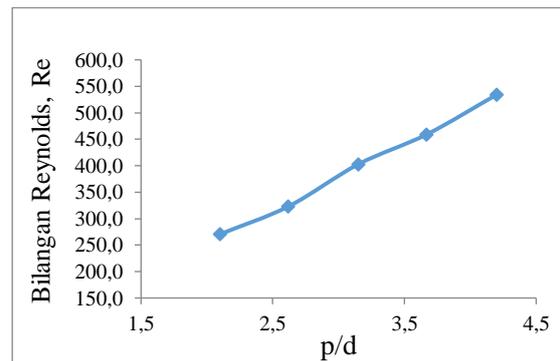
Gambar 4. Grafik bilangan *Nusselt* sisi dalam *tube* terhadap p/d

Hal tersebut dikarenakan bilangan *Rayleigh* berbanding lurus dengan bilangan *Nusselt* dan koefisien konveksi *inner tube*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik bilangan *Reynold* mengalami peningkatan seiring meningkatnya nilai rasio pitch, hal ini disebabkan oleh meningkatnya luas penampang perpindahan panas. Ketika luas penampang perpindahan panas meningkat maka akan mempengaruhi diameter hidraulik.

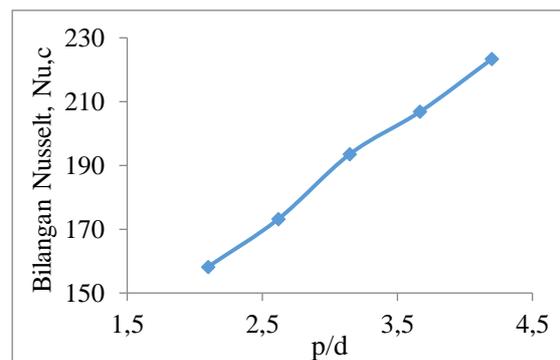


Gambar 5. Grafik koefisien konveksi sisi dalam *tube* terhadap p/d



Gambar 6. Grafik bilangan *Reynold* terhadap p/d

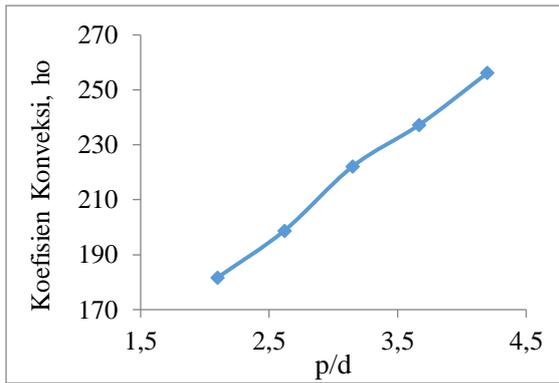
Peningkatan pada nilai bilangan *Reynold* mempengaruhi nilai bilangan *Nusselt* dan koefisien konveksi sisi *outer tube*, dimana tren grafik menunjukkan peningkatan pada kedua parameter seiring meningkatnya nilai rasio pitch.



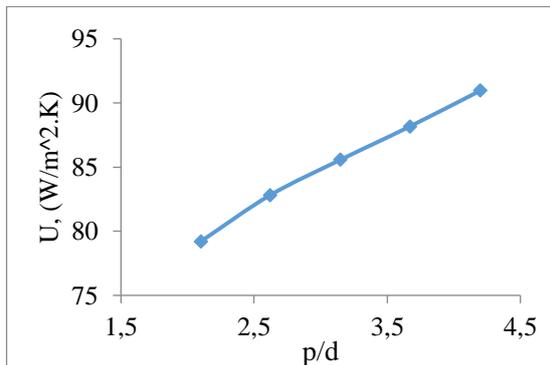
Gambar 7. Grafik bilangan *Nusselt* pada sisi luar *tube* terhadap p/d

Hal ini dikarenakan bilangan *Reynold* berbanding lurus dengan bilangan *Nusselt* dan koefisien konveksi sisi *outer tube*.

Peningkatan pada nilai  $h_i$  dan  $h_o$  akan berpengaruh pada nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). Pada gambar 9 ditunjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) meningkat seiring dengan meningkatnya nilai p/d.



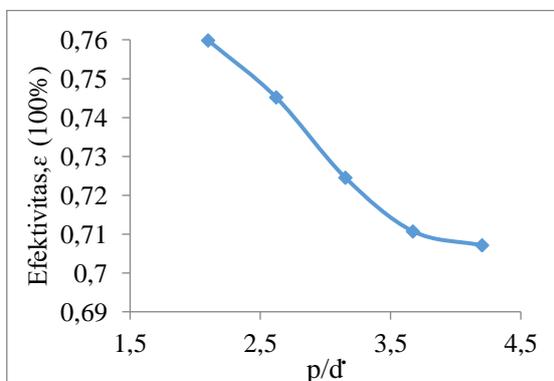
Gambar 8. Grafik koefisien konveksi sisi luar tube terhadap p/d



Gambar 9. Grafik perpindahan panas menyeluruh terhadap p/d

### 3.2 Efektivitas

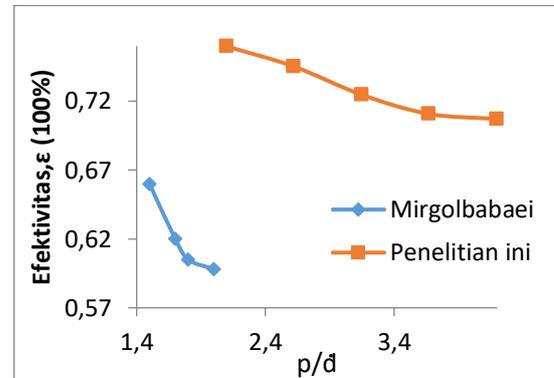
Nilai efektivitas merupakan perbandingan dari nilai perpindahan panas aktual terhadap nilai perpindahan panas maksimum yang bisa dicapai Yan et al. [8]. Nilai efektivitas pada penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian terdahulu dengan konsep yang sama, dimana p/d menjadi variabel yang divariasikan. Efektivitas tertinggi pada penelitian ini didapat pada p/d = 2,1 dengan nilai 75,9% dan nilai terendah pada p/d = 4,2 dengan nilai 70,7%.



Gambar 10. Grafik efektivitas terhadap p/d

Pada Gambar 11 ditunjukkan bahwa efektivitas dari model kondensor pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan Mirgolbabaei[8]. Hal tersebut

dipengaruhi oleh fluida kerja yang digunakan. Mirgolbabaei [8] menggunakan air sebagai fluida kerja pada sisi panas dan sisi dingin, sedangkan pada penelitian ini fluida kerja yang digunakan pada sisi panas adalah uap.



Gambar 11. Perbandingan nilai efektivitas

### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis dengan memvariasikan nilai p/d dan dengan nilai kecepatan masuk fluida dan temperatur masuk fluida yang konstan, dapat disimpulkan bahwa rasio pitch cukup berpengaruh pada kinerja suatu kondensor pipa helikal. Ditunjukkan dengan nilai efektivitas yang semakin menurun seiring dengan meningkatnya nilai p/d. Nilai kritis dan nilai optimal dari rasio pitch ditentukan oleh fluida kerja yang digunakan pada kondensor.

### DAFTAR NOTASI

- p/d : Rasio pitch
- Ra : Bilangan Rayleigh
- g : percepatan Gravitasi ( m/s<sup>2</sup>)
- β : Koefisien Ekspansi Termal Volumetric (K<sup>-1</sup>)
- ν : Viskositas kinematik fluida (m<sup>2</sup>/s)
- T<sub>s</sub> : Temperatur permukaan (K)
- T<sub>∞</sub> : Temperatur sekeliling (K)
- Cp : Panas spesifik (J/kg.K)
- μ : viskositas dinamis (N.s/m<sup>2</sup>)
- k : konduksi termal (W/m.K)
- d : diameter pipa (m)
- Nu<sub>h</sub> : bilangan Nusselt pada sisi tube
- k<sub>h</sub> : konduktivitas termal fluida pada sisi tube (W/m.K)
- L : Panjang karakteristik (m)
- ρ : massa jenis fluida pada sisi shell (kg/m<sup>3</sup>)
- u : kecepatan aliran fluida pada sisi shell (m/s)
- D<sub>H,shell</sub> : diameter hidraulik
- μ<sub>c</sub> : viskositas dinamis (N.s/m<sup>2</sup>)
- Nu<sub>c</sub> : bilangan Nusselt pada sisi shell

$k_c$	: konduktivitas termal fluida pada sisi shell (W/m.K)
do	: diameter <i>outer tube</i> (m)
di	: diameter <i>inner tube</i> (m)
hi	: koefisien konveksi <i>inner tube</i> (W/m <sup>2</sup> .K)
ho	: koefisien konveksi <i>outer tube</i> (W/m <sup>2</sup> .K)
$k_w$	: konduktivitas termal dinding tube (W/m.K)
$\varepsilon$	: efektivitas
$\dot{m}$	: laju aliran massa (kg/s)
C	: laju kapasitas panas
T	: suhu (K)
V	: Laju aliran volumetrik (m <sup>3</sup> /s)
$\rho$	: Densitas (kg/m <sup>3</sup> )

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moawed, M. (2005). Experimental investigation of natural convection from vertical and horizontal helicoidal pipes in HVAC applications. *Energy Conversion and Management*, 46(18–19), 2996–3013. [https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.02.002]
- [2] Fernández-Seara, J., Piñeiro-Pontevedra, C., & Dopazo, J. A. (2014). On the performance of a vertical helical coil heat exchanger. Numerical model and experimental validation. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 680–689. [https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.054]
- [3] Alimoradi, A., & Veysi, F. (2017). Optimal and critical values of geometrical parameters of shell and helically coiled tube heat exchangers. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 73–78. [https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.03.003]
- [4] Xu, X., Zhang, Y., Liu, C., Zhang, S., & Dang, C. (2018). Experimental investigation of heat transfer of supercritical CO<sub>2</sub> cooled in helically coiled tubes based on exergy analysis. *International Journal of Refrigeration*, 89, 177–185. [https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.03.011]
- [5] Mirgolbabaei, H. (2018). Numerical investigation of vertical helically coiled tube heat exchangers thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, 136(February), 252–259. [https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.061]
- [6] Moawed, M. (2011). Experimental study of forced convection from helical coiled tubes with different parameters. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1150–1156. [https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.009]
- [7] Tuncer, A. D., Sözen, A., Khanlari, A., Gürbüz, E. Y., & Variyenli, H. İ. (2021). Analysis of thermal performance of an improved shell and helically coiled heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 184. [https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116272]
- [8] Yan, S. R., Moria, H., Pourhedayat, S., Hashemian, M., Assadi, S., Sadighi Dizaji, H., & Jermsttiparsert, K. (2020). A critique of effectiveness concept for heat exchangers; theoretical-experimental study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, 120160. [https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120160]
- [9] Sheeba, A., Abhijith, C. M., & Jose Prakash, M. (2019). Experimental and numerical investigations on the heat transfer and flow characteristics of a helical coil heat exchanger. *International Journal of Refrigeration*, 99, 490–497. [https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.12.002]

## KAJI PERFORMANSI REFRIGERAN R-290, R-32, DAN R-410A SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI R-22

R. Ufie<sup>1,\*</sup>, C. S. E Tupamahu<sup>2</sup>, S. J. E. Sarwuna<sup>3</sup>, Jufraet Frans<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [rikhardufienew@gmail.com](mailto:rikhardufienew@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [tupamahucendy@gmail.com](mailto:tupamahucendy@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [etwansarwuna19@gmail.com](mailto:etwansarwuna19@gmail.com)

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [jufraet\\_f@gmail.com](mailto:jufraet_f@gmail.com)

**Abstrak.** Refrigeran R-22 termasuk bahan perusak lapisan ozon, sehingga dalam bidang pengkondisian udara mulai diganti antara lain dengan refrigeran R-32 dan R-410a, dan juga R-290. Melalui penelitian ini hendak diketahui berapa besar Coefficient of Performance (COP) dan Kapasitas Refrigerasi ( $Q_e$ ) yang dapat dihasilkan untuk keempat jenis refrigeran tersebut. Kajian dilakukan secara teoritik untuk kondisi kerja siklus kompresi uap dengan temperatur evaporasi ( $T_{evap}$ ) sebesar 0, -5, dan -10°C, temperatur refrigeran dipanaskan lanjut ( $\Delta T_{SH}$ ) sebesar 5 °C, temperatur kondensasi ( $T_{kond}$ ) 45 °C dan temperatur refrigeran bawah-dingin ( $\Delta T_{SC}$ ) 10 °C dan daya kompresi sebesar 1 PK. Hasil kajian menunjukkan bahwa Coefficient of Performance (COP) pada penggunaan R-22 dan R-290 lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan R-32 dan R-410a, yaitu masing-masing sebesar 4,920 ; 4,891; 4,690 dan 4,409 jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar 0 °C; 4,260; 4,234; 4,060 dan 3,812 jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -5 °C; dan sebesar 3,730; 3,685; 3,550 dan 3,324 jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -10 °C. Berdasarkan besar COP tersebut, jika instalasi ini bekerja dengan daya kompresi 1 PK, maka kapasitas pendinginan (Cooling Capacity) pada penggunaan R-22 dan R-290 lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan R-32 dan R-410a, yaitu masing-masing sebesar 3,617 kW ; 3,597 kW; 3,449 kW dan 3,243 kW. Jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar 0 °C; 3,133 kW; 3,114 kW; 2,986 kW dan 2,804 kW jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -5 °C; dan sebesar 2,741 kW; 2,710 kW; 2,611 kW dan 2,445 kW jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -10°C.

Kata kunci: Perbandingan Refrigeran, R-22, R-32, R-290; R-410a, COP, Kapasitas refrigerasi.

**Abstract.** Refrigerant R-22 is a substance that destroys the ozone layer, so that in the field of air conditioning it has begun to be replaced, among others with refrigerants R-32 and R-410a, and also R-290. Through this research, we want to know how much Coefficient of Performance (COP) and Refrigeration Capacity ( $Q_e$ ) can be produced for the four types of refrigerants. The study was carried out theoretically for the working conditions of the vapor compression cycle with an evaporation temperature ( $T_{evap}$ ) of 0, -5, and -10°C, a further heated refrigerant temperature ( $\Delta T_{SH}$ ) of 5 °C, a condensation temperature ( $T_{kond}$ ) of 45 °C and a low-cold refrigerant temperature. ( $\Delta T_{SC}$ ) 10 °C and compression power of 1 PK . The results of the study show that the Coefficient of Performance (COP) in the use of R-22 and R-290 is higher than the use of R-32 and R-410a, which are 4,920 respectively; 4,891; 4.690 and 4.409 when working at an evaporation temperature of 0 °C; 4.260; 4,234; 4.060 and 3.812 when working at an evaporation temperature of -5 °C; and amounted to 3,730; 3,685; 3,550 and 3,324 if working at an evaporation temperature of -10 °C. Based on the size of the COP, if this installation works with a compression power of 1 PK, then the cooling capacity of the R-

*22 and R-290 is higher than the R-32 and R-410a, which are 3,617 respectively. kW; 3,597 kW; 3,449 kW and 3,243 kW. If working at an evaporation temperature of 0 °C; 3.133 kW; 3.114 kW; 2,986 kW and 2,804 kW if working at an evaporation temperature of -5 °C; and 2,741 kW; 2,710 kW; 2,611 kW and 2,445 kW if working at an evaporation temperature of -10°C.*

*Keywords: Refrigeran, R-22, R-32, R-290; R-410a, COP, capacity refrigeration.*

## 1. PENDAHULUAN

Sejak ditetapkannya Protokol Montreal 1987 yang diikuti berbagai amandemennya, secara internasional terus dilakukan pembatasan dan penghapusan secara bertahap (phase-out) penggunaan jenis refrigeran yang termasuk dalam bahan perusak lapisan ozon dan juga upaya penggantian refrigeran baik yang sifatnya drop in substitute maupun jenis refrigeran dengan instalasi yang baru. Salah satu jenis refrigeran yang termasuk dalam kategori bahan perusak lapisan ozon yakni R-22 (Hydrochlorofluorocarbon, HCFC-22) yang banyak digunakan pada unit pengkondisian udara [1]. Refrigeran R-22 ini diketahui memiliki indeks ODP (Ozone Depleting Potential) sebesar 0,05 dan juga indeks GWP (Global Warming Potential) sebesar 1800.

Sesuai Peraturan Menteri Perdagangan RI No. 55/M-DAG/PER/ 9/1014, semua barang berbasis sistem pendingin yang menggunakan refrigeran ini baik dalam keadaan terisi maupun kosong dilarang untuk diimpor sejak tanggal 1 Januari 2015. Ini berarti unit pendingin R-22 dengan berbagai merek tidak lagi diperbolehkan untuk diimpor, walau instalasi yang ada masih ada tetap diizinkan untuk digunakan, menuju penghapusan total refrigeran ini pada Januari 2030.

Mengingat penggunaan instalasi pendingin R-22 yang cukup luas, maka telah dilakukan upaya pencarian refrigeran pengganti untuk dapat digunakan pada instalasi dimaksud antara lain dikenal dengan nama HCR-22 dan Musicool-22. Kedua Refrigeran ini berbasis bahan propana (R-290) dan natural butane (R-400 dan R-400a) dan memiliki keunggulan yakni bersifat drop-in substitute yaitu dapat digunakan secara langsung tanpa penggantian komponen utama sistem refrigerasi yang ada [2]. Kaji eksperimental terhadap jenis refrigeran Hycool HCR-22 sebagai alternatif pengganti R-22 [3], dimana ditemukan bahwa nilai Coefficient of Performance (COP) dari refrigerant R-22 rata-rata masih lebih tinggi dari Hycool HCR-22.

Akhir-akhir ini mulai diperkenalkan penggunaan refrigeran berbasis R-290 [4][5][6],

penggunaan refrigeran R-32 [7] dan R-410a sebagai instalasi pendingin [8]. Refrigeran R-410a diperkenalkan sebagai refrigeran yang ramah lingkungan yaitu karena memiliki ODP = 0 walaupun GWP masih cukup tinggi yaitu sebesar 2090, sedangkan berdasar pada cooling index diklaim bahwa R-32 lebih unggul dibanding R-22, selain sifatnya yang ramah lingkungan (ODP = 0 dan GWP = 675) walau termasuk dalam jenis refrigeran yang mudah terbakar [9].

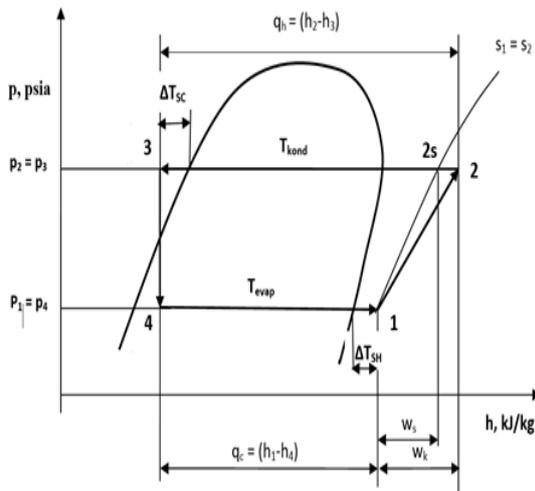
Dalam penelitian ini dilakukan kajian teoritik untuk membandingkan besar nilai COP dari keempat jenis refrigeran yakni R-22, R-32, R-290 dan R-410a untuk kondisi kerja siklus kompresi uap yang sama dan menilai manakah di antara keempat refrigeran tersebut yang memberi kapasitas refrigerasi yang tertinggi untuk daya kompresi yang sama. Kajian ini dipandang perlu untuk mendapatkan penilaian berdasar sudut pandang termodinamika terlepas dari berbagai klaim yang diajukan para produsen. Penelitian ini dilakukan pada Lab. Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara Fakultas Teknik Universitas Pattimura

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Kondisi Kajian

Kajian dilakukan untuk penggunaan refrigeran R-22, R-32, R-290, dan R-410a, masing-masing pada unit pengkondisian udara dengan daya kompresi sebesar 1 PK atau setara dengan 0,7355 kW, yang diandaikan bekerja pada kondisi sebagai berikut:

- Temperatur evaporasi (T<sub>evap</sub>), sebesar 0 °C, -5 °C, dan -10 °C.
- Kenaikan temperatur refrigeran akibat pemanasan lanjut sebelum memasuki kompresor ( $\Delta T_{SH}$ ), sebesar 5°C.
- Temperatur evaporasi sebesar 45°C.
- Penurunan temperatur refrigeran akibat pendinginan lanjut (bawah-dingin) sebelum memasuki peralatan ekspansi ( $\Delta T_{SC}$ ), sebesar 10 °C.
- Efisiensi isentropik kompresor ( $\eta_{is}$ ) sebesar 0,95



Gambar 1. Kondisi kajian sesuai skema diagram tekanan-entalpi (p-h)

**2.2. Prosedur Perhitungan**

Perhitungan dilakukan untuk penggunaan refrigeran R-22, R-32, R-290, dan R-410a, masing-masing untuk tiga kondisi kerja, yaitu pada temperatur evaporasi sebesar 0 oC, -5 oC dan -10 oC, dengan prosedur sebagai berikut:

- a) Sesuai besar temperatur evaporasi ditentukan lebih dulu besar tekanan evaporasi (p1=p4) dan tekanan kondensasi (p2 = p3) sesuai data sifat refrigeran yang bersangkutan.
- b) Berdasarkan tekanan evaporasi dan kenaikan temperatur evaporasi pada proses pemanasan lanjut (ΔTSH), ditetapkan temperatur refrigeran pada tingkat keadaan 1 yakni saat memasuki kompresor (T1 = T<sub>evap</sub> + ΔTSH).
- c) Berdasarkan tekanan kondensasi dan penurunan temperatur evaporasi pada proses pendinginan lanjut (ΔTSC), ditetapkan temperatur refrigeran pada tingkat keadaan 3 yakni saat memasuki peralatan ekspansi (T3 = T<sub>kond</sub> - ΔTSC).
- d) Dengan mengikuti garis entropi konstan yang ditarik dari tingkat keadaan 1, selanjutnya ditetapkan tingkat keadaan 2s pada perpotongan garis ini dengan garis tekanan evaporasi (s1=s2s).
- e) Untuk tiap tingkat keadaan, selanjutnya dicari nilai entalpi (h1, h2s, dan h3 = h4) yakni masing-masing untuk tingkat keadaan 1, 2s, dan 3.
- f) Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai entalpi (h2) pada tingkat keadaan 2, dengan persamaan:

$$h_2 = h_1 + (h_{2s} - h_1) / \eta_{is} \tag{1}$$

- g) Berdasarkan nilai entalpi untuk tiap tingkat keadaan dilakukan perhitungan besar dampak refrigerasi (q<sub>o</sub>), Ashrae [10]

$$q_0 = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \tag{2}$$

Kerja kompresi isentropik spesifik (w<sub>s</sub>), Ashrae [10]

$$w_s = h_2 - h_1 \tag{3}$$

laju alir massa refrigeran (m), Ashrae [10]

$$\dot{m}_{ref} = \frac{q_e}{h_1 - h_4} \text{ (kg/s)} \tag{4}$$

kerja kompresi aktual spesifik (w<sub>k</sub>), Ashrae [10]

$$w_k = \dot{m}_{ref} \cdot w_s \tag{5}$$

kalor spesifik yang dilepas kondensor (q<sub>k</sub>), Ashrae [10]

$$q_k = \dot{m}_{ref} \cdot q_k \tag{6}$$

besar Coefficient of Performance (COP), Ashrae [10].

$$COP = \frac{q_0}{w_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{7}$$

- h) Sesuai hasil perhitungan Coefficient of Performance (COP) dan daya kompresi (W<sub>k</sub>), dihitung kapasitas refrigerasi (Q<sub>c</sub>) tiap refrigeran, Ashrae [10].

$$Q_c = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \tag{8}$$

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Hasil**

Tabel 1. Hasil perhitungan dampak refrige-rasi (q<sub>o</sub>) antara R-22, R-32, R-290 dan R-410a.

No	Jenis refri-geran	Besarnya dampak refrigerasi (q <sub>o</sub> ) sesuai variasi temperatur evaporasi			Sat °C
		0	-5	-10	
1	R-22	165.7200	163.7300	161.6800	kJ/kg
2	R-32	256.5170	255.2500	253.7900	kJ/kg
3	R-290	290.8300	285.1500	279.2100	kJ/kg
4	R-410a	161.9700	160.1800	158.2600	kJ/kg

Tabel 2. Hasil perhitungan perbandingan laju alir massa refrigeran (m)

No	Jenis refri-geran	Besarnya laju alir massa (m) sesuai variasi temperatur evaporasi			Sat °C
		0	-5	-10	
1	R-22	0,022	0,019	0,017	kg/s
2	R-32	0,013	0,012	0,010	kg/s
3	R-290	0,012	0,011	0,010	kg/s
4	R-410a	0,020	0,018	0,015	kg/s

Tabel 3. Hasil perhitungan perbandingan besar kerja kompresi spesifik ( $w_k$ )

No	Jenis refrigeran	Besar kerja kompresi spesifik ( $w_k$ ) sesuai variasi temperatur evaporasi			Sat °C
		0	-5	-10	
1	R-22	0,7355	0,7355	0,7355	kg/s
2	R-32	0,7355	0,7355	0,7355	kg/s
3	R-290	0,7355	0,7355	0,7355	kg/s
4	R-410a	0,7355	0,7355	0,7355	kg/s

Tabel 4. Hasil perhitungan perbandingan besar kalor yang dilepas kondensor ( $q_k$ )

No	Jenis Refrigeran	Besar kalor yang dilepas kondensor ( $q_k$ ) sesuai variasi temperatur evaporasi			Sat °C
		0	-5	-10	
1	R-22	197,73	200,25	202,89	kg/s
2	R-32	308,48	314,97	321,70	kJ/kg
3	R-290	347,32	349,13	351,20	kg/s
4	R-410a	196,87	200,10	203,49	kJ/kg

Tabel 5. Hasil perhitungan perbandingan besar COP

No	Jenis refrigeran	Besar Coefficient of Performance (COP) sesuai variasi temperatur evaporasi			Sat °C
		0	-5	-10	
1	R-22	4,92	4,26	3,73	kg/s
2	R-32	4,690	4,060	3,550	kJ/kg
3	R-290	4,891	4,234	3,685	kg/s
4	R-410a	4,409	3,812	3,324	kJ/kg

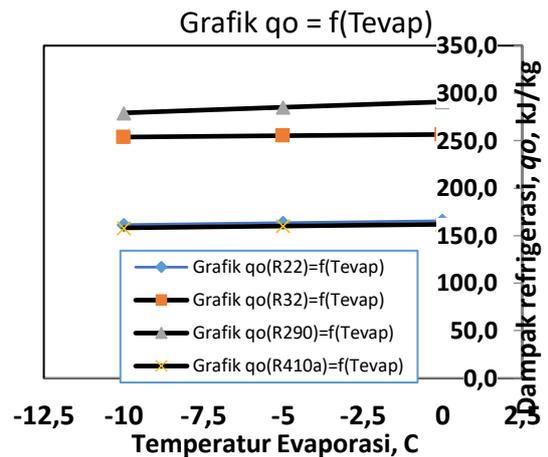
Tabel 6. Hasil perhitungan perbandingan kapasitas refrigerasi ( $Q_c$ )

No	Jenis refrigeran	Besar kapasitas pendinginan sesuai variasi temperatur evaporasi			Sat °C
		0	-5	-10	
1	R-22	3.617	3.133	2.741	kW
2	R-32	3.449	2.986	2.611	kW
3	R-290	3.597	3.114	2.710	kW
4	R-410a	3.243	2.804	2.445	kW

### 3.2. Pembahasan

#### • Perbandingan Besar Dampak Refrigerasi

Perbandingan besar dampak refrigerasi antara refrigeran R-22, R-32, R-290 dan R-410a sesuai hasil perhitungan pada Tabel 1, ditunjukkan secara grafik pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik perbandingan besar dampak refrigerasi

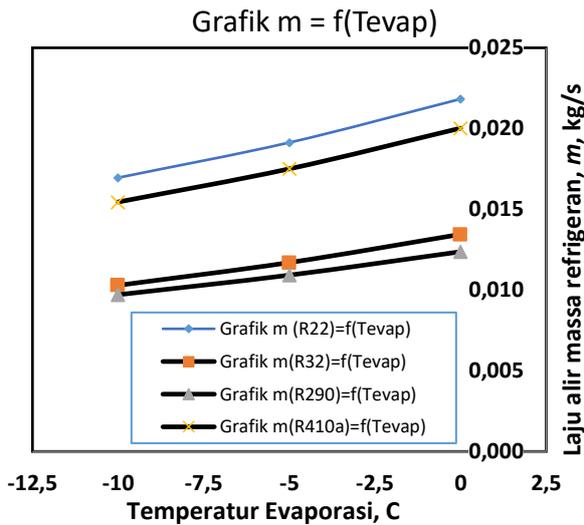
Sesuai Gambar 2, terlihat bahwa dampak refrigerasi pada penggunaan refrigeran R-290 dan R-32 lebih tinggi dibandingkan dengan pada penggunaan refrigeran R-22 dan R-410a. Oleh karena dampak refrigerasi ini dihitung sebagai selisih antara besar entalpi antara tingkat keadaan 1 dan tingkat keadaan 4 ( $q_o = h_1 - h_4$ ), maka hal ini semata-mata tergantung pada sifat refrigeran yang bersangkutan. Untuk tiap refrigeran terlihat pula bahwa dampak refrigerasi semakin membesar dengan meningkatnya temperatur evaporasi.

#### • Perbandingan Besar Laju Alir Massa Refrigerant

Perbandingan besar laju alir massa refrigeran antara refrigeran R-22, R-32, R-290 dan R-410a sesuai hasil perhitungan pada Tabel 2, ditunjukkan secara grafik pada Gambar 3.

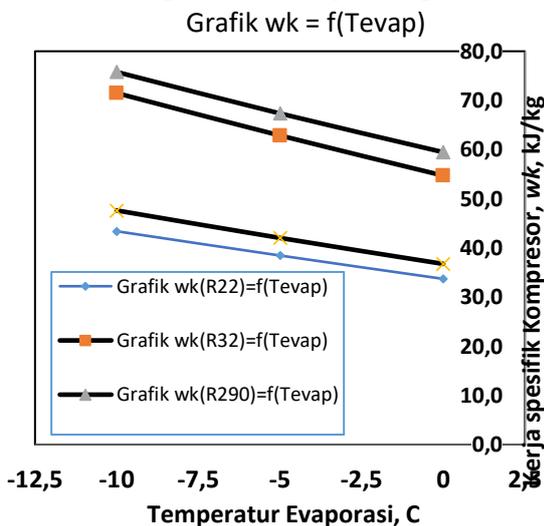
Gambar 3, terlihat bahwa laju alir massa refrigerasi yang dibutuhkan pada penggunaan refrigeran R-22 dan R-410a lebih tinggi dibandingkan dengan pada penggunaan refrigeran R-32 dan R-290. Hal ini disebabkan karena pada beban pendinginan yang konstan laju alir massa refrigeran ini berbanding terbalik dengan dampak refrigerasi yang dihasilkan oleh tiap refrigeran.

Pada beban konstan, semakin kecil dampak refrigerasi akan berakibat pada semakin besar laju alir massa yang dibutuhkan. Kenyataan ini dapat dilihat dengan membandingkan grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 3. Grafik perbandingan laju alir massa

• **Perbandingan besar kerja kompresi (wk)**



Gambar 4. Grafik perbandingan besar kerja kompresi

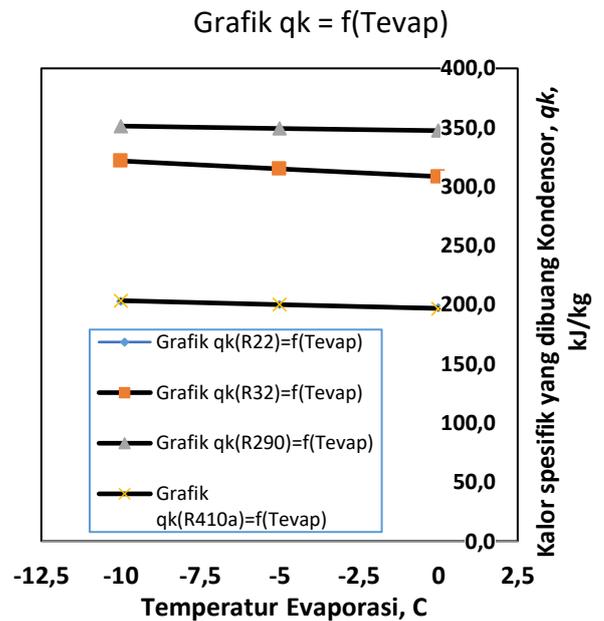
Perbandingan besar kerja kompresi spesifik (wk) yang diperlukan antara penggunaan refrigeran R-22, R-32, R-290 dan R-410a sesuai hasil perhitungan pada Tabel 3, ditunjukkan secara grafik pada Gambar 4.

Gambar 4, terlihat bahwa kerja kompresi spesifik pada penggunaan refrigeran R-290 dan R-32 lebih tinggi dibandingkan dengan pada penggunaan refrigeran R-410a dan R-22. Oleh karena kerja kompresi spesifik ini dihitung sebagai selisih antara besar entalpi antara tingkat keadaan 2 dan tingkat keadaan 14 ( $w_k = h_2 - h_{14}$ ).

• **Perbandingan besar kalor yang dilepaskan kondensor**

Perbandingan besar kalor yang dilepaskan kondensor antara refrigeran R-22, R-32, R-290

dan R-410a sesuai hasil perhitungan pada Tabel 4, ditunjukkan secara grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik perbandingan besar kalor yang dilepaskan kondensor

Sesuai Gambar 5, terlihat bahwa kalor yang harus dilepaskan oleh kondensor pada penggunaan refrigeran R-290 dan R-32 lebih tinggi dibandingkan dengan pada penggunaan refrigeran R-410a dan R-22. Dengan semakin kalor yang harus dilepaskan oleh kondensor maka semakin besar pula ukuran kondensor yang dibutuhkan. Terlihat pula bahwa untuk tiap refrigeran kerja kompresi spesifik yang dibutuhkan semakin membesar dengan meningkatnya temperatur evaporasi.

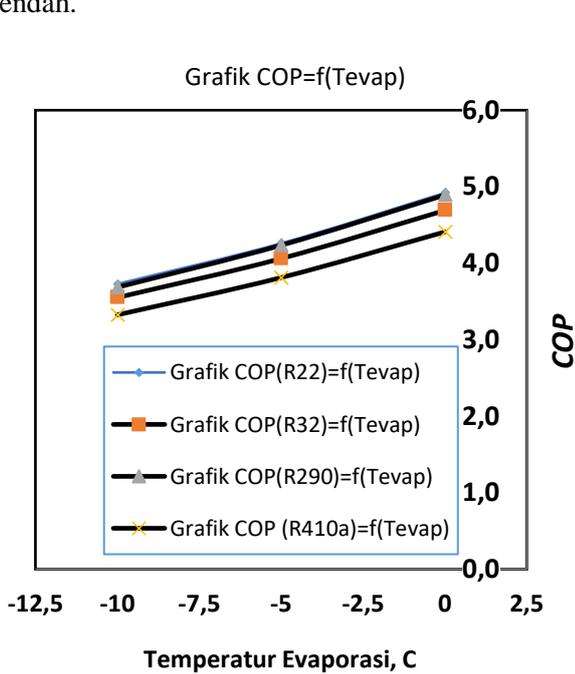
• **Perbandingan Besar COP**

Perbandingan besar Coefficient of Performance (COP) antara refrigeran R-22, R-32, R-290 dan R-410a sesuai hasil perhitungan pada Tabel 5, ditunjukkan secara grafik pada Gambar 6.

Sesuai Gambar 6, terlihat bahwa Coefficient of Performance (COP) pada penggunaan refrigeran R-22 dan R-290 lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan refrigeran R-32 dan terakhir pada refrigeran R-410a. Oleh Coefficient of Performance (COP) ini merupakan perbandingan antara besar kapasitas pendinginan yang bisa dihasilkan terhadap daya kompresi ( $COP = Q_c/W_k$ ), maka untuk daya kompresi yang sama, refrigeran yang mempunyai nilai COP yang tinggi akan menghasilkan kapasitas pendinginan yang tinggi pula. Terlihat pula bahwa untuk tiap refrigeran nilai COP semakin membesar dengan meningkatnya temperatur evaporasi, walaupun

untuk kepentingan pengkondisian udara maupun pendinginan produk, temperatur evaporasi harus dipertahankan pada harga yang relatif cukup rendah.

besar dibanding pada penggunaan rR-32 dan R-410a.

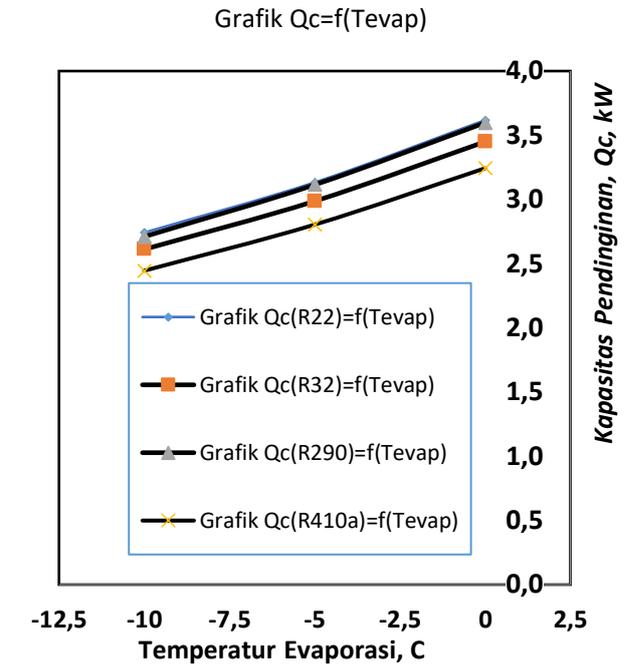


Gambar 6. Grafik perbandingan besar Coefficient of Performance (COP)

Hasil kajian ini menunjukkan kecenderungan yang sama dengan kaji eksperimental yang dilakukan oleh Priangkoso et al. pada AC Splik 1/2 PK dimana pada pengujian selama 120 menit diperoleh COP rata-rata untuk R-22 lebih tinggi dari R-32, dan R-410a, yaitu masing-masing sebesar 7,11, 5,23 dan 4,68. [11]. Hasil kajian Mahendra dkk, pada AC 2 HP juga menunjukkan bahwa R-22 memiliki COP yang lebih tinggi dari R-290 dan R-407C, masing-masing sebesar 4,408, 3,72 dan 4,086 [12].

**• Perbandingan Besar Kapasitas Pendinginan**

Perbandingan besar Kapasitas Pendinginan yang dapat dihasilkan antara refrigeran R-22, R-32, R-290 dan R-410a sesuai hasil perhitungan pada Tabel 6, ditunjukan secara grafik pada Gambar 7. Sesuai Gambar 7, terlihat bahwa Kapasitas Pendinginan yang dapat dihasilkan pada penggunaan refrigeran R-22 dan R-290 lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan refrigeran R-32 dan terakhir pada refrigeran R-410a. Sesuai persamaan untuk menghitung koefisien performansi,  $COP = Q_c/W_k$ , maka untuk daya kompresi yang sama dengan demikian penggunaan refrigeran R-22 dan R-290 akan menghasilkan kapasitas refrigerasi yang lebih



Gambar 7. Grafik perbandingan besar Kapasitas Pendinginan (Qc) antara penggunaan refrigeran R-22, R-32, R-290 dan R-410a, sesuai variasi temperatur evaporasi

Terlihat pula bahwa untuk tiap refrigeran kapasitas refrigerasi akan semakin membesar dengan meningkatnya temperatur evaporasi, walaupun sebagaimana telah dikemukakan, untuk kepentingan pengkondisian udara maupun pendinginan produk, temperatur evaporasi harus dipertahankan pada harga yang relatif cukup rendah.

**4. KESIMPULAN**

Sesuai hasil penelitian ini maka untuk unit pengkondisian udara, dapatlah disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. *Coefficient of Performance (COP)* pada penggunaan refrigeran R-22 dan R-290 lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan refrigeran R-32 dan refrigeran R-410a. yaitu masing-masing sebesar 4,92 ; 4,891; 4,690 dan 4,409 jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar 0 °C; 4,260; 4,234; 4,060 dan 3,812 jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -5 °C; dan sebesar 3,730; 3,685; 3,550 dan 3,324 jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -10°C.
2. Berdasarkan besar COP tersebut, maka jika tiap instalasi bekerja dengan daya kompresi 1

PK (0,7355kW) maka Kapasitas Pendinginan (*Cooling Capacity*) pada penggunaan refrigeran R-22 dan R-290 lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan refrigeran R-32 dan terakhir pada refrigeran R-410a, yaitu masing-masing sebesar 3,617 kW ; 3,597 kW; 3,449 kW dan 3,243 kW jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar 0 °C; 3,133 kW; 3,114 kW; 2,986 kW dan 2,804 kW jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -5 °C; dan sebesar 2,741 kW; 2,710 kW; 2,611 kW dan 2,445 kW jika bekerja pada temperatur evaporasi sebesar -10 °C.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] KOH, J. & Zakaria, Zulkifli. (2017). Hydrocarbons as Refrigerants-A Review. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*. 34.35. 10.29037/ajstd.73
- [2] Venkataiah, S., & Rao, G.V. (2014). Analysis of Alternative Refrigerants to R22 for Air-Conditioning Applications at Various Evaporating Temperatures.
- [3] Arijanto dan Ojo Kurdi (2007) Pengujian Refrigeran Hycool HCR-22 pada AC Split sebagai pengganti Freon R-22, ROTASI, Volume 9 Nomor 2 April 2007.
- [4] Ega Taqwali; HASAN, Syamsuri. Analisis Performa Refrigeran R 290 Pada Sistem AC Yang Menggunakan Accumulator Heat Exchanger. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, [S.l.],v.8,n.1, July 2015. ISSN 2541-5328.
- [5] Pramudantoro, T. P. (2018) “Pengaruh Variasi Massa Pengisian R290 Sebagai Refrigeran Pengganti R22 Pada Kinerja Freezer”, ReTII, 00.
- [6] Parashurama, S., Saleel, C. A., Govindgowda, M. S., and Khan, S. A., (2019). Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8: 496 – 501
- [7] ]Kusnandar, Kurniawan, Y., Rohmat N. Y. Analisa Performansi Mesin Pengkondisi Udara Menggunakan Refrigerant R32. *Seminar Nasional Penelitian Pengabdian Masyarakat*, Universitas Bangka Belitung, 194-196. 2018.
- [8] Amrullah, Zuryati Djafar, Wahyu H. Piarah. (2017), Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran, *Jurnal Teknologi Terapan*, vol 3, No 2.
- [9] Lumentut, Samuel R. (2020) Perbandingan Freon, R-32, R-22, R-410a, dan R-290, Sumber: <https://www.nationalelektronik.com/2020/01/perbandingan-freon-r32-r22-r410a-dan-r290/> diakses pada 28 Juni 2020. Pukul 10;00 PM.
- [10] ASHRAE, (1990): *Fundamentals Handbook*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc. Atlanta.
- [11] Priangkoso, Tabah, Nur Edy Santoso, Teguh Apriyanto dan Muhammad Dzulfikar (2018). Pengaruh Jenis Refrigerant dan Diameter Pipa Kapiler terhadap Kinerja AC Split, *Jurnal Ilmiah Momentum*, Vol. 14, No. 2, Oktober 2018, Hal. 39-45
- [12] Mahendra, Muhammad Adrian, dan Ozkar Firdaus Homzah (2015). Analisa Perbandingan Kinerja Mesin Pendingin AC Kapasitas 2 HP menggunakan R22, R290 dan R407C. *Jurnal Teknologi Pendingin dan Tata Udara Politeknik Sekayu (PETRA)* Vol 1. No, 1 Agustus 2015 hal. 11-19.

# ANALISIS LAJU ALIRAN MASSA FLUIDA DINGIN TERHADAP EFEKTIVITAS PENUKAR KALOR SHELL AND TUBE DESTILASI MINYAK ATSIRI CENGKEH ( *Syzygium aromaticum* )

Rengga Said<sup>1,\*</sup>, Nicolas Titahelu<sup>2</sup>, Rikhard Ufie<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

\*Email: [defoe20ad@gmail.com](mailto:defoe20ad@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [titahelun@gmail.com](mailto:titahelun@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [rikhadufinew@gmail.com](mailto:rikhadufinew@gmail.com)

**Abstrak.** Penukar kalor tipe *shell and tube* merupakan salah satu komponen alat destilasi minyak atsiri cengkeh menggunakan uap panas sebagai fluida panas dan air sebagai fluida dingin dimana masing-masing mengalir secara berlawanan. Sistem destilasi yang ada di lapangan masih menggunakan kondensor atau penukar kalor pipa lurus, dimana temperatur fluida panas yang keluar masih dinilai cukup tinggi sehingga indikasi efektivitas belum optimal. Untuk mengoptimalkan efektivitas, maka didesain penukar kalor *shell and tube* dengan metode numerik berbasis CFD Fluent menggunakan geometri pipa *hexagonal* pada *layout tube* 30°, 60°, 45°, dan 90° susunan *inline* dan *staggered* dan jenis aliran berlawanan. Penelitian ini memvariasikan laju aliran massa dingin ( $\dot{m}_c$ ) = 0,052; 0,059; 0,083; 0,1; 0,12 Kg/s, sedangkan laju aliran massa fluida panas konstan. Hasil penelitian simulasi diperoleh efektivitas maksimal terjadi pada laju aliran massa 0,052 kg/s sebesar 5,45% layout susunan *staggered* dan minimum terjadi pada laju aliran massa sebesar 0,12 kg/s sebesar 4,01% pada layout susunan *inline*. Hasil penelitian ini pun diharapkan bisa membantu masyarakat yang dapat digunakan untuk berbagai minyak atsiri.

Kata kunci: *Shell and tube*, efektivitas, minyak cengkeh, layout, geometri hexagonal.

**Abstract.** *Shell and tube type heat exchanger is a component of clove essential oil distillation apparatus using hot steam as hot fluid and water as cold fluid, each flowing in opposite directions. The distillation system in the field still uses a condenser or straight pipe heat exchanger, where the temperature of the hot fluid that comes out is still considered high enough so that the indication of effectiveness is not optimal. To optimize the effectiveness, a shell and tube heat exchanger is designed with a numerical method based on Fluent CFD using a hexagonal pipe geometry in tube layouts of 30°, 60°, 45°, and 90° inline and staggered arrangement and counter flow type. This study varied the cold mass flow rate ( $\dot{m}_c$ ) = 0.052; 0.059; 0.083; 0.1; 0.12 Kg/s, while the mass flow rate of the hot fluid is constant. The simulation results obtained that the maximum effectiveness occurred at a mass flow rate of 0.052 kg/s of 5.45% staggered layout and the minimum occurred at a mass flow rate of 0.12 kg/s of 4.01% on an inline layout. The results of this research are also expected to help the community which can be used for various essential oils.*

Keywords: *Shell and tube*, effectiveness, clove oil, layout, hexagonal geometry.

## 1. PENDAHULUAN

Minyak cengkeh berasal dari tanaman cengkeh (*Eugenia aromaticum*) baik dari bunga, daun, dan

gagang atau tangkai cengkeh [1]. Minyak cengkeh merupakan salah satu minyak atsiri yang dibutuhkan pada berbagai industri seperti industri

kosmetik [2], obat-obatan [3], makanan dan minuman [4], dan bahan aditif bahan bakar minyak [5]. Minyak atsiri tanaman cengkeh terdapat pada bunga (10-20%), gagang atau tangkai (5-10%) dan daun (1-4%) [6]. Komponen yang terdapat dalam minyak atsiri cengkeh adalah eugenol 70-80%.

Umumnya proses destilasi minyak atsiri menggunakan metode dikukus (*water and steam distillation*), dimana komponen-komponen destilasi terdiri dari ketel, kondensor, pipa kondensor (pipa pendingin), tangki pendingin, separator, dehidrator dan penampung minyak [1].

Kondensor merupakan salah satu tipe penukar kalor yang diklasifikasikan berdasarkan fungsi proses dimana satu aliran uap kondensasi dan aliran lainnya sebagai udara pendingin (air atau udara) [7]. Penukar kalor dapat meningkatkan efisiensi produksi industri dan memastikan keamanan peralatan, diantaranya tipe shell and tube telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti sistem tenaga, industri energi, pendinginan, ventilasi pemanas dan pendinginan udara (HVAC), dan pengolahan makanan [8–12].

Sistem destilasi yang ada di lapangan masih menggunakan kondensor atau *penukar kalor* pipa *straight* atau pipa lurus. Salah satu kekurangan dari kondensor pipa *straight* yaitu nilai temperatur fluida panas yang keluar masih dinilai cukup besar sehingga mengindikasikan bahwa efektivitas kondensor belumlah optimal dan sesuai dengan hasil penelitian [13–16].

Berbagai penelitian terkait sistem destilasi minyak atsiri diantaranya; destilasi uap bertekanan minyak atsiri dari daun cengkeh [17], peningkatan rendemen minyak atsiri daun cengkeh dengan metode deglifikasi dan fermentasi menggunakan destilasi uap [18], laju kondensasi destilasi minyak atsiri cengkeh [19], dan pengaruh beban panas pada destilasi minyak atsiri cengkeh [20]. Selain itu penelitian terkait kondensor shell and tube, diantaranya; perbandingan model geometri tube bulat, tube kotak, tube kotak dengan fillet dan tube hexagonal terhadap laju perpindahan panas [21], analisis jumlah tube dan diameter shell untuk mendapat desain kondensor optimal [22], efek tube layout pada performance penukar kalor shell and tube [23]. Nampak bahwa berbagai penelitian di atas belum adan informasi terkait penerapan penukar kalor shell and tube pada kondensor minyak atsiri.

Untuk mengoptimalkan efektivitas kondensor minyak atsiri cengkeh dengan tipe shell and tube horizontal, maka parameter yang berpengaruh

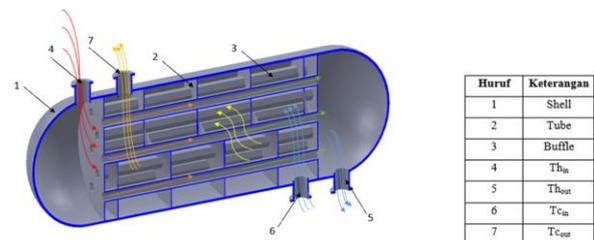
antara lain; layout tube, model geometri tube, laju aliran massa fluida sisi shell, tipe aliran [21-24].

Fokus utama penelitian ini adalah memberikan wawasan yang bermanfaat tentang karakteristik perpindahan kalor dan aliran dari penukar kalor shell and tube akibat memvariasikan laju aliran massa fluida dingin pada sisi shell dengan model geometri tube hexagonal pada layout tube susunan staggered dan jenis aliran berlawanan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Rancangan Penelitian dan Prosedur Penelitian

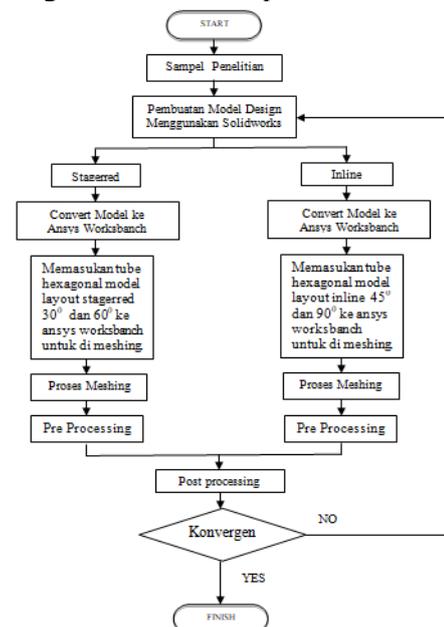
Adapun perancangan pada alat yang diperlukan untuk melakukan penelitian terlihat sebagai berikut:



Gambar 1. Model penukar kalor counter flow.

Dalam melaksanakan penelitian ini digunakan metode dan langkah – langkah sehingga tujuan dari penelitian yang dilakukan dapat sesuai dengan apa yang diharapkan.

1. Pembuatan model design dengan solidworks 2016.
2. Pembuatan Mesh.
3. Pre Processing.
  - a. Diagram alir simulasi pada CFD



Gambar 2. Diagram alir simulasi CFD aliran counter flow

b. Persamaan Diskritisasi

Diskritisasi pada simulasi ANSYS diinterpretasikan dengan pembentukan mesh atau grid. Ukuran mesh yang diterapkan pada model akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD. Semakin kecil ukuran mesh pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti namun membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan mesh yang memiliki ukuran lebih besar.

c. Independensi Grid

Tabel 1. Grid Independensi

Geometri/Part	Jenis Meshing	Jumlah Elemen
Shell/part1	Tetrahedron	24.102
Tube/part2	Tetrahedron	34.502
Baffle/part3	Tetrahedron	14.902
Total Elemen		73.506

d. Pengisian Data Material

Tabel 2. Material Propertis minyak atsiri cengkeh.

No.	Properties	Nilai	Satuan
1	Densitas, $\rho$	836	Kg/m <sup>3</sup>
2	Panas spesifik, Cp	2250	J/kg.K
3	Konduktivitas termal, K	0.136	W/m.K
4	Viskositas, $\nu$	0.17	Kg/m.s

Tabel 3. Material Propertis air.

No.	Properties	Nilai	Satuan
1	Densitas, $\rho$	998.2	Kg/m <sup>3</sup>
2	Panas spesifik, Cp	4182	J/kg.K
3	Konduktivitas termal	0.6	W/m.K
4	Viskositas	0.001003	Kg/m.s

4. Postprocessing

a. Residual Monitoring

Tabel 4. Parameter Monitoring

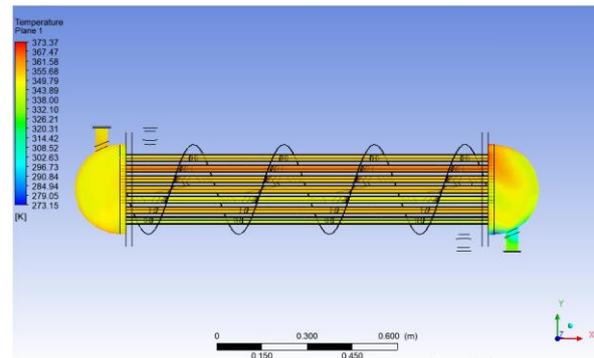
No	Parameter (satuan)	Kriteria Konvergen
1	Energy	0.001
2	Kecepatan-x (m/s)	0.1
3	Kecepatan-y (m/s)	0.1
4	Kecepatan-z (m/s)	0.1
5	k-epsilon	0.1

b. Proses Iterasi

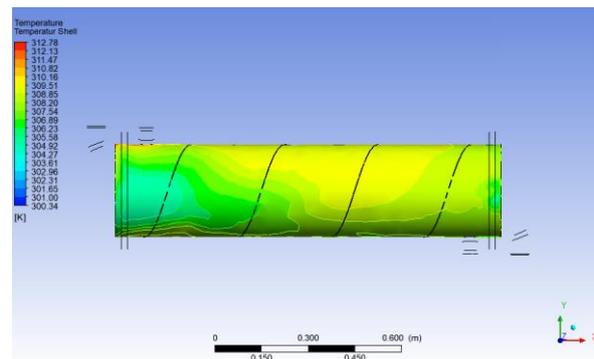
c. Viewing Result

Layout 60 derajat *Counter Flow*.

a. laju aliran massa = 0.052 kg/s.

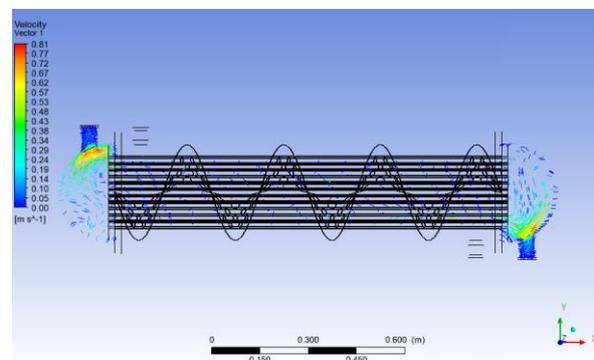


a) Tube

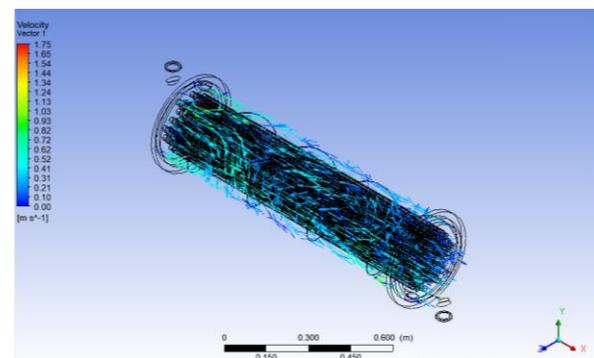


b) Shell

Gambar 3. Contour temperatur penukar kalor  
a) Tube, b) Shell.

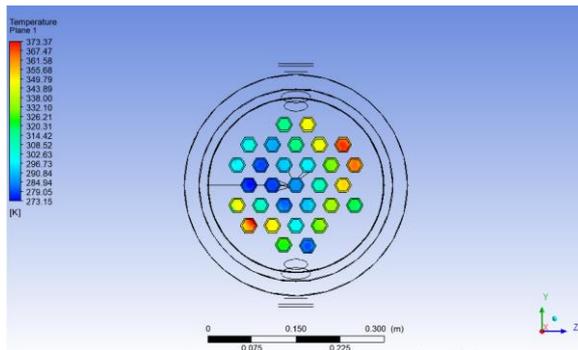


a) Tube

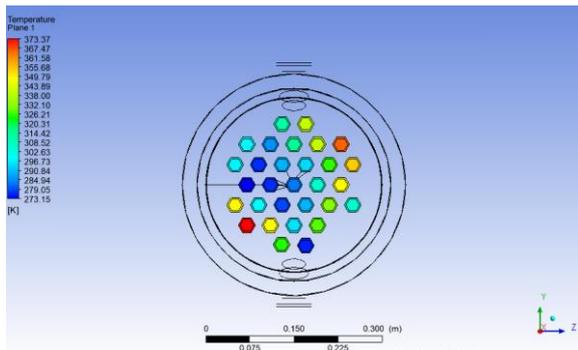


b) Shell

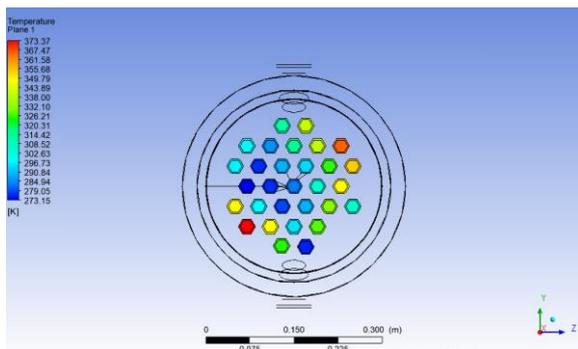
Gambar 4. Contour kecepatan penukar kalor  
a) Tube, b) Shell.



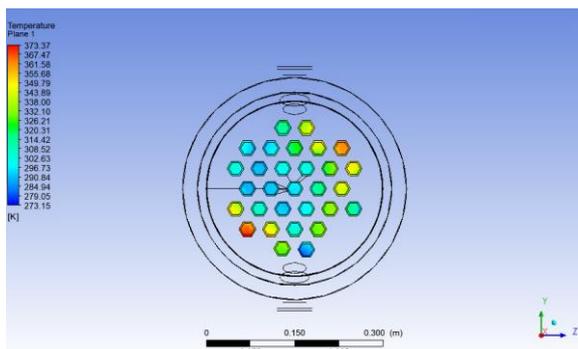
a) Span 0 meter



b) Span 0.4 meter



c) Span 0.8 meter



d) Span 1.2 meter

Gambar 5. Contour temperatur penukar kalor pada a) span 0.8 meter, b) span 0.4 meter c) span 0.8 meter d) span 1.2 meter.

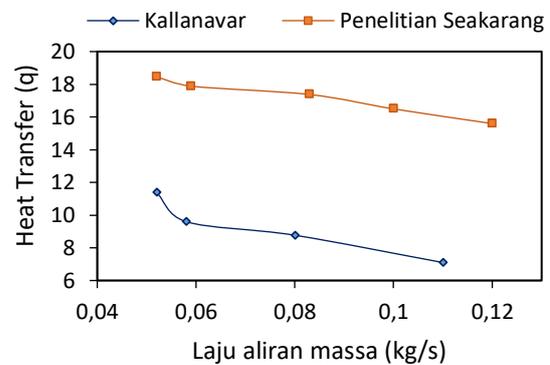
### 2.2. Validasi Model Numerik

Validasi adalah penentuan apakah mode konseptual simulasi (sebagai tandingan program komputer) adalah representasi akurat dari sistem

nyata yang sedang dimodelkan (Law dan Kelton, 1991). Ada beberapa model validasi diantaranya, model konseptual, model logika, dan model komputer atau simulasi. Dalam penelitian ini model menggunakan simulasi komputer. Verifikasi model komputer dapat dilakukan dengan :

- Metode pemrograman terstruktur
- Penelusuran model simulasi
- Pengujian relasi logis
- Verifikasi dengan model analisis
- Verifikasi menggunakan grafik

Berikut gambar grafik validasi laju aliran massa hasil penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan menggunakan simulasi disatukan dalam satu grafik untuk melihat keselarasan grafik heat transfer kedua kurva tersebut.



Gambar 6. Grafik validasi kurva laju aliran massa fluida dingin.

Gambar 6 memperlihatkan kurva grafik berwarna merah merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan menggunakan metode simulasi komputer, sedangkan yang berwarna biru merupakan hasil dari penelitian kallanavar yang dilakukan menggunakan metode eksperimen terdahulu. Kedua penelitian ini menggunakan fluida dingin yang sama yaitu air. Dengan laju aliran massa yang diberikan sama tetapi memberikan hasil nilai heat transfer keduanya berbeda atau berjauhan seperti dapat kita lihat pada grafiknya, hal ini terjadi akibat perbedaan material yang digunakan pada keduanya, untuk eksperimen yang menggunakan material copper (tembaga) sedangkan pada simulasi menggunakan material pipa aluminium.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

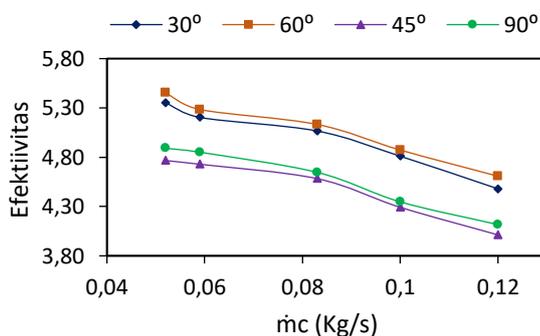
Dari data–data yang diperoleh baik dari hasil simulasi yang sudah dilakukan pada *penukar kalor* dan dengan memberikan variasi pada laju

aliran massa fluida dingin pada shell ( $\dot{m}_c$ ) = 0,052; 0,059; 0,083; 0,1; 0,12 kg/s, untuk mendapatkan efektivitas ( $\varepsilon$ ) terhadap masing – masing variasi dari 30° ; 60° ; 45° dan 90° disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan efektivitas.

Layout tube (°)	$\dot{m}_c$ (kg/s)	$\varepsilon$ (%)	
Staggered	30	0.052	5.35
	30	0.059	5.20
	30	0.083	5.07
	30	0.1	4.81
	30	0.12	4.48
	60	0.052	5.45
	60	0.059	5.28
	60	0.083	5.13
	60	0.1	4.87
	60	0.12	4.61
Inline	45	0.052	4.77
	45	0.059	4.73
	45	0.083	4.58
	45	0.1	4.29
	45	0.12	4.01
	90	0.052	4.89
	90	0.059	4.85
	90	0.083	4.65
	90	0.1	4.35
	90	0.12	4.12

Hasil simulasi dengan memvariasikan laju aliran massa ( $\dot{m}_c$ ) = 0.052, 0.059, 0.083, 0.1, 0.12 kg/s, dan layout tube yaitu 30° ; 60° ; 45° dan 90°. Memperlihatkan bahwa semakin besar laju aliran massa pada fluida dingin efektivitas ( $\varepsilon$ ) semakin menurun seperti terlihat pada gambar berikut :

Gambar 7. Grafik efektivitas ( $\varepsilon$ ) pada berbagai laju aliran massa fluida dingin.

Grafik Efektivitas ( $\varepsilon$ ) menunjukkan titik maksimum terjadi pada laju aliran massa 0.052 kg/s untuk layout 60° yaitu 5.45 mengikuti persamaan ( $\varepsilon$ ). Kemudian diikuti dengan tren grafik yang menurun setelah diberikan laju aliran massa, hal ini terjadi karena saat diberikan laju

aliran massa fluida dingin yang kecil, proses perpindahan panas mengakibatkan penyerapan temperatur yang masuk oleh air lebih banyak sehingga mengakibatkan penurunan temperatur uap cengkeh yang awalnya tinggi menjadi rendah, sebaliknya dengan diberikannya laju aliran massa yang besar proses perpindahan panas yang terjadi membuat temperatur keluaran rendah yang membuat penurunan pada efektivitas ( $\varepsilon$ ).

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{max}}} \times 100\% \quad (1)$$

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian simulasi dengan memvariasikan laju aliran massa fluida dingin diperoleh bahwa efektivitas penukar kalor shell and tube mengalami penurunan dengan bertambahnya laju aliran massa fluida dingin. Efektivitas maksimum terdapat pada laju aliran massa sebesar 0,052 kg/s sebesar 5,45% pada layout 60° susunan staggerred dan terkecil terdapat pada laju aliran massa sebesar 0,12 kg/s sebesar 4,01% pada layout 45° susunan inline. Dari hasil penelitian juga bahwa susunan staggerred memberikan perpindahan panas yang lebih baik dari susunan inline, hal ini dapat dilihat dari hasil efektivitas yang dihasilkan lebih baik yaitu pada layout susunan staggerred.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Pratiwi, M. Rachman, and N. Hidayati, “Ekstraksi Minyak Atsiri Dari Bunga Cengkeh Dengan Pelarut Etanol Dan N-Heksana,” *The 3<sup>rd</sup> University Research Colloquium*, pp. 655–661, 2016.
- [2] M. Dreger and K. Wielgus, “Application of essential oils as natural cosmetic preservatives,” vol. 59, no. 4, 2013, doi: 10.2478/hepo-2013-0030.
- [3] A. Anita, S. Khotimah, and A. H. Yanti, “Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Benalu Jambu Air (*Dendrothoe pentandra* (L.) Miq) Terhadap Pertumbuhan *Salmonella typhi*,” *Protobiont*, vol. 3, no. 2, pp. 268–272, 2014.
- [4] J. Grush, D. L. . Noakes, and R. . Moccia, “The Efficacy of Clove Oil As An Anesthetic for the Zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton),” vol. 1, no. 1, pp. 46–53, 2004.
- [5] A. T. Lawang, D. Setyaningsih, and M. Syahbana, “Evaluasi Minyak Daun Cengkeh dan Minyak Sereh Wangi Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar Dalam Menurunkan Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel,” *Teknol. Pertan.*, vol. 20, no. 2, pp. 95–102, 2019.

- [6] N. Nurdjannah, "Diversifikasi Penggunaan Cengkeh," *Perspektif*, vol. 3, no. 2, pp. 61–70.
- [7] R. K. Shah and D. P. Sekulic, *Fundamentals of Penukar Kalor Design*. John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [8] S. Chingulpitak and S. Wongwises, "A comparison of flow characteristics of refrigerants flowing through adiabatic straight and helical capillary tubes," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 38, no. 3, pp. 398–404, 2011, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.12.014.
- [9] P. K. Sahoo, M. I. A. Ansari, and A. K. Datta, "A computer based iterative solution for accurate estimation of heat transfer coefficients in a helical tube penukar kalor," *J. Food Eng.*, vol. 58, no. 3, pp. 211–214, 2003, doi: 10.1016/S0260-8774(02)00370-9.
- [10] W. H. Park and C. K. K. Yang, "Effects of using advanced cooling systems on the overall power consumption of processors," *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. Syst.*, vol. 21, no. 9, pp. 1644–1654, 2013, doi: 10.1109/TVLSI.2012.2217386.
- [11] H. Ma *et al.*, "Assessment of the optimum operation conditions on a heat pipe penukar kalor for waste heat recovery in steel industry," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. April, pp. 50–60, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.04.122.
- [12] K. Chen, Y. Chen, Y. She, M. Song, S. Wang, and L. Chen, "Construction of effective symmetrical air-cooled system for battery thermal management," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 166, p. 114679, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114679.
- [13] B. A. Bhanvase, S. D. Sayankar, A. Kapre, P. J. Fule, and S. H. Sonawane, "Experimental investigation on intensified convective heat transfer coefficient of water based PANI nanofluid in vertical helical coiled penukar kalor," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 128, pp. 134–140, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.09.009.
- [14] S. M. Hashemi and M. A. Akhavan-Behabadi, "An empirical study on heat transfer and pressure drop characteristics of CuO-base oil nanofluid flow in a horizontal helically coiled tube under constant heat flux," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 39, no. 1, pp. 144–151, 2012, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.09.002.
- [15] N. Ghorbani, H. Taherian, M. Gorji, and H. Mirgolbabaie, "Experimental study of mixed convection heat transfer in vertical helically coiled tube penukar kalors," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 900–905, 2010, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2010.02.004.
- [16] M. Majid Etghani and S. Amir Hosseini Baboli, "Numerical investigation and optimization of heat transfer and exergy loss in shell and helical tube penukar kalor," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 121, pp. 294–301, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.04.074.
- [17] Jayanudin, "Komposisi kimia minyak atsiri daun cengkeh dari proses penyulingan uap," *Tek. Kim. Indones.*, vol. 10, no. 1, pp. 37–42, 2011.
- [18] C. Wijaya, A. Jayuska, and A. H. Alimuddin, "Peningkatan Rendemen Minyak Atsiri Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) Dengan Metode Delignifikasi dan Fermentasi," vol. 4, no. 4, pp. 15–20, 2015.
- [19] R. Waelauruw, *Analisis Laju Kondensasi Akibat Pengaruh Beban Panas dan Massa Gagang Cengkeh Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Pada Destilasi Minyak Atsiri*. Fakultas Teknik Universitas Pattimura, 2016.
- [20] N. Titahelu, *Analisis Pengaruh Masukan Panas Terhadap Karakteristik Proses Destilasi Minyak Atsiri Cengkeh (*Syzygium aromaticum*)*, April. 2019.
- [21] A. P. Shinde, M. L. Shinde, S. S. Yadav, M. R. Surve, A. S. Futane, M. Bhaumik, "Performance Analysis of Penukar Kalor using CFD", *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, vol 7(3), pp: 3053-3063, 2018, doi: 10.15680/IJRSET.2018.0703072.
- [22] Sobar Ihsan, 2017. Perencanaan dan analisa perhitungan jumlah tube dan diameter shell pada kondensor berpendinginan air pada sistem refrigerasi NH3, *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, Vol. 2 (1), pp:13-17, 2017.
- [23] S. Kallannavar, S. Mashyal, M. Rajangale, Effect of tube layout on the performance of shell and tube penukar kalors, *Material Today: Proceedings*, PP:1-5, 2019, doi:10.1016/j.matpr.2019.10.151
- [24] Avinash P. Shinde, Mahadev L. Shinde, Sagar S. Yadav, Manasvi R. Surve, A. S. Futane, Mainak Bhaumik., 2018. "Performance Analysis of Penukar Kalor using CFD", *Mechanical Engineering*, Navi Mumbai, India.

## ANALISIS SIFAT MEKANIS KOMPOSIT POLYESTER YANG DIPERKUAT SERAT KULIT DURIAN (*DURIO ZIBETHINUS MURR*) AKIBAT VARIASI FRAKSI VOLUME

Arthur Yanny Leiwakabessy<sup>1\*</sup>, Benjamin G. Tentua<sup>2</sup>, Fany Laamena<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

\*Email: [arthur.leiwakabessy@gmail.com](mailto:arthur.leiwakabessy@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [benjamin.tentua@fatek.unpatti.ac.id](mailto:benjamin.tentua@fatek.unpatti.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon, 97233

Email: [laamenafany@gmail.com](mailto:laamenafany@gmail.com)

**Abstrak.** Komposit serat kulit buah durian sebagai penguat menjadi salah satu bidang penelitian yang menarik. Beberapa keuntungan yang terkait dengan penggunaan serat alami karena penguatan pada polimer adalah sifat non-abrasif dan konsumsi biaya rendah. Kulit buah durian bila diolah lebih lanjut dapat dibuat menjadi serat selulosa yang dapat dijadikan sebagai pengisi alami pada komposit polyester tidak jenuh. Di antara berbagai jenis serat alam, serat kulit durian merupakan salah satu alternatif filler komposit polymer. Kulit durian dapat diperoleh dengan mudah karena merupakan limbah keluarga yang belum dimanfaatkan. Untuk mendapatkan material komposit baru berbahan baku limbah kulit durian, serta dapat membantu masyarakat dan pemerintah dalam penanganan limbah kulit durian. Tujuan dari penelitian ini menentukan nilai maksimal variasi fraksi volume serat kulit durian terhadap nilai kekuatan impact dan kekuatan kekerasan sesuai aplikasi yang diinginkan. Penelitian ini menggunakan metode Hand Lay Up, dalam pembuatan komposit serat tunggal dengan variasi fraksi volume serat kulit durian : matrik polyester yaitu, 10%:90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60% dan 50%:50%. Hasil penelitian adalah terjadi kenaikan kekuatan impact dan kekuatan kekerasan seiring penambahan fraksi volume, dimana energi impact tertinggi untuk fraksi volume serat kulit durian 50% : 50%, sebesar 0,7738 J, dan harga impact tertinggi sebesar 0,0096725 J/mm<sup>2</sup> dan energy impact terendah 10%:90%, sebesar 0,461 J.dan harga impact terendah sebesar 0,0057685 J/mm<sup>2</sup>. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan impact dan kekerasan komposit serat kulit durian mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat.

*Kata kunci : Serat kulit durian, polyester, uji impact*

**Abstract.** Durian rind fiber composite as a reinforcement is one of the interesting research areas. Some of the advantages associated with using natural fibers due to reinforcement in polymers are their non-abrasive properties and low-cost consumption. Durian rind when processed further can be made into cellulose fiber which can be used as a natural filler in unsaturated polyester composites. Among various types of natural fibers, durian skin fiber is an alternative polymer composite filler. Durian skin can be obtained easily because it is a family waste that has not been used. To get a new composite material made from durian skin waste, and to help the community and government in handling durian skin waste. The purpose of this study was to determine the maximum value of the variation of the volume fraction of durian skin fiber on the impact strength and hardness strength according to the desired application. This study uses the Hand Lay Up method, in the manufacture of single fiber composites with variations in volume fraction of durian skin fiber: polyester matrix, namely, 10%: 90%, 20%: 80%, 30%: 70%, 40%: 60% and 50 %:50%. The results showed that there was an increase in the impact strength and hardness strength with the addition of the volume

*fraction, where the highest impact energy for the volume fraction of durian skin fiber was 50%: 50%, 0.7738 J, and the highest impact value was 0.0096725 J/mm<sup>2</sup> and energy the lowest impact is 10%: 90%, 0.461 J. and the lowest impact price is 0.0057685 J/mm<sup>2</sup>. So it can be concluded that the impact strength and hardness of the durian skin fiber composite increased with the increase in the volume fraction of the fiber.*

*Keywords: Durian peel fiber, polyester, impact test*

## 1. PENDAHULUAN

Buah durian (*Durio zibethinus* Murr) termasuk buah musiman. Kulit buah durian bila diolah lebih lanjut dapat dibuat menjadi serat selulosa yang dapat dijadikan sebagai pengisi alami pada komposit *polyester* tidak jenuh [1]. Di antara berbagai jenis serat alam, serat kulit durian merupakan salah satu alternatif filler komposit polymer [2]. Kulit durian dapat diperoleh dengan mudah karena merupakan limbah keluarga yang belum dimanfaatkan. Selama ini, bagian buah durian yang lebih umum dikonsumsi adalah bagian dagingnya. Presentase berat bagian ini termasuk rendah yaitu hanya 20-35%. Hal ini berarti kulit (60-75%) dan biji (5-15%) belum dimanfaatkan secara maksimal (Wahyono, 2009)[3]. Alasan pemilihan serat kulit durian sebagai bahan baku komposit adalah karena merupakan hasil dari limbah buah durian, murah, mudah diperoleh dalam jumlah banyak, yang terdapat di provinsi Maluku.

Peneliti sebelumnya dilakukan untuk melihat Pengaruh penambahan serat kulit durian terhadap kuat tekan dan tarik belah pada mutu beton K-175 [4]. Tujuannya untuk mengetahui berapa besar pengurangan atau penambahan kuat tekan beton terhadap faktor keamanan suatu bangunan, untuk dapat diaplikasikan pada bangunan-bangunan masyarakat umum. Dalam penelitian ini, menggunakan beton yang merupakan campuran air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan serat kulit durian. Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa, dari hasil uji kuat tekan beton dengan penambahan kulit durian 0,5%, 1,0% dan 1,5% mengalami peningkatan sebesar 2,71%, 3,29%, dan 4,97% dibandingkan beton normal. Untuk hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan penambahan kulit durian sebanyak 0,5%, 1,0%, dan 1,5% mengalami peningkatan sebesar 6,06%, 4,55%, dan 3,03% dibanding beton normal [4].

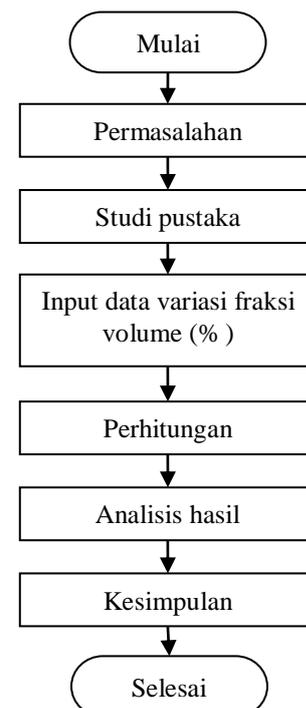
Jenis pengikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin polyester. Resin *polyester* merupakan salah satu resin termoset yang mudah diperoleh dan digunakan masyarakat

umum maupun industri skala kecil maupun besar [5]. Resin *polyester* ini juga mempunyai kemampuan berikatan dengan serat alam tanpa menimbulkan reaksi dan gas, oleh karena itu resin *polyester* digunakan dalam penelitian ini adalah resin *poliester* type BQTN 157 [6-7]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai mekanis kekuatan impak komposit serat kulit durian dengan menggunakan resin polyester [8-10].

## 2. BAHAN DAN METODE

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan secara eksperimen. Yaitu melakukan serangkaian pengujian pada objek yang teliti untuk mendapatkan data yang nantinya diperlukan sebagai bahan pembahasan.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura dan Laboratorium Material Politeknik Ambon.



Gambar 1. Alur Penelitian

Variabel penelitian dibedakan atas dua yakni; variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel yang mempegaruhi, sedangkan variabel terikat adalah variabel yang di pengaruhi.

Secara matematik hubungan variabel bebas dan variabel terikat dinyatakan sebagai [11-13] :

$$y = f(x)$$

Dimana:

y = variabel terikat adalah nilai impact ( $J/mm^2$ )

x = variabel bebas adalah variasi fraksi volume serat kulit durian berbanding matriks polyester

Yang menjadi variasi bebas (x) adalah; variasi fraksi volume (%)

Variabel terikat adalah Nilai impact, dimana :

$$\begin{aligned} W &= \text{energi awal} - \text{energi yang tersisa} \\ &= m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h' = m \cdot g \cdot (R - R \cos \alpha) \\ &\quad - m \cdot g \cdot (R - R \cos \beta) \\ &= m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \end{aligned} \tag{1}$$

Tabel 1. Variasi komposisi komposit dalam penelitian ini:

No	Serat kulit durian	polyester
1	10%	90%
2	20%	80%
3	30%	70%
4	40%	60%
5	50%	50%

Dimana :

- Esrp : energi serap (J)
- m : berat pendulum (kg)
- g : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- R : panjang lengan (m)
- $\alpha$  : sudut pendulum sebelum diayunkan
- $\beta$  : sudut ayunan pendulum setelah mematahkan specimen

Analisis kekuatan impact dilakukan dengan menggunakan pengujian impact Charpy. Besarnya kekuatan impact pada komposit secara makro mekanik dapat ditentukan dengan persamaan [14-16]

$$a_{CN} = \frac{W}{h \times b_N} \tag{2}$$

Variabel terkontrol yang digunakan antara lain:

- Penambahan MEKPO sebesar 1%
- Resin poliester sebesar 50 %.
- Ukuran panjang serat serat durian 5-10 mm dengan arah acak

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

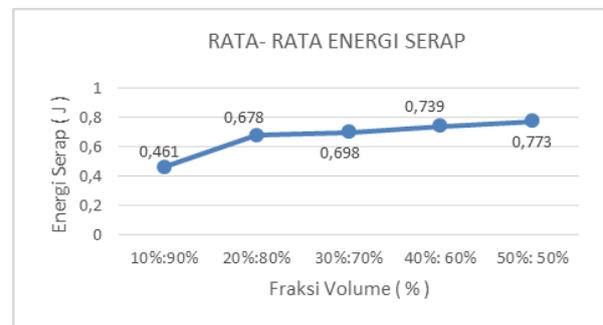
#### 3.1. Hasil Pengujian Impact

Pengujian yang dilakukan menggunakan pengujian impact charpy dengan standar ASTM E D256-00, dalam pengujian ini serat kulit durian sebagai penguat dan polyester sebagai matrik untuk fraksi volume divariasikan, hasil pengujian komposit diperoleh nilai kekuatan pengujian impact pada energi pengujian impact untuk masing-masing specimen dengan setiap perbandingan fraksi volume seperti yang terlihat pada gambar 1 & 2 di bawah ini :

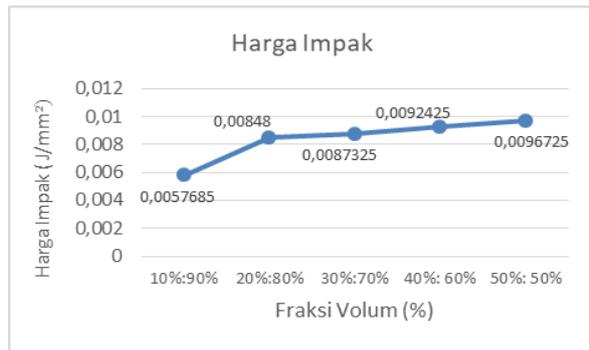
#### 3.2. Pembahasan

Dari hasil pengujian yang pengujian impact dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

Dari hasil pengujian kekuatan Impact (Gambar 2) didapat nilai energi serap terendah pada Fraksi Volume 10%:90% yaitu sebesar 0,46148 J, dan seiring bertambah pada Fraksi Volume 20%:80% yaitu sebesar 0,6784 J, dan bertambah pada Fraksi Volume 30%:70% yaitu sebesar 0,6986 J, dan bertambah pada Fraksi Volume 40%:60% yaitu sebesar 0,7394 J, dan tertinggi yaitu pada Fraksi Volume 50%:50% yaitu 0,7738 J, sedangkan untuk harga impact terendah (Gambar 3) pada fraksi volume 10%:90% yaitu sebesar 0,0057685  $J/mm^2$ , dan terus bertambah pada fraksi volume 20%:80% yaitu sebesar 0,00848  $J/mm^2$ , fraksi volume 30%:70% yaitu sebesar 0,0087325  $J/mm^2$ , fraksi volume 40%:60% yaitu sebesar 0,0092425  $J/mm^2$ , dan tertinggi yaitu pada fraksi volume 50%:50% yaitu sebesar 0,0096725  $J/mm^2$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan fraksi volume komposit serat kulit durian, maka semakin besar nilai energi serap dan harga impact.



Gambar 2. Rata-rata grafik energi serap serat kulit durian



Gambar 3. Harga impak rata-rata pengujian Impak

Dari Gambar 4 dimana mengalami pola patahan yang hampir mirip dimana terlihat mekanisme fiber pull out. Dengan brittle dimana pada ujung patahan specimen juga muncul patahan serat getas.

Selain itu ada beberapa faktor pendukung meningkatnya dan kekuatan impak antara lain:



Gambar 4. Specimen Uji Impak Serat Kulit Durian

- Daya rekat antara serat dan matrik yang baik sehingga terjadi ikatan yang kuat.
- Kekuatan komposit yang merata setiap tempat sehingga terjadinya retak sampai patah hanya pada titik yang diberi konsentrasi tegangan.
- Semakin banyak jumlah volume serat maka kemungkinan untuk bergesernya serat menjadi lebih kecil ketika mendapatkan beban.
- Serat juga memiliki sifat ulet sehingga mampu menyerap beban yang diteruskan oleh matrik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian kekuatan Impak didapat nilai energi serap terendah pada Fraksi Volume 10%:90% yaitu sebesar 0,46148 J, dan seiring bertambah pada Fraksi Volume

20%:80% yaitu sebesar 0,6784 J, dan bertambah pada Fraksi Volume 30%:70% yaitu sebesar 0,6986 J, dan bertambah pada Fraksi Volume 40%:60% yaitu sebesar 0,7394 J, dan tertinggi yaitu pada Fraksi Volume 50%:50% yaitu 0,7738 J,

2. Sedangkan untuk harga impak terendah pada fraksi volume 10%:90% yaitu sebesar 0,0057685 J/mm<sup>2</sup>, dan terus bertambah pada fraksi volume 20%:80% yaitu sebesar 0,00848 J/mm<sup>2</sup>, fraksi volume 30%:70% yaitu sebesar 0,0087325 J/mm<sup>2</sup>, fraksi volume 40%:60% yaitu sebesar 0,0092425 J/mm<sup>2</sup>, dan tertinggi yaitu pada fraksi volume 50%:50% yaitu sebesar 0,0096725 J/mm<sup>2</sup>.
3. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan fraksi volume komposit serat kulit durian, maka semakin besar nilai energi serap dan harga impak.
4. Rekomendasi, Perlu dilakukan pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai material komposit serat kulit durian, untuk menciptakan material komposit yang baru sesuai kebutuhan produk atau sebagai pengganti material baru.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang disampaikan, kepada Universitas Pattimura, yang telah membantu penelitian ini dengan menggunakan dana PNB Unpatti tahun 2020.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diharjo K., 2009 Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- [2] Pramuko 1 Purboputro, 2006, Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Impak Enceng Gondok dengan Matrik Polyester MEDIA MESIN, Vol. 7, No. 2, 70–76
- [3] Wahyono, 2009, Karakteristik Edible Film Berbahan Dasar Kulit Durian dan Pati Biji Durian (*Durio sp*) untuk Pengemasan Buah Strawberry. Skripsi. UMS.
- [4] Indra Syahrul Fuad, Bahder Djohan, Midun Saputra (2014), meneliti tentang “Pengaruh penambahan serat kulit durian terhadap kuat tekan dan tarik belah pada mutu beton K-175”.Jurnal Desiminasi Teknologi, Vol.2 No.1.
- [5] Diharjo K, 2006, *Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami - Polyester*, Jurnal Teknik Mesin Vol. 8, No. 1, Petra Christian University, Jakarta.

- [6] H.P.G. Santafe Junior, et.al., 2010. Mechanical Properties of Tensile Tested Coir Fiber Reinforced Polyester Composites. *Revista Material*.
- [7] Majid Ali., 2010. Coconut Fiber – A Versatile Material and its Applications in Engineering, National Engineering
- [8] Flach M., 1983. The Sago Palm. FAO Plant Production and Protection, Paper. FAO-Rome:85p.
- [9] Jacobs, J.A. Kilduft T.K. 1994. Engineering Material Technology Structure, Processing, Property and Selection 2. Prentice Hall, Inc A Simon Schuster Company, USA.
- [10] ASTM. 1997. *Manual book of ASTM standarts*. Philadelphia : ASTM
- [11] ASTM,. 1998. Annual Book ASTM Standar USA.
- [12] ASTM D256-00 ISO 179-1., 2003, Standart Test Method for Tensile Properties of plastic, 47-60
- [13] ASTM. D 790 Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating material. Philadelphia, PA : American Society for Testing and Materials.
- [14] Budinski Keneth G., 2003. Engineering Material Properties and Selection, Prentice Hall, New Jersey
- [15] Callister, W. D. 1991. Material Science and Engineering an Introduction, John Willey and Sons Inc, New York.
- [16] Bismarck, A. et al. 2002. Surface Characterization of Flax, Hemp and Cellulose Fiber; Surface Properties and the Water Uptake Behavior. *Journal of Polymer Composite*. Vol.23. No.5.

## ANALISIS TARIF ANGKUTAN UMUM BERDASARKAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN DI KOTA AMBON (STUDI KASUS KONDISI PSBB)

Fuad Hasan Ohorella<sup>1,\*</sup>, Imran Oppier<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Perkapalan, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [fuad24lesta@gmail.com](mailto:fuad24lesta@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Perkapalan, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233

Email: [imranoppier.iwan@gmail.com](mailto:imranoppier.iwan@gmail.com)

**Abstrak.** Angkutan umum antara laut pulau merupakan salah satu tulang punggung (*backbone*) ekonomi dimana Provinsi Maluku merupakan daerah kepulauan. Kota Ambon sebagai ibukota Propinsi Maluku adalah kota dengan aktivitas dan interaksi antar masyarakat menggunakan Angkutan Umum untuk menunjang kegiatan sehari-hari. Namun dikarenakan Pemberlakuan PSBB (Pembatasan Sosial Berskala Besar) sejak tanggal 23 Juni sampai dengan 22 November 2020 mengakibatkan dibatasinya jumlah angkutan umum (Perwali No. 18), dengan pemberlakuan ganjil genap sampai dengan pembatasan penumpang (6 orang per rit), yang mengakibatkan Biaya Operasional Kendaraan akan bertambah. Penelitian ini Bertujuan mengetahui berapa besar penggunaan tarif batas atas dan bawah untuk masyarakat dan mahasiswa. Pada penelitian ini digunakan metode Perhitungan sesuai Standart Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (2002) SK 687/AJ.206/DRDJ/2002. Hasil penelitian menunjukkan Tarif batas atas dan bawah untuk masyarakat pada Kecamatan Nusaniwe Rp 16.592 – Rp 11.061,-; Kecamatan Sirimau Rp 5.138 – Rp 3.425,-; dan Kecamatan Baguala dan Teluk Ambon Rp 25.000 – Rp 16.666,-. Tarif batas atas dan bawah untuk mahasiswa pada Kecamatan Nusaniwe Rp 8.296 – Rp 5.531,-; Kecamatan Sirimau Rp 2.569 – Rp 1.712,-; dan Kecamatan Baguala dan Teluk Ambon Rp 12.500 – Rp 8.333,-. Tarif berdasarkan BOK pada masa pemberlakuan PSBB berkisar antara Rp 25.000 – Rp 5.138,-, sedangkan tarif riel Rp 3.000 – Rp 5.000.

Kata Kunci : BOK, Tarif, Trayek.

**Abstract.** Public transportation between the island seas is one of the economic backbones where Maluku Province is an archipelagic area. Ambon City as the capital of Maluku Province is a city with activities and interactions between communities using public transportation to support daily activities. However, due to the enactment of PSBB (Large-Scale Social Restrictions) from June 23 to November 22, 2020, the number of public transportations (Perwali No. 18) is limited, with odd-even implementations up to passenger restrictions (6 people per trip), resulting in operational costs. Vehicles will increase. This study aims to find out how much the upper and lower limit tariffs are used for the community and students. In this study, the calculation method was used according to the Standards of the Directorate General of Land Transportation (2002) SK 687/AJ.206/DRDJ/2002. The results of the study show that the upper and lower tariff rates for the community in Nusaniwe District are Rp. 16,592 – Rp. 11,061,-; Sirimau District IDR 5,138 – IDR 3,425,-; and Baguala and Teluk Ambon Districts Rp. 25,000 – Rp. 16,666,-. The upper and lower limit rates for students in Nusaniwe District are Rp. 8,296 – Rp. 5,531,-; Sirimau District IDR 2,569 – IDR 1,712,-; and Baguala and Teluk Ambon Districts Rp 12,500 – Rp 8,333,-. Tariffs based on the BOK during the PSBB period ranged from Rp. 25,000 – Rp. 5,138,-, while the real tariff was Rp. 3,000 – Rp. 5,000.

Keywords: BOK, Tariff, Route.

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan transportasi timbul dari kebutuhan manusia. Transportasi dapat diartikan sebagai suatu kegiatan yang memungkinkan perpindahan manusia maupun barang, Kota Ambon sebagai Ibukota Propinsi Maluku adalah kota dengan aktivitas dan interaksi antar masyarakat yang kompleks dan bervariasi. Angkutan umum biasanya digunakan oleh masyarakat kota Ambon khususnya masyarakat yang berpenghasilan menengah kebawah, mereka menggunakan angkutan umum untuk menunjang kegiatan sehari-hari sehingga mobilitas jasa angkutan ini dirasakan sangat penting keberadaannya

Pemberlakuan PSBB (Pembatasan Sosial Berskala Besar) di Kota Ambon di mulai dari tanggal 23 juni sampai dengan 22 November 2020 mengakibatkan dibatasinya jumlah angkutan umum (Perwali No. 18), dimulai dengan diberlakukan ganjil genap sampai dengan pembatasan penumpang (6 orang per rit) [1].

Dalam penentuan tarif angkutan salah satu komponen penting adalah BOK. Sehingga dengan mengetahui BOK, seorang pengusaha dapat mengontrol biaya keluar dan masuk dengan mengetahui sub komponen BOK misalnya harga ban, harga oli, harga BBM, harga filter udara, filter penyaring, harga pelumas, upah sopir, upah kondektur, serta biaya pengeluaran yang diperlukan dalam pemeliharaan kendaraan misalnya biaya servis besar, sevice kecil dan lain sebagainya. Berdasarkan keadaan dilapangan, maka dilakukan penelitian tentang Analisis Biaya Operasional Kendaraan di Kota Ambon [2].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar tarif batas atas dan bawah berdasarkan BOK untuk Umum dan Mahasiswa.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Pembatasan Berskala Besar (PSBB)

Dikeluarkannya peraturan Wali Kota (PEWALI) No. 18 tentang PSBB [2], memuai 6 poin penting:

1. Pelaksanaan pembelajaran disekolah dan atau institusi pendidikan lainnya.
2. Aktifitas bekerja di tempat kerja.
3. Kegiatan keagamaan di tempat ibadah
4. Kegiatan di tempat umum atau fasilitas umum
5. Kegiatan sisial dan budaya
6. Pergerakan orang dan barang menggunakan moda transportasi.

Dengan fokus pada 6 poin ini, maka penerapan PSBB di Kota Ambon kedepan, akan terlihat

apakah ada penurunan aktifitas masyarakat pada tempat umum atau tidak, serta himbauan dan penerapan pada tempat-tempat ibadah, sehingga keseriusan pemerintah dalam jalankan PSBB pun tidak sia-sia.

Dalam pemberlakuan sesuai dengan Perwali No. 18 pada poin 6. Dimana pergerakan orang dan barang menggunakan moda transportasi. Sehingga Plt kepala Dinas Perhubungan menggunakan sistem ganjil genap sampai dengan penggunaan Shif A, B, dan C serta di atur juga tentang jumlah penumpang 6 orang per rit [1].

### 2.2. Pengertian Transportasi, Biaya, Angkutan Kota, Penentuan Tarif

#### a. Pengertian Transportasi

Tindakan atau kegiatan mengangkut atau memindahkan muatan (barang dan orang) dari suatu tempat ke tempat lain, atau dari tempat asal ke tempat tujuan Peranan transportasi sangat besar dalam kehidupan masyarakat modern. Dipicu oleh upaya untuk mendekatkan jarak [3], [4], [5].

Biaya sebenarnya diketahui ada dua istilah atau terminologi biaya yang perlu mendapat perhatian, yaitu sebagai berikut: 1. Biaya (*Costs*) yang dimaksud dengan biaya disini adalah semua pengorbanan yang dibutuhkan dalam rangka mencapai suatu tujuan yang diukur dengan nilai uang. 2. Pengeluaran (*Expence*) yang dimaksud dengan *expence* ini biasanya yang berkaitan dengan sejumlah uang yang dikeluarkan atau dibayarkan dalam rangka mendapatkan sesuatu hasil yang diharapkan [6], [7].

#### b. Biaya

Biaya-biaya yang biasa timbul dalam operasional berbagai bentuk sarana kendaraan ini disebut sebagai biaya operasional kendaraan (BOK) yang terdiri dari: 1. Biaya tergantung jarak yakni biaya yang jumlahnya tergantung jauh dekatnya jarak tempuh, 2. Biaya tergantung kecepatan yakni biaya yang besar kecilnya ditentukan oleh cepat lambatnya kendaraan melaju. Biasanya semakin cepat kendaraan bergerak akan semakin rendah biaya yang dikeluarkan, 3. Biaya tergantung waktu yakni yang besar kecilnya ditentukan oleh waktu operasi. Pedoman Perhitungan Komponen-Komponen Biaya [2], [7].

##### 1. Biaya Langsung

- a. Penyusutan kendaraan
- b. Bunga modal kendaraan produktif
- c. Awak kendaraan
  - Gaji/ upah

- Tunjangan kerja operasi (uang dinas)
- Tunjangan sosial
- d. Bahan bakar minyak
- e. Ban
- f. Service kecil
- g. Service besar
- h. Pemeriksaan
- i. Penembahan oli
- j. Suku cadang
- k. Cuci kendaraan
- l. Restribusi terminal
- m. STNK/Pajak
- n. Kir
- o. Asuransi
  - Asuransi kendaraan
  - Asuransi awak kendaraan

- Penyusutan pool dan bengkel
- Penyusutan inventaris/ alat kantor
- Penyusutan sarana bengkel
- Biaya administrasi kantor
- Biaya pemeliharaan kantor
- Biaya pemeliharaan pool dan bengkel
- Biaya listrik dan air
- Biaya telepon dan telegram
- Biaya perjalanan dinas selain awak kendaraan
- Pajak perusahaan
- Izin trayek
- Izin usaha
- Biaya pemasaran
- Lain-lain [2], [7], [8], [9].

Tabel 1. Asumsi perhitungan biaya

No.	Uraian	Satuan	Angkutan Kota Mobil Penumpang Umum (MPU)
1	Masa penyusutan kendaraan	Th	5
2	Jarak tempuh rata-rata	Km/hr	250
3	Bahan Bakar Minyak	Km/lt	7.5-9
4	Jarak tempuh ganti ban <sup>3)</sup>	Km	25.000
5	Ratio pengemudi/bus	Org/kend	1.2
6	Ratio kondektur/bus	Org/kend	-
7	Jarak Tempuh antar service kecil	Km	4.000
8	Suku cadang/service besar	Km	12.000
9	Penggantian minyak motor	Km	3.500
10	Penggantian minyak rem	Km	12.000
11	Penggantian Gemuk	Km/kg	4.000
12	Penggantian minyak gardan	Km	12.000
13	Penggantian minyak persneling	Km	12.000
14	Hari jalan siap operasi	Hr/th	365
15	SO : SGO	%	80
16	Nilai residu	%	-

Sumber : SK. 687/AJ.206/DRJD/2002

#### Catatan

- 1) Untuk DKI Penggunaan BBM 2,6 km/lt dan di luar DKI 3 km/lt
- 2) MPU penggunaan BBM 9 Km/lt
- 3) Daya tempuh ban tergantung koefisien gesek jalan

## 2. Biaya tidak langsung

- a. Biaya pegawai selain awak kendaraan
  - Gaji/ upah
  - Uang lembur
  - Tunjangan sosial
    - Tunjangan perawatan kesehatan
    - Pakaian dinas
    - Biaya pengelolaan
- b. Biaya pengelolaan
  - Penyusutan bangunan kantor

## 3. Asumsi Perhitungan Biaya

Untuk melakukan perhitungan biaya pokok, perlu menggunakan pedoman. Pedoman-pedoman sesuai Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor: SK.687/AJ.206/DRJD/2002 Tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Angkutan Penumpang Umum di Wilayah Perkotaan Dalam Trayek Tetap dan Teratur dapat digunakan sebagai asumsi.

Tabel 2. Kapasitas kendaraan

Jenis Angkutan	Kapasitas kendaraan			Kapasitas Penumpang Perhari /kendaraan
	Duduk	Berdiri	Total	
Mobil penumpang umum	8	-	8	250-300

Sumber: SK Nomor 687/AJ.206/DRJD/2002

## c. Angkutan Kota

Pelayanan angkutan kota dapat diselenggarakan dengan ciri-ciri [2], sebagai berikut:

### a) Trayek utama

- Mempunyai jadwal tetap, sebagaimana tercantum dalam jam perjalanan pada kartu pengawasan kendaraan yang dioperasikan.
- Melayani angkutan antar kawasan utama, antara kawasan utama dan pendukung dengan ciri melakukan perjalanan ulang-alik secara tetap.
- Pelayanan angkutan secara terus menerus serta berhenti pada tempat-tempat untuk menaikkan dan menurunkan penumpang yang telah ditetapkan untuk angkutan kota

### b) Trayek Cabang

- Berfungsi sebagai penunjang terhadap trayek utama.
- Mempunyai jadwal tetap sebagaimana tercantum dalam jam perjalanan pada

kartu pengawasan kendaraan yang dioperasikan.

- Melayani angkutan pada kawasan pendukung dan antara kawasan pendukung dan permukiman.
- Pelayanan angkutan secara terus menerus serta berhenti pada tempat-tempat untuk menaikkan dan menurunkan penumpang yang telah ditetapkan untuk angkutan kota.
- Melayani angkutan dalam kawasan permukiman.

c) Trayek langsung

- Mempunyai jadwal tetap sebagaimana tercantum dalam jam perjalanan pada kartu pengawasan kendaraan yang dioperasikan.
- Pelayanan angkutan secara terus menerus serta berhenti pada tempat-tempat untuk menaikkan dan menurunkan penumpang yang telah ditetapkan untuk angkutan kota.
- melayani angkutan antara kawasan utama dengan kawasan pendukung dan kawasan permukiman.

**d. Penentuan Tarif**

Ada beberapa item dasar perhitungan tarif sebagai berikut:

- a. Biaya pokok atau biaya produksi adalah besaran pengorbanan yang dikeluarkan untuk menghasilkan satu satuan unit produksi jasa angkutan.
- b. Tarif angkutan umum penumpang kota merupakan hasil perkalian antara tarif pokok dan jarak (kilometer) rata-rata satu perjalanan (tarif Break Even Point) dan ditambah 10% untuk jasa keuntungan perusahaan.
- c. Faktor muat (*load factor*) merupakan perbandingan antara kapasitas terjual dan kapasitas tersedia untuk satu perjalanan yang biasa dinyatakan dalam persen (%). Faktor muat untuk perhitungan tarif umumnya adalah 70%.
- d. Satuan produksi adalah pembagi terhadap total biaya produksi, sehingga dapat ditentukan besar per satuan produksi.
- e. Alat produksi adalah sarana angkutan yang digunakan untuk memproduksi jasa angkutan penumpang dengan atau tanpa fasilitas tambahan.
- f. Rit adalah satu kali perjalanan kendaraan dari tempat asal ke tempat tujuan.
- g. Waktu tempuh/ rit adalah lama perjalanan dalam satu rit.
- h. Jarak tempuh/ rit adalah jarak km yang ditempuh dalam satu hari.

- i. Jarak tempuh/ hari adalah jarak km yang ditempuh dalam satu hari.
- j. Frekuensi adalah jumlah rit dalam kurun waktu tertentu (per jam, per hari).
- k. Kapasitas angkut/ kapasitas tersedia adalah kapasitas maksimal yang tersedia untuk penumpang (duduk dan berdiri) sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- l. Kapasitas terjual adalah jumlah penumpang yang diangkut dihitung berdasarkan jumlah tempat duduk yang terpakai ditambah berdiri dikalikan frekuensi.
- m. Hari operasi per bulan adalah jumlah hari operasi dalam satu bulan.
- n. Kilometer-kosong adalah kilometer yang tidak produktif yang terjadi pada awal operasi (berangkat dari pool) dan akhir operasi (kembali ke pool). Kilometer-kosong per hari diasumsikan sebesar 3% dari total kilometer-tempuh per hari.
- o. Kilometer-efektif adalah kilometer-tempuh produktif pada saat operasi.
- p. Seat-km (Pnp-km) tersedia adalah jumlah tempat duduk, dihitung dengan mengalikan jumlah tempat duduk yang tersedia dengan frekuensi serta jarak tempuh dari tempat asal ke tempat tujuan [2], [8], [6], [10].

**2.3. Metode Penelitian**

**a. Lokasi dan Obyek Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Terminal Mardika Kota Ambon, Toko Onderdil Mobil Kota Ambon, dan Dealer Mobil Kota Ambon.

Subjek penelitian dalam penelitian ini adalah Angkutan Umum di Kota Ambon antara lain: Trayek Kecamatan Nusaniwe, Kecamatan Sirimau, Leitimur Selatan, Kecamatan Baguala, dan Kecamatan Teluk Ambon.

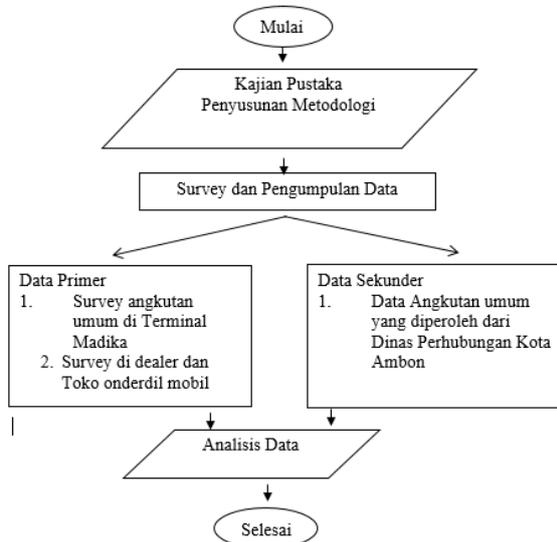
Objek penelitian yang akan ditinjau adalah komponen biaya operasional kendaraan angkutan umum trayek Kecamatan Nusaniwe, Kecamatan Sirimau, Kecamatan Baguala, dan Kecamatan Teluk Ambon.

**b. Jenis dan Metode Pengumpulan Data**

Data primer dalam penelitian ini diperoleh dengan cara survey langsung di lapangan, berupa: Melakukan Observasi dan Wawancara di Terminal Mardika, beberapa toko suku cadang dan onderdil, serta dieler mobil di Kota Ambon. Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Ambon dan Badan Pelayanan Perijinan Terpadu Kota Ambon berupa data rute angkutan kota.

Teknik pengumpulan data dengan cara: 1. Studi pustaka guna memperoleh gambaran teoritis

mengenai Biaya Operasional Kendaraan (BOK), 2. observasi dan wawancara secara langsung terhadap pegawai kantor Dinas Perhubungan Kota Ambon, pengemudi angkutan umum trayek Kecamatan Nusaniwe, pihak diler mobil, dan toko suku cadang atau toko onderdil kendaraan.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

**c. Teknik Pengolahan dan Analisis Data**

Teknik pengolahan data dilakukan dengan menggunakan standar perhitungan Dirjen Perhubungan Darat No. SK.687/AJ.206/DRJD/2002 untuk memperoleh komponen-komponen yang berkaitan dengan biaya operasional kendaraan. Adapun tahap analisis yang dilakukan, yaitu menganalisis biaya operasi kendaraan (BOK), Tarif Pokok, Tarif BEP, Tarif.

Dengan menggunakan Rumus-rumus sebagai berikut:

a. Tarif

$$Tarif = (Tarif\ pokok \times\ jarak\ rata-rata) + 10\% \quad (1)$$

$$Tarif\ BEP = Tarif\ pokok \times\ jarak\ rata-rata \quad (2)$$

$$Tarif\ Pokok = \frac{Total\ biaya\ pokok}{Faktor\ pengisian \times\ kapasitas\ kendaraan} \quad (3)$$

b. Tarif batas atas dan bawah

- Masyarakat
  - Batas atas= 120% x Tarif
  - Batas bawah= 80% x Tarif
- Mahasiswa
  - Batas atas= 50% x tarif batas atas masyarakat
  - Batas bawah= 50% x tarif batas bawah masyarakat [2]

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Analisis Trayek Kecamatan Nusaniwe dilakukan berdasarkan SK Dirjen Perhubungan Nomor SK.687/AJ.206/ DRJD/2002 [2].

**3.1. Trayek Kecamatan Baguala dan Teluk Ambon**

Komponen biaya operasi kendaraan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi BOK Kec. Baguala dan Teluk Ambon

No	Komponen Biaya		Keterangan
1	Produksi per kendaraan Km-	185	km
2	Biaya Langsung		
	a. Biaya Penyusutan	Rp 530,75	per kend.km
	b. Bunga modal	Rp 358,26	per kend.km
	c. Gaji dan tunjangan awak kendaraan	Rp 23,38	per kend.km
	d. BBM	Rp 775,24	per kend.km
	e. Ban	Rp 64,53	per kend.km
	f. Service kecil	Rp 150,81	per kend.km
	g. Service besar	Rp 65,01	per kend.km
	h. Pemeriksaan Umum (General Overhaul)	Rp 38,30	per kend.km
	i. Over Houl body	Rp 70,48	per kend.km
	j. Penambahan Oli Mesin	Rp 49,32	per kend.km
	k. Cuci Kendaraan	Rp 81,07	per kend.km
	l. Retribusi Terminal	Rp 27,02	per kend.km
	m. STNK / Pajak Kendaraan	Rp 16,59	per kend.km
	n. KIR	Rp 12,13	per kend.km
	o. Asuransi	Rp 82,93	per kend.km
	Jumlah	Rp 2.345,82	per kend.km
3	Biaya Tidak Langsung		
	a. Biaya Gaji Pegawai Non Awak Kendaraan	Rp -	
	b. Biaya Pengelolaan	Rp 19,05	per kend.km
	Jumlah	Rp 19,05	per kend.km
4	Biaya Pokok		
	a. Biaya Langsung	Rp 2.345,82	per kend.km
	b. Biaya Tidak Langsung	Rp 19,05	per kend.km
	Jumlah	Rp 2.364,88	per kend.km
5	BIAAYA POKOK/PNP-KM	Rp 394,15	/Pnp/Km

Dari analisis biaya operasi kendaraan Laha diatas, didapat biaya pokok sebesar Rp 394,14 per penumpang-km, maka dapat dihitung posisi biaya operasi kendaraan berdasar faktor muat penumpang. Hal ini dapat diuraikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Posisi biaya pada tingkat muat

Faktor Muat Penumpang	Biaya Operasional Kendaraan
70%	Rp 563,07

Sesuai SK Nomor 687/AJ.206/DRJD/2002, tarif angkutan umum yang digunakan adalah pada tingkat faktor muat 70%. Dari Tabel 4, pada tingkat faktor muat 70% biaya operasi kendaraan trayek Laha di Kota Ambon sebesar Rp 563,07 per penumpang-km. Berdasarkan Tabel 4, dapat dihitung tarif, hal ini dapat di uraikan sesuai Tabel 5.

Tabel 5. Tarif trayek Laha

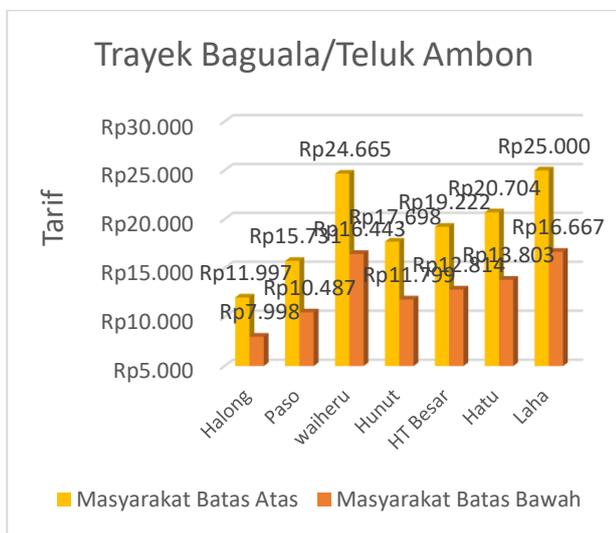
No	Nama Trayek	Tarif Pokok	Tarif BEP	Tarif	Masyarakat		Mahasiswa	
					Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
1.	Laha	Rp 63,07	Rp 0.833	Rp 20.834	Rp 5.000	Rp 6.667	Rp 2.500	Rp 8.333

Tarif hasil perhitungan sesuai SK Nomor K.687/AJ.206/DRJD/2002 adalah Rp 20.833- per penumpang-km. Tarif tersebut merupakan tarif *Break Even Point* (BEP) yang ditambah 10% dari tarif BEP sehingga kelebihan 10% dianggap sebagai keuntungan operator. Oleh karena itu, tarif batas atas dan batas bawah untuk penumpang umum Rp 25.000,-, 16.667,-, sedangkan untuk mahasiswa batas atas dan bawah berkisar Rp 12,500,-, 8.333,-. Dengan demikian hasil rekapan Analisis BOK dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

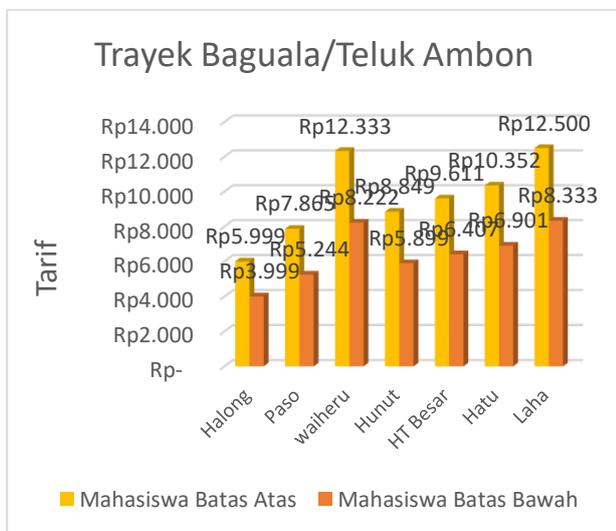
### 3.2. Trayek Kecamatan Nusaniwe

Tabel 6. Rekapitulasi BOK Kec. Nusaniwe

No	Komponen Biaya	Keterangan	
1	Produksi per kendaraan Km-tempuh/hari	36	km
2	Biaya Langsung		
a.	Biaya Penyusutan	Rp 654,57	per kend.km
b.	Bunga modal	Rp 441,83	per kend.km
c.	Gaji dan tunjangan awak kendaraan	Rp 64,09	per kend.km
d.	BBM	Rp 1.009,39	per kend.km
e.	Ban	Rp 64,53	per kend.km
f.	Service kecil	Rp 150,81	per kend.km
g.	Service besar	Rp 54,26	per kend.km
h.	Pemeriksaan Umum (General Overhaul)	Rp 38,30	per kend.km
i.	Over Houl body	Rp 70,48	per kend.km
j.	Penambahan Oli Mesin	Rp 60,82	per kend.km
k.	Cuci Kendaraan	Rp 99,98	per kend.km
l.	Retribusi Terminal	Rp 33,33	per kend.km
m.	STNK / Pajak Kendaraan	Rp 20,46	per kend.km
n.	KIR	Rp 14,95	per kend.km
o.	Asuransi	Rp 102,28	per kend.km
	Jumlah	Rp 2.880,09	per kend.km
3	Biaya Tidak Langsung		
a.	Biaya Gaji Pegawai Non Awak Kendaraan	Rp -	
b.	Biaya Pengelolaan	Rp 23,50	
	Jumlah	Rp 23,50	per kend.km
4	Biaya Pokok		
a.	Biaya Langsung	Rp 2.880,09	
b.	Biaya Tidak Langsung	Rp 23,50	
	Jumlah	Rp 2.903,59	
5	BIAYA POKOK/PNP-KM	Rp 483,93	/Pnp/Km



Gambar 2. Grafik rekapitulasi tarif untuk masyarakat



Gambar 3. Grafik rekapitulasi tarif untuk pelajar/mahasiswa

Dari analisis biaya operasi kendaraan Latuhalat diatas, didapat biaya pokok sebesar Rp 483,93 per penumpang-km, maka dapat dihitung posisi biaya operasi kendaraan berdasar faktor muat penumpang. Hal ini dapat diuraikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Posisi biaya pada tingkat muat

Faktor Muat Penumpang	Biaya Operasional Kendaraan
70%	Rp 691,33

Sesuai SK Nomor 687/AJ.206/DRJD/2002, tarif angkutan umum yang digunakan adalah pada tingkat faktor muat 70%. Dari tabel 7, pada tingkat faktor muat 70% biaya operasi kendaraan trayek Lahu Laha di Kota Ambon sebesar Rp 691,33 per penumpang-km.. Dari hasil tabel diatas kita dapat menghitung tarif, hal ini diuraikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Tarif trayek Latuhalat

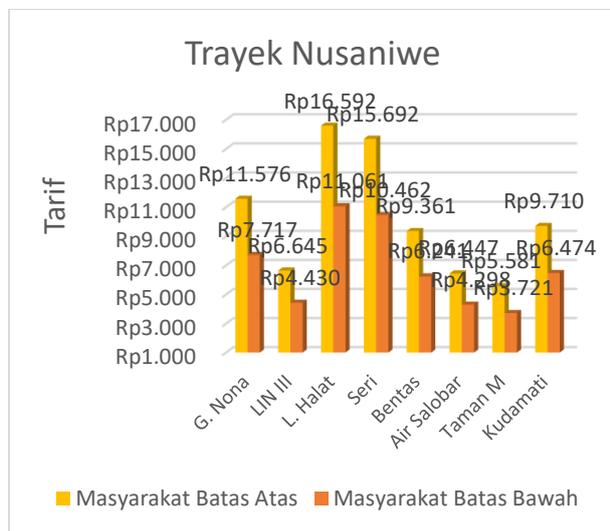
No	Nama Trayek	Tarif Pokok	Tarif BEP	Tarif	Masyarakat		Mahasiswa	
					Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
1	Latuhalat	Rp 691	Rp 13.827	Rp 3.827	Rp 6.592	Rp 1.061	Rp 8.296	Rp 5.531

Tarif hasil perhitungan sesuai SK Nomor K.687/AJ.206/DRJD/2002 adalah Rp 13.827,- per penumpang-km. Tarif tersebut merupakan tarif *Break Even Point* (BEP) yang ditambah 10% dari tarif BEP sehingga kelebihan 10% dianggap sebagai keuntungan operator. Oleh karena itu, tarif batas atas dan batas bawah untuk penumpang umum Rp 16.592,- dan Rp 11.061,- sedangkan untuk mahasiswa batas atas dan bawah berkisar Rp 8.296,-sampai Rp 5.531,-. Dengan demikian hasil rekapan Analisis BOK dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

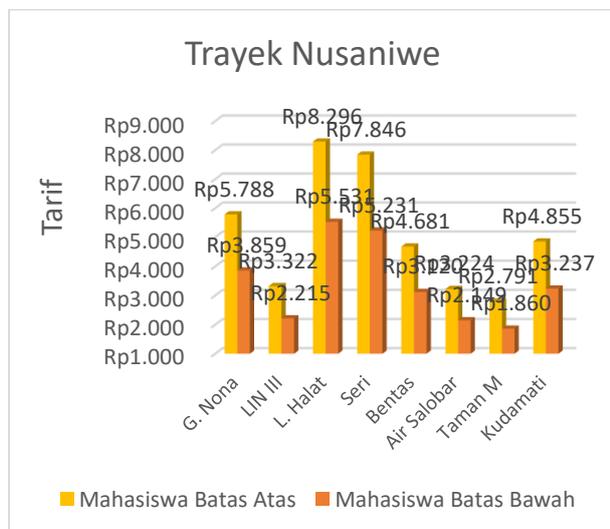
### 3.3. Trayek Kecamatan Sirimau

Tabel 9. Rekapitulasi BOK Kec. Sirimau

No	Komponen Biaya	Keterangan	
1	Produksi per kendaraan Km-tempuh/hari	32	km
2	Biaya Langsung		
	a. Biaya Penyusutan	Rp 948,57	per kend.km
	b. Bunga modal	Rp 640,28	per kend.km
	c. Gaji dan tunjangan awak kendaraan	Rp 61,92	per kend.km
	d. BBM	Rp 1.446,19	per kend.km
	e. Ban	Rp 64,53	per kend.km
	f. Service kecil	Rp 150,81	per kend.km
	g. Service besar	Rp 60,68	per kend.km
	h. Pemeriksaan Umum (General Overhaul)	Rp 38,30	per kend.km
	i. Over Houl body	Rp 70,48	per kend.km
	j. Penambahan Oli Mesin	Rp 88,14	per kend.km
	k. Cuci Kendaraan	Rp 144,89	per kend.km
	l. Retribusi Terminal	Rp 48,30	per kend.km
	m. STNK / Pajak Kendaraan	Rp 29,64	per kend.km
	n. KIR	Rp 21,67	per kend.km
	o. Asuransi	Rp 148,21	per kend.km
	Jumlah	Rp 3.962,61	per kend.km
3	Biaya Tidak Langsung		
	a. Biaya Gaji Pegawai Non Awak Kendaraan	Rp -	
	b. Biaya Pengelolaan	Rp 34,05	
	Jumlah	Rp 34,05	per kend.km
4	Biaya Pokok		
	a. Biaya Langsung	Rp 3.962,61	
	b. Biaya Tidak Langsung	Rp 34,05	
	Jumlah	Rp 3.996,66	
5	BIAYA POKOK/PNP-KM	Rp 666,11	/Pnp/Km



Gambar 4. Grafik rekapitulasi tarif untuk masyarakat



Gambar 5. Grafik rekapitulasi tarif untuk pelajar/mahasiswa

Dari analisis biaya operasi kendaraan Karpan diatas, didapat biaya pokok sebesar Rp 483,93 per penumpang-km, maka dapat dihitung posisi biaya operasi kendaraan berdasar faktor muat penumpang. Hal ini dapat diuraikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Posisi biaya pada tingkat muat

Faktor Muat Penumpang	Biaya Operasional Kendaraan
70%	Rp 951,59

Sesuai SK Nomor 687/AJ.206/DRJD/2002, tarif angkutan umum yang digunakan adalah pada tingkat faktor muat 70%. Dari Tabel 10, pada tingkat faktor muat 70% biaya operasi kendaraan trayek Karpan di Kota Ambon sebesar Rp 951,59 per penumpang-km. Dengan demikian, dapat dihitung tarif, sebagaimana Tabel 11.

Tabel 11. Tarif trayek Karpan

No	Nama Trayek	Tarif Pokok	Tarif BEP	Tarif	Masyarakat		Mahasiswa	
					Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
1	Karpan	Rp 952	Rp 4.282	Rp 4.282	Rp 5.139	Rp 3.426	Rp 2.569	Rp 1.713

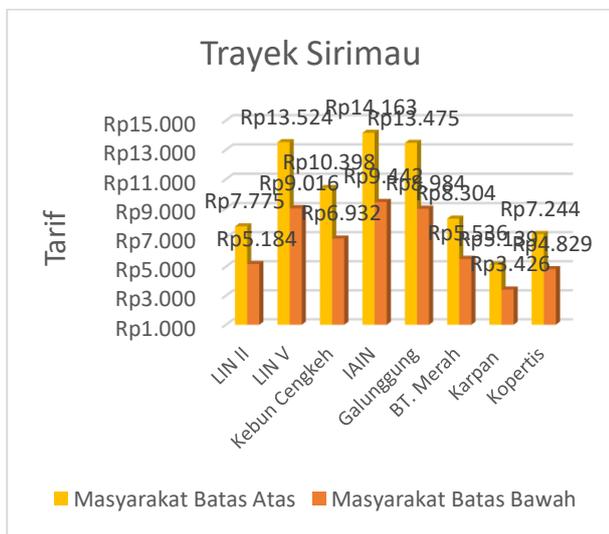
Tarif hasil perhitungan sesuai SK Nomor K.687/AJ.206/DRJD/2002 adalah Rp 4.282- per penumpang-km. Tarif tersebut merupakan tarif *Break Even Point* (BEP) yang ditambah 10% dari tarif BEP sehingga kelebihan 10% dianggap sebagai keuntungan operator. Oleh karena itu, tarif batas atas dan batas bawah untuk penumpang umum Rp 5.139,-, 3.428,-, sedangkan untuk mahasiswa batas atas dan bawah berkisar Rp 2.569,-, 1.713,-. Dengan demikian hasil rekapan Analiis BOK dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

**4. KESIMPULAN**

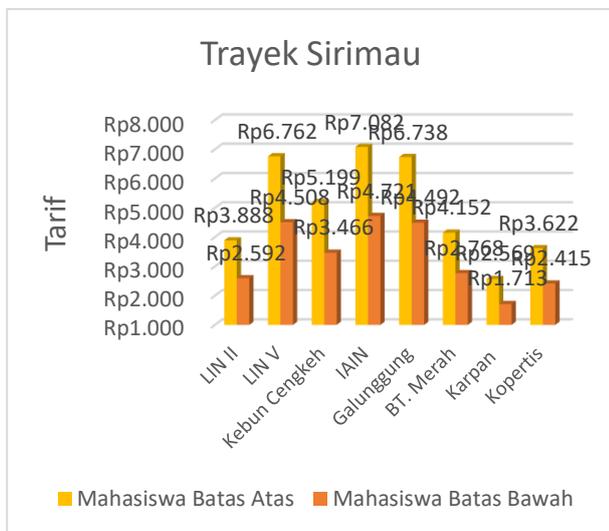
Berdasarkan hasil Analisis perhitungan BOK angkutan umum di Kota Ambon. Sesuai dengan Keputusan Direktur Jenderal Nomor SK.687/AJ.206/DRJD/2002 tarif yang dihasilkan adalah Didapat biaya Tarif untuk masyarakat batas atas dan bawah Kecamatan Nusaniwe Rp 16.592 – Rp 11.061,- Kecamatan Sirimau Rp 5.138 – Rp 3.425,- Kecamatan Baguala dan Teluk Ambon Rp 25.000 – Rp 16.666,- dan Tarif untuk mahasiswa batas atas dan bawah Kecamatan Nusaniwe Rp 8.296 – Rp 5.531,- Kecamatan Sirimau Rp 2.569 – Rp 1.712,- Kecamatan Baguala dan Teluk Ambon Rp 12.500 – Rp 8.333,- Tarif berdasarkan BOK pada masa pemberlakuan Pembatasan Sosial Berskala Besar sangat berbanting terbalik dimana tarifnya antara Rp 25.000 – 5.138,- sedangkan kondisi yang ada dilapangan dimana untuk tarif rill Rp 3.000 – Rp 5.000..

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Peraturan Wali Kota Ambon, “PERWALI Nomor 18 Tahun 2020 Tentang Pembatasan Sosial Berskala Besar.” Ambon, 2020.
- [2] Departemen Perhubungan RI, “Pedoman Teknis Penyelenggaraan Angkutan Penumpang Umum di Wilayah Perkotaan dalam Trayek Tetap dan Teratur,” *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat*, no. SK.687/AJ.206/DRJD/2002. pp. 2–69, 2002, [Online]. Available: <http://hubdat.dephub.go.id/keputusan-dirjen/tahun-2002/423-sk-dirjen-no-687aj>.
- [3] F. Miro, *Pengantar Sistem Transportasi*. Jakarta: Erlangga, 2012.
- [4] O. Taming Z., *Perencanaan, Pemodelan, Dan Rekayasa Transprtasi*, Edisi 2. Bandung: ITB, 2009.
- [5] E. K. Murlock, *Pengantar Teknik dan perencanaan Transportasi*, Erlangga. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [6] Rahardjo Adisasmita, *Dasar-dasar Ekonomi Transportasi. Graha Ilmu*, Pertama. Jakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [7] M. S. Marsy, *Ekonomi Transportasi*. Jakarta: Ghalia Indonesia, 2003.
- [8] J. H. Frans, Y. A. Messah, and N. Issu, “Kajian Tarif Angkutan Umum berdasarkan Biaya Operasional Kendaraan (BOK),



Gambar 6. Grafik rekapitulasi tarif untuk masyarakat



Gambar 7. Grafik rekapitulasi Tarif untuk Pelajar/Mahasiswa

- Ability To Pay (ATP) dan Willingness To Pay (WTP) di Kabupaten TTS,” *J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 185–198, 2016.
- [9] R. Safitri, “Evaluasi Tarif Angkutan Umum Berdasarkan Ability To Pay (ATP) Dan Willingness To Pay (WTP) Di Kota Pangkalpinang,” *Fropil*, vol. 4, no. 2, pp. 156–164, 2016, [Online]. Available: <https://journal.ubb.ac.id/index.php/fropil/article/view/1245/882>.
- [10] E. Jalil, R. Anggraini, and S. Sugiarto, “Analisis Biaya Operasional Kendaraan, Ability To Pay Dan Willingness To Pay Untuk Penentuan Tarif Bus Trans Koetaradja Koridor Iii,” *J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perenc.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–10, 2018, doi: 10.24815/jarsp.v1i4.12449.

## MODEL STUKTURAL BERBASIS SISTIM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR SECARA BERKELANJUTAN

Pieter Th. Berhиту<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Prodi Perencanaan Wilayah dan Kota Fakultas Teknik  
Universitas Pattimura, Ambon 97233

\*Email: [patrickberhиту@gmail.com](mailto:patrickberhиту@gmail.com)

**Abstrak.** Model Stuktural Berbasis Sistim Informasi Geografis dalam Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Berkelanjutan yang menjadi latar belakang adalah pengelolaan wilayah pesisir kota ambon dan kabupaten Maluku Tengah dalam kurung waktu 10-20 tahun terakhir belum dikelola dengan baik dan berkelanjutan sehingga berbagai aspek pembangunan tidak berjalan dengan baik menyebabkan berbagai permasalahan diantaranya kerusakan lingkungan fisik pesisir yakni abrasi, erosi dan sedimentasi, terjadi kerusakan perairan akibat terjadinya pencemaran, Kerusakan infrastruktur bangunan pelindung, Persoalan mitigasi pesisir, Menurunnya kualitas sumberdaya lingkungan pesisir akibat meningkatnya jumlah penduduk diwilayah pesisir sehingga menyebabkan berkembangnya kawasan - kawasan pemukiman kumuh, Kerusakan ekosistem pesisir. Tujuan penelitian adalah menentukan model dan strategi pengelolaan kawasan pesisir kota Ambon dan Kabupaten Maluku Tengah secara berkelanjutan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Deskriptif. Pengambilan Data primer dilakukan dengan kusioner untuk responden dari masyarakat, responden pakar, kelembagaan masyarakat, dan pemangku kebijakan. Analisis yang dilakukan yakni Analisis Keberlanjutan dengan Multi Dimensi Scale (MDS), analisis sistim informasi geografis, analisis struktural SEM, analisis Hirarki Proses (AHP). Hasil analisis keberlanjutan dengan MDS, diperoleh nilai indek keberlanjutan Multi Dimensi sebesar 50,13 % berada pada katagori cukup berkelanjutan. Hasil analisis model SEM tentang peran zonasi dan peran masyarakat dalam pengelolaan kawasan pesisir berkelanjutan merupakan “fit model” yang dapat diterima. Hasil AHP memberikan gambaran penilaian oleh pemangku kebijakan dalam implementasi program diprioritaskan kepada strategi Manajemen Penataan Kawasan Pesisir Secara Berkelanjutan Berbasis Sistim Informasi Geografis dengan skor penilaian sebesar 39,3 %, dengan presentasi terbesar adalah “Penataan Kawasan Pesisir Sesuai Perundangan Zonasi Berbasis SIG ” sebesar 13,6 %,

Kata kunci: Model structural, sistim informasi geografi, Kota Ambon, Maluku Tengah

**Abstract.** *Geographical Information System-Based Structural Model in Sustainable Management of Coastal Areas which is the background is that the management of the coastal areas of Ambon City and Central Maluku Regency in the last 10-20 years has not been managed properly and sustainably so that various aspects of development do not work well causing various The problems include damage to the coastal physical environment, namely abrasion, erosion, and sedimentation, water damage due to pollution, damage to protective building infrastructure, coastal mitigation issues, declining quality of coastal environmental resources due to the increasing number of residents in coastal areas, causing the development of slum areas. coastal ecosystem. The purpose of the study is to determine the model and strategy for managing coastal areas in Ambon City and Central Maluku District in a sustainable manner. The method used in this research is the descriptive method. Primary data collection was carried out using a questionnaire for respondents from the community, expert respondents, community institutions, and policymakers. The analysis carried out is Sustainability Analysis with Multi Dimension Scale (MDS), geographic information system analysis, SEM structural analysis, Process Hierarchy analysis (AHP). The results of the sustainability analysis with*

*MDS obtained the Multi-Dimensional Sustainability Index value of 50.13% is in the moderately sustainable category. The results of the SEM model analysis on the role of zoning and community roles in sustainable coastal area management is an acceptable "fit model". The results of the AHP provide an overview of the assessment by policymakers in the implementation of the program, prioritizing the strategy for Management of Sustainable Coastal Area Management Based on Geographic Information Systems with an assessment score of 39.3%, with the largest presentation being "Coastal Area Arrangement in accordance with GIS-Based Zoning Laws" of 13, 6%.*

*Keywords: Structural model, geographic information system, Ambon city, Central Maluku*

## 1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir dan laut, merupakan aset pembangunan Indonesia yang penting, karena wilayah ini didukung oleh dua komponen utama yaitu komponen biofisik, dan kedua, adalah komponen sosial ekonomi. Sebagian besar penduduk Indonesia yakni kurang lebih 60 % hidup di wilayah pesisir hal ini disebabkan karena secara administratif, letak pemukiman penduduk pada wilayah pesisir. Data menunjukkan bahwa dari 4.028 kecamatan yang ada di Indonesia maka 1.129 kecamatan secara topografi terletak di wilayah pesisir, dan dari 62.472 desa yang ada sekitar 5.479 desa merupakan desa-desa pesisir [1]. Wilayah pesisir merupakan salah satu ekosistem yang sangat produktif sehingga perlu dikelola dengan baik. Berbagai aktifitas dan kegiatan manusia pada wilayah pesisir diantaranya aktifitas industri, pertanian, perikanan, permukiman, pertambangan, navigasi, dan pariwisata, seringkali memberikan dampak permasalahan baik pencemaran, kerusakan ekosistem pesisir, sedimentasi dan berbagai permasalahan di wilayah pesisir.

Permasalahan wilayah pesisir kota Ambon dan kabupaten Maluku Tengah dapat dilihat melalui beberapa hasil penelitian yang dilakukan selama kurang lebih 10 tahun terakhir menyimpulkan bahwa telah terjadi a) kerusakan lingkungan fisik pesisir yakni abrasi, erosi dan sedimentasi [2]-[7]; b) telah terjadi kerusakan ekosistem wilayah pesisir yaitu kerusakan hutan mangrove [8]; c) telah terjadi kerusakan padang lamun, alga, dan terumbu karang [9]; d) penurunan hasil tangkapan ikan umpan [10]; e) terjadi kerusakan perairan akibat terjadinya pencemaran; f) Penurunan jumlah bentos, moluska, krustasea karena pencemaran limbah [11]; g) Kerusakan infrastruktur bangunan pelindung pantai akibat pengaruh alam yakni dinamika gelombang, arus, pasang surut, kenaikan muka air serta aktifitas manusia yakni pengambilan bahan galian c yang tidak terkendali [12], [13]; h) Persoalan mitigasi pesisir, banjir dan tanah longsor [14]; i) Menurunnya kualitas

sumberdaya lingkungan pesisir akibat meningkatnya jumlah penduduk di wilayah pesisir sehingga menyebabkan berkembangnya kawasan-kawasan pemukiman kumuh pada kawasan Mardika, Batumera, Tantui dan Waihayong yang mengakibatkan penurunan kualitas sumberdaya lingkungan pesisir; j) Kerusakan ekosistem pesisir yakni mangrove, terumbu karang dan lamun dengan kriteria rusak indeks ekosistem pesisir berada pada level 44,4 % [15], menyimpulkan perubahan kondisi ekosistem pesisir disebabkan oleh terjadinya perubahan pemanfaatan lahan di daratan, dimana terjadi penyimpangan pemanfaatan lahan terhadap RTRW Kota Ambon (2011-2030). Penyimpangan pemanfaatan lahan yang cukup signifikan mempengaruhi pada kondisi terumbu karang adalah konversi lahan hutan dan lahan pertanian menjadi kawasan permukiman (kawasan terbangun) [16]. Konflik penggunaan ruang di wilayah pesisir dan laut Kota Ambon dan Kabupaten Maluku Tengah sering terjadi karena penyimpangan terhadap pola pemanfaatan ruang yang tidak sesuai dengan arahan Rencana Tata Ruang Wilayah [17]. Disamping itu, potensi multi-guna yang inherent pada sumberdaya pesisir dan laut menyebabkan banyak pihak yang berupaya untuk memanfaatkannya sehingga menimbulkan konflik pemanfaatan ruang wilayah pesisir [18], [19].

Penelitian yang dilakukan ini secara umum mendukung pencapaian renstra Universitas Pattimura dimana hasil penelitian yang diharapkan berupa model pengelolaan dan kebijakan strategis pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan memberikan kontribusi dalam memecahkan secara langsung berbagai permasalahan pembangun melalui kegiatan penelitian kebijakan yang menjawab implementasi visi dan misi Universitas dan bidang keunggulan penelitian yakni pengembangan kelautan dan kepulauan. Temuan dari penelitian ini yang diharapkan untuk pengembangan ilmu adalah tersediannya model struktural pengelolaan wilayah pesisir berbasis

sistim informasi geografis serta kebijakan strategis berdasarkan dimensi pembangunan pada wilayah pesisir [20], [21]. Luaran yang ditargetkan yaitu hasil penelitian dapat dipublikasikan pada jurnal nasional terakreditasi dan jurnal internasional.

Berdasarkan latar belakang dan berbagai permasalahan yang terjadi tersebut maka sangat dibutuhkan suatu penelitian tentang “pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan melalui pendekatan model struktural berbasis sistim informasi geografis berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah”

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kusioner penelitian serta tool (*software*) untuk pengelolaan dan analisis data.

### 2.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dimana melalui penelitian terhadap studi kasus pada wilayah pesisir kota Ambon dan Mauku Tengah serta survei untuk menyelesaikan penelitian.

### 2.3. Pengolahan dan Analisis Data

#### A. Analisis Keberlanjutan dengan Multi Dimensi Scale (MDS)

Untuk mengetahui tingkat keberlanjutan pengelolaan wilayah pesisir kota Ambon dan Kabupaten Maluku Tengah yang berdimensi ekologi, ekonomi, sosial budaya, teknologi infrastruktur dan hukum dan kelembagaan maka dilakukan analisis multi dimensi dengan Software MDS. Penghitungan indeks keberlanjutan menggunakan bantuan perangkat lunak Rappfish (*Rapid Appraisal for Fisheries*) yang dikembangkan oleh *Rappfish Group Fisheries Centre University of British Columbia*, Canada [22].

MDS pada Rappfish dilakukan dengan menghitung jarak terdekat dari Euclidean distance pada persamaan (1) berikut [23]:

$$d_{1,2} = \sqrt{(X_1 - X_2) + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

Stress ini dapat dirumuskan dalam persamaan (2) yaitu:

$$\text{Stress} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=l}^m \left[ \frac{\sum_i \sum_k (D_{ijk} - d_{ijk})^2}{\sum_i \sum_k d_{ijk}^2} \right]} \quad (2)$$

#### B. Analisis Struktural Hubungan Antara Faktor Internal dan Faktor Eksternal dalam Pengelolaan Wilayah Pesisir dengan Pemodelan Struktur SEM Amos

Pendekatan model structural dengan *Structural Equation Modeling* (SEM) AMOS 20.0 [24]. dengan tujuan untuk melihat secara koperhensip bagaimana variable-variabel indenpent dan dependent yang dianalisis terhadap faktor internal dan eksternal dan pengaruh diantara variabel tersebut terhadap keberlanjutan pengelolaan kawasan pesisir kota Ambon dan kabupaten Maluku Tengah

#### C. Analytical Hierarchy Process (AHP)

Perumuskan strategi pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan di kota Ambon dan Kabupaten Maluku Tengah, dilakukan dengan pendekatan analisis hierarki Proses melalui hasil analisis SWOT [25]. yang merupakan matriks SWOT yang berisikan atribut strategi dan kebijakan yang mewakili masing-masing faktor kekuatan, kelemahan peluang dan tantang kemudian akan disikronkan dengan hasil pengembangan model dinamik yang berisikan skenario dan kebijakan yang menggambarkan pengembangan dari setiap atribut yang sensitif mempengaruhi sistem akan menjadi input bagi penentuan prioritas kebijakan dan strategi yang akan diambil dengan menggunakan analisis AHP. Analisis AHP (*Analytical Hierarchy Process*)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Model Struktural Aspek Peran Zonasi dan Masyarakat Berbasis SIG

Model aspek peran zonasi dengan konstruk laten ( $Z_1$ ) memiliki 3 (tiga) indikatornya yaitu; kelestarian sumber daya alam ( $Y_1$ ), daya dukung lingkungan ( $Y_2$ ), dan kesejahteraan masyarakat ( $Y_3$ ). Model aspek peran masyarakat dengan konstruk laten ( $Z_2$ ) juga memiliki 3 (tiga) indicator yaitu; persepsi ( $Y_4$ ), aspirasi ( $Y_5$ ) dan partisipasi ( $Y_6$ ), Kedua variabel endogen ini kemudian dilakukan analisis dengan variabel eksogen ( $X$ ) melalui *Structural Equation Modeling* (SEM) AMOS 20.0

Tabel 1. Regresion Weight Peran Zonasi Berbasis SIG dan Peran Masyarakat

			Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
PeranZonasi	<---	Personil	.38	.03	11.62	***	par_22
PeranZonasi	<---	FisikPengelolaan	.19	.03	5.67	***	par_23
PeranZonasi	<---	NonFisikPengelolaan	.12	.04	3.14	.00	par_26
PeranMasyarakat	<---	PeranZonasi	.35	.05	7.71	***	par_24
X17 Lama tinggal	<---	Personil	1.00				
X16 Daerah asal	<---	Personil	.95	.09	10.25	***	par_1
X15 Jumlah tanggungan	<---	Personil	1.06	.09	11.52	***	par_2
X14 Jensi Pekerjaan	<---	Personil	.92	.09	10.83	***	par_3
X13 Tingkat Pendidikan	<---	Personil	.97	.08	11.41	***	par_4
X12 Tingkat Pendapatan	<---	Personil	.76	.08	9.25	***	par_5
X11 Usia responden	<---	Personil	.69	.08	8.92	***	par_6
X27 Lemahnya hukum	<---	NonFisikPengelolaan	1.00				
X26 Kearifan lokal	<---	NonFisikPengelolaan	1.31	.18	7.25	***	par_7
X25 Pertumbuhan penduduk	<---	NonFisikPengelolaan	1.34	.17	7.73	***	par_8
X24 Konflik kepentingan	<---	NonFisikPengelolaan	1.02	.14	7.47	***	par_9
X23 Alih fungsi lahan	<---	NonFisikPengelolaan	1.16	.15	7.64	***	par_10
X22 Kerusakan ekosistem	<---	NonFisikPengelolaan	1.12	.16	7.04	***	par_11
X21 Kesadaran	<---	NonFisikPengelolaan	1.17	.15	7.58	***	par_12
X35 Kelembagaan desa	<---	FisikPengelolaan	.89	.10	9.11	***	par_13
X34 Dana dan Modal	<---	FisikPengelolaan	.83	.10	8.18	***	par_14
X33 Akses informasi teknologi	<---	FisikPengelolaan	.91	.10	8.71	***	par_15
X32 Sarana dan prasarana	<---	FisikPengelolaan	.90	.11	7.98	***	par_16
X31 Aturan dan perda	<---	FisikPengelolaan	1.02	.12	8.72	***	par_17
Y1 Kelestarian SDA	<---	PeranZonasi	1.00				
Y2 Daya dukung	<---	PeranZonasi	.82	.07	11.39	***	par_18
Y3 Kesejahteraan Masyarakat	<---	PeranZonasi	.90	.05	17.21	***	par_19
Y4 Persepsi	<---	PeranMasyarakat	1.00				
Y5 Aspirasi	<---	PeranMasyarakat	1.15	.05	23.32	***	par_20
Y6 Partisipasi	<---	PeranMasyarakat	.99	.06	17.05	***	par_21
X36 Dukungan SDM	<---	FisikPengelolaan	1.40	.12	11.47	***	par_25
X37 Dukungan LSM	<---	FisikPengelolaan	1.00				

Hasil full model Aspek Peran Zonasi dan Peran Masyarakat menjelaskan bahwa keseluruhan variabel personel pengelolaan (X1), Non Fisik Pengelolaan (X2) dan Fisik pengelolaan (X3) terbukti memberikan pengaruh yang sangat besar (signifikan) terhadap Peran Zonasi (Z1), dengan 3 (tiga) indikatornya yakni kelestarian sumber daya alam (Y1), daya dukung lingkungan (Y2), kesejahteraan masyarakat (Y3). Demikian juga terhadap peran Masyarakat (Z2) dengan tiga indikatornya yakni persepsi (Y4), aspirasi (Y5) dan partisipasi (Y6). Untuk melihat seberapa besar bobot pengaruh dari variabel eksogen (X) terhadap variabel endogen (Y) pada aspek peran zonasi dan peran masyarakat dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil sesuai Tabel 1, terbukti keseluruhan variabel eksogen memiliki nilai probabilitas (P) yang sesuai dengan kriteria  $P \leq 0,05$ . Selanjutnya tabel diatas juga menjelaskan bahwa rasio kritis (CR) memiliki nilai lebih yaitu 2 (dua) kali dari besaran standart error (SE) yang membuktikan bahwa variabel tersebut Sahih (terbukti valid) telah mampu mengukur apa yang seharusnya diukur pada model. Tabel 1, menjelaskan pengaruh yang signifikan dari keseluruhan indikator kontruk endogen yang

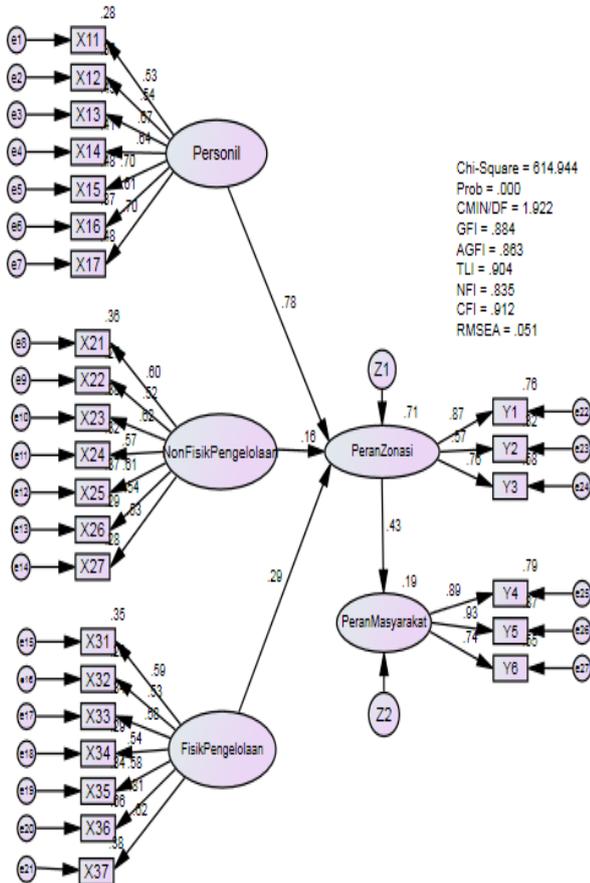
ditandai dengan nilai (\*\*\*) . Indikator kontsruk endogen terobservasi yang memberikan nilai Critical rasio positif tertinggi adalah Aspirasi Masyarakat (Y5) dengan nilai 23,32 selanjutnya diikuti oleh kesejahteraan masyarakat (Y3) dengan nilai 17,21, Partisipasi masyarakat (Y6) sebesar 17,05 dan terakhir Daya Dukung sebesar 11,39 (Y2).

Tabel 2. Analisis Faktor Konfirmatori (CFA) Peran Zonasi Berbasis SIG dan Peran Masyarakat

<i>Goodness of Fit</i>	Hasil Analisis	<i>Cut-off Value</i>	Keterangan
$\chi^2$ (Chi-Square)	448,492	Diharapkan kecil	Kurang
Probability	0,000	$\geq 0,05$	Kurang
CMIN	1,801	$\leq 2$	Baik
GFI	0,903	$\geq 0,90$	Baik
AGFI	0,883	$\geq 0,90$	Marginal
TLI	0,916	$\geq 0,90$	Baik
NFI	0,845	$\geq 0,90$	Marginal
CFI	0,924	$\geq 0,95$	Baik
RMSEA	0,047	$\leq 0,08$	Baik

Tabel 2 menjelaskan analisis faktor konfirmatori (CFA) melalui hasil Uji *goodness of fit* yang menggambarkan bahwa secara keseluruhan model penelitian tentang peran zonasi

dan peran masyarakat dalam pengelolaan kawasan pesisir kota Ambon merupakan “fit model” yang dapat diterima. Hal ini dapat ditunjukkan dengan nilai *good fitness of fit* yang berada diatas kriteria yang ditetapkan seperti diberikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Model Full Aspek Peran Zonasi Berbasis SIG dan Peran Masyarakat dalam Pengelolaan kawasan Pesisir Kota Ambon Kab Maluku Tengah

Berdasarkan uji *Goodnes of Fit* sesuai tabel diatas terlihat ada beberapa nilai yang kurang signifikan diantaranya nilai  $\chi^2$  (*Chi-Square*), (kurang) Probability (kurang), AGFI (*adjust goodness-of fit*), GFI (*normed fit index*), NFI, (marginal) namun secara keseluruhan model dapat diterima dengan kriteria *nilai goodness of fit* yang lain seperti RMSEA, CFI, NFI dan CMIN (baik).

**3.2. Hasil Analisis SWOT dan AHP**

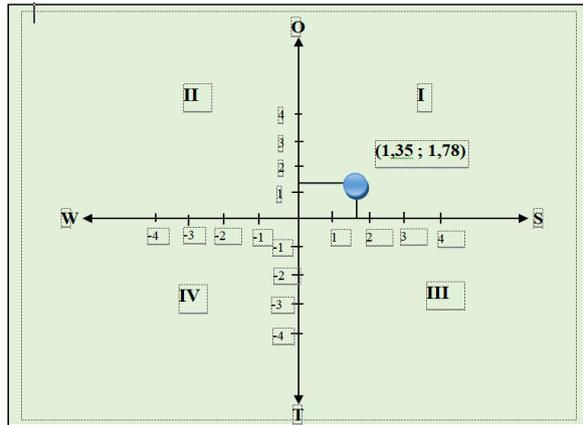
Penilaian hasil skoring dari 45 (empatpuluh lima) orang unsur kelembagaam pemerintah dan 30 (tiga puluh) orang unsur kelembagan masyarakat kemudian ditabulasikan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan tabel 3 dapat dijelaskan bahwa pemberian nilai terendah oleh faktor internal yakni kelembagaan masyarakat

asebesar 1,04 yang merupakan hasil pengurangan dari nilai kekuatan (*Strenghts*) sebesar 4,61 dengan nilai kelemahan (*weakness*) sebesar 3,45. Untuk faktor eksternal nilai skoring terendah yaitu kelembagaan pemerintah sebesar 0,63, yang merupakan hasil pengurangan dari nilai kekuatan (*strenghts*) sebesar 4,15 dengan nilai kelemahan (*weakness*) sebesar 3,52. Hasil dari nilai skor kelembagaan masyarakat dan pemerintah mau menegaskan bahwa secara eksternal apabila masyarakat diperhadapkan dengan berbagai tantangan, dan ancaman yang ada maka masyarkat lebih bersifat optimis menghadapinya jika dibandingkan dengan pemerintah walaupun secara internal masyarakat pesimis dengan kekuatan dan kelemahan yang dimilikinya. Hasil sesuai tabel 3 menjelaskan nilai rataan bobot gabungan secara internal maupun eksternal antara kelembagaan pemerintah dan kelembagaan masyarakat dapat dibuat visualisasi dalam kuadran hasil SWOT seperti terlihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa titik hasil perhitungan SWOT terletak pada Kuadran I yang menunjukkan nilai kekuatan (S) dan peluang (O) yang keduanya mempunyai nilai yang positif.

Berdasarkan nilai rataan dari kekuatan (*strenghts*) dan peluang (*opportunity*) yang positif, maka menurut Fleisher dan Bensoussan (2006), mengatakan bahwa strategi organisasi yang berhubungan dengan kekuatan internal organisasi dan peluang eksternal organisasi yang demikian merupakan kesesuaian yang terbaik. Dari hasil ini menjelaskan bahwa strategi dari kuadrat SWOT I merupakan strategi yang secara ekspansi akan melindungi kekuatan organiasi dengan menopang kepada seluruh sumber daya dan dana yang ada dan selanjutnya mampu memperluas keunggulan secara kompetitif dan berkesinambungan sehingga mampu bersaing dan mampu membaca peluang untuk kepentingan organisasi.

Tabel 3. Hasil Skoring Analisis SWOT

No	Faktor	SKOR	Bobot Nilai	Rataan Bobot Nilai Gabungan
<b>1</b>	<b>Internal</b>			
	Kelembagaan Masyarakat			
a	S (Strenghts/Kekuatan)	4.61	1.04	
	W(Weakness/Kelemahan)	-3.57		
	Kelembagaan Pemerintah			1,78
b	S (Strenghts/Kekuatan)	4.67	1.47	
	W(Weakness/Kelemahan)	-3.20		
<b>2</b>	<b>Eksternal</b>			
	Kelembagaan Masyarakat			
a	O (Oppurnitty/Peluang)	4.63	1.13	
	T(Threats/Ancaman)	-3.50		
	Kelembagaan Pemerintah			1.35
b	O (Oppurtunity/Peluang)	4.15	0,63	
	W(Threatss/Ancaman)	-3.52		



Gambar 2. Visualisasi koordinat hasil perhitungan SWOT

**3.3. Analytical Hierarchy Process (AHP)**

Selanjutnya kedupuluh empat formulasi strategi tersebut kemudian diolah untuk memperoleh kriteria-kriteria alternatif yang kemudian oleh peneliti dikelompokkan menjadi 5 (lima) kriteria utama dalam analisis AHP yaitu;

1. Manaemen Pengendalian Kerusakan Sumber Daya Pesisir (MANPSDKP)
2. Manajemen Penataan Kawasan Pesisir (MANPKAWP)
3. Manajemen Konservasi Kawasan Pesisir (MANKONP)
4. Manajemen Kelembagaan Pengelolaan r (MANKELP)
5. Pemberdayaan Aspek sosial,dan kearifan lokal Masyarakat (PASKLMSY)

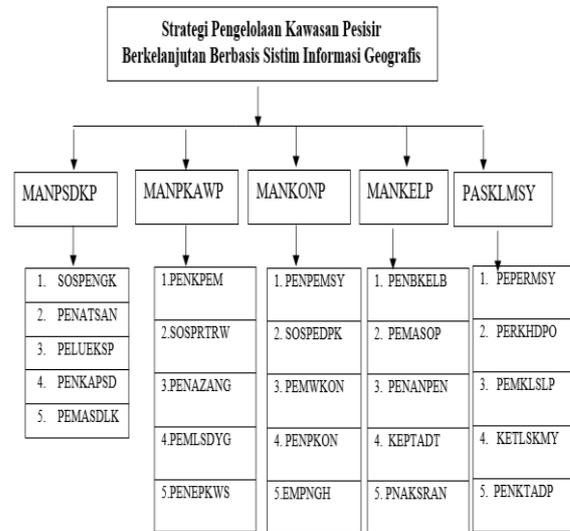
Berdasarkan 5 (lima) kriteria utama yang dibentuk sesuai dengan tujuan utama, maka kelima kriteria utama sesuai tujuan penelitian ini kemudian dikelompokkan menjadi unsur-unsur alternatif yang akan dinilai berdasarkan ketentuan AHP, salah satunya diformulasikan sebagai berikut:

Manajemen Pengendalian Kerusakan Sumber Daya Pesisir (MANPSDKP) dengan alternative;

1. Sosialisasi dan Penyuluhan tentang pengendalian Kerusakan bagi Masyarakat (SOSPENGK)
2. Penerapan aturan Hukum dan Sangsi (PENATSAN)
3. Pelarangan Terhadap Eksploitasi Sumber Daya Pesisir (PELUEKSP)
4. Peningkatan Kapasitas Sumber Daya (PENKAPSD)
5. Pembentukan Kelompok Masyarakat Sadar Lingkungan (PENKAPSD)

Unsur utama yang merupakan kriteria utama didalam AHP, selanjutnya akan disusun berdasarkan kerangka AHP dengan memuat unsur-

unsur aternatif sesuai dengan hasil SWOT. Gambar 3, memberikan gambaran tentang kerangka hierarkhi struktur AHP.

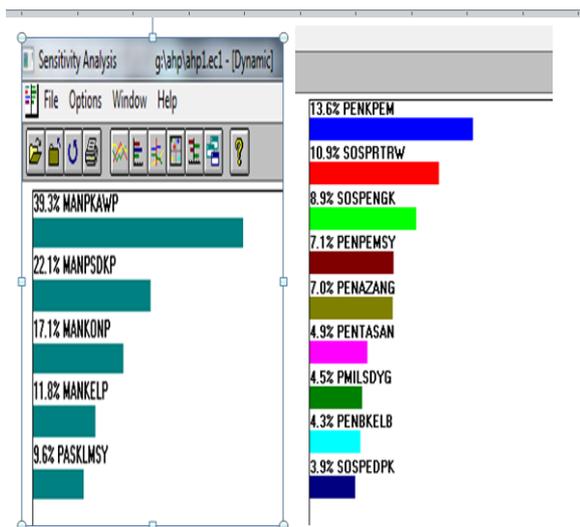


Gambar 3. Model AHP

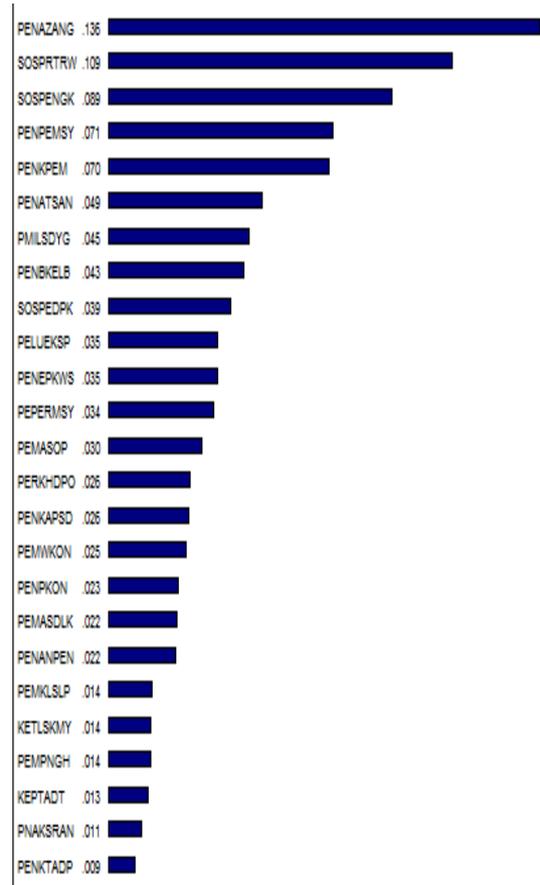
Tabel 4. Hasil Skoring Penilaian Kriteria dan Alternatif Kriteria AHP

No	Kriteria Utama dan Alternatif Kriteria Utama	Kode	Nilai PC	Ranking
1	Manajemen Penataan Kawasan Pesisir	MANPKAWP	39,3%	1
2	Manajemen Pengendalian Kerusakan Sumber Daya Pesisir	MANPSDKP	22,1 %	2
3	Manajemen Konservasi Kawasan Pesisir	MANKONP	17,1%	3
4	Manajemen Kelembagaan Pengelolaan Kawasan Pesisir	MANKELP	11,8%	4
5	Pemberdayaan Aspek sosial,dan kearifan lokal Masyarakat	PASKLMSY	9,6 %	5
<b>Alternatif Kriteria Strategi</b>				
1	Penataan Kawasan Sesuai Perundangan Zonasi Berbasis Sistim Informasi Geografis	PENAZANG	13,6%	1
2	Penerapan dan Sosialisasi RTRW K	SOSPRTRW	10,9%	2
3	Sosialisasi Dan Penyuluhan Tentang Pengendalian Kerusakan Bagi Masyarakat	SOSPENGK	8,9%	3
4	Peningkatan Peran Masyarakat Adat dan kearifan lokal	PENPEMSY	7,1 %	4
5	Penataan Kawasan Pemukiman, Industri, Bisnis, Parawisata dan lainnya	PENKPEM	7,0%	5
6	Penerapan Aturan Hukum dan Sangsi	PENATSAN	4,9%	6
7	Pemanfaatan Lahan Sesuai daya dukung	PEMLSDYG	4,5 %	7
8	Penataan Birokrasi dan sistem informasi	PENBKELB	4,3%	8
9	Sosialisasi dan Penyuluhan Dampak Lingkungan	SOSPEDPK	3,9 %	9

Sesuai Tabel 4, maka kriteria utama Manajemen Penataan kawasan Pesisir merupakan ranking 1 sebesar 39,3 % dan diperoleh alternatif kriteria dengan ranking yang tertinggi adalah penatan kawasan sesuai dengan perundangan zonasi berbasis Sistim Informasi geografis sebesar 13,6 %. Hal ini sesuai dengan hasil FGD yang merekomendasikan bahwa penataan kawasan untuk berbagai aktifitas dan kepentingan pada kawasan pesisir harus berdasarkan kepada perencanaan zonasi berbasis sistim informasi geografis Alternatif kriteria dengan ranking yang rendah adalah sosialisasi dan penyuluhan dampak lingkungan sebesar 3,9 %. Dengan melihat ranking alternatif kriteria tertinggi maka ditegaskan bahwa pemerintah Kota harus mempersiapkan perencanaan zonasi kawasan pesisir dalam upaya pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan di kota Ambon. Hasil AHP secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Dinamik Sensitifitas

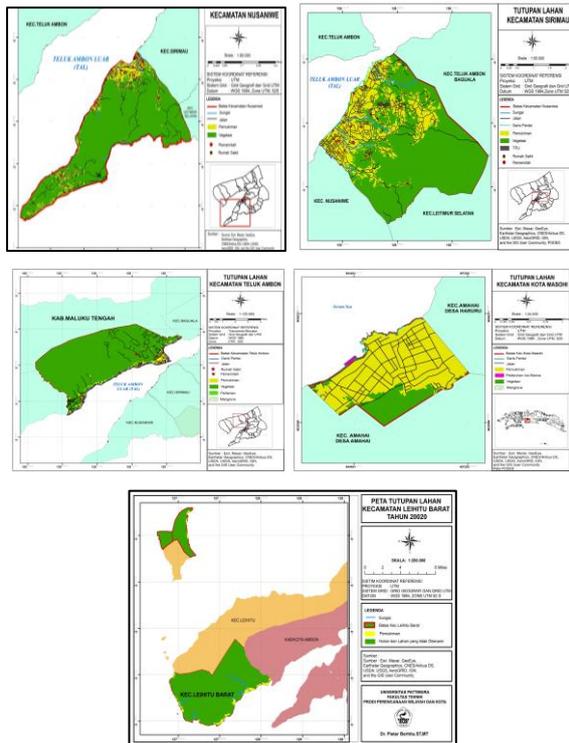


Gambar 4. Hasil distribusi ranking alternatif kriteria Strategi Pengelolaan Kawasan Berkelanjutan Berbasis SIG

### 3.4. Hasil Penggunaan Lahan Kota Ambon dan Maluku Tengah

Berdasarkan hasil pemetaan lahan kota Ambon terhadap 5 kecamatan maka dapat disimpulkan untuk;

1. Kecamatan Nusaniwe; Luas tutupan lahan untuk pemukiman = 6,44 Km<sup>2</sup>. (13,43%), Vegetasi/Hutan = 41.51 Km<sup>2</sup> (86,57%)
2. Kecamatan Sirimau; Luas tutupan lahan untuk pemukiman = 10,45 Km<sup>2</sup>. (32%), Vegetasi/Hutan = 22,05 Km<sup>2</sup> (68%)
3. Kecamatan Teluk Ambon; Luas tutupan lahan untuk pemukiman = 5,9 Km<sup>2</sup>. (6%), Vegetasi = 92,05 Km<sup>2</sup> (83,8%)
4. Kota Masohi, Luas tutupan lahan untuk pemukiman = 4,154 Km<sup>2</sup> (79%), vegetasi = 1,058 Km<sup>2</sup> (20%)



Gambar 5. Penggunaan Lahan Kota Ambon dan Maluku Tengah

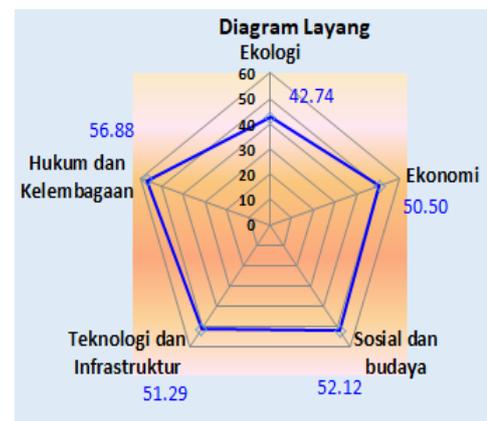
Dengan memperhatikan Tutupan lahan kota Ambon dan Maluku Tengah maka dapat disimpulkan penggunaan lahan setiap tahun mengalami perubahan karena berbagai aktifitas penduduk dan pembangunan mengingat pertumbuhan penduduk menjadi salah satu pertimbangan penting sebagai konsuekuensi penggunaan lahan terkait dengan penambahan lahan untuk kebutuhan pemukiman penduduk.

**3.5 Hasil Analisis Multi Dimensi (MDS)**

Berdasarkan hasil analisis MDS secara keseluruhan terhadap 5 dimensi keberlanjutan pengelolaan kawasan pesisir kota Ambon yakni ekologi, ekonomi, sosial budaya, teknologi dan infrastruktur, serta hukum dan kelembagaan maka diperoleh nilai indek keberlanjutan Multi Dimensi sebesar 50,13% berada pada katagori “cukup berkelanjutan”. Nilai indeks masing-masing dimensi dapat dilihat pada Tabel 5. Selanjutnya untuk atribut yang sensitif pada setiap dimensi berdasarkan hasil analisis *leverage factor* dengan

mengacu pada nilai RMS diperoleh 12 atribut. Hasil analisis juga diperoleh perbandingan hasil analisis Monte Carlo dengan MDS sangat kecil, seperti pada Tabel 6-8. Perbedaan antara hasil analisis MDS dan Monte Carlo menunjukkan adanya kesalahan yang kecil dan memberikan perubahan pada indeks keberlanjutan dimensi yang dianalisis. Berdasarkan hasil analisis terhadap 5 dimensi tersebut, maka indeks keberlanjutan secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram layang sesuai Gambar 6.

Hasil analisis Multi-Dimensional (MDS) dan analisis Monte Carlo juga memperlihatkan pengaruh galat dengan tingkat kesalahan pada taraf kepercayaan 95 persen dengan nilai stress berkisar antara 0,14 sampai 0,15 (ketentuan nilai *stress* < 0,25). Nilai determinasi ( $R^2$ ) berkisar 0,94 sampai 0,95 (ketentuan nilai  $R^2$  mendekati 1,0). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil analisis MDS ini dapat dipakai untuk mengetahui tingkat keberlanjutan pengelolaan kawasan pesisir kota Ambon dan Maluku Tengah secara berkelanjutan dengan model struktural berbasis SIG.



Gambar 6. Diagram Layang

Tabel 5. Nilai Indeks Keberlanjutan untuk Multi Dimensi

Dimensi	Nilai Indeks Keberlanjutan	Keterangan
Ekologi	42,74	Kurang Berkelanjutan
Ekonomi	50,50	Cukup Berkelanjutan
Sosial-Budaya	52,12	Cukup Berkelanjutan
Teknologi dan Infrastruktur	51,29	Cukup Berkelanjutan
Hukum dan Kelembagaan	56,88	Cukup Berkelanjutan
<b>Multi Dimensi</b>	<b>50,13</b>	<b>Cukup Berkelanjutan</b>

Tabel 6. Atribut Yang Sensitif

Dimensi				
Ekologi	Ekonomi	Sosial Budaya	Teknologi dan Infrastruktur	Hukum dan Kelembagaan
a. Tingkat kerusakan fisik pesisir	a. Kontribusi sektor pariwisata	a. peran kearifan lokal	a. Dukungan sarana prasarana industri kecil dan menengah	a. Peraturan tentang pengelolaan pesisir dan sumber daya alam
b. Tingkat kesesuaian lahan	b. Pendapatan asli daerah	b. Tingkat pengetahuan serta partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sumber daya alam	b. Dukungan sarana dan prasarana pariwisata	b. Implementasi aturan SASI dalam pengelolaan sumber daya Alam.
c. Tingkat kerusakan ekosistem pesisir	c. Pemasaran hasil perikanan			

Tabel 7. Hasil analisis Montecarlo

Dimensi Keberlanjutan	Nilai Indeks Perbedaan		Perbedaan
	MDS	Monte Carlo	
Ekologi	42,74	42,69	0,05
Ekonomi	50,50	50,43	0,07
Sosial Budaya	52,12	51,84	0,28
Teknologi dan Infrastruktur	51,29	50,99	0,30
Hukum dan Kelembagaan	56,88	56,50	0,38
<b>Multi-dimensi</b>	<b>50,13</b>	<b>50,02</b>	<b>0,11</b>

Tabel 8. Nilai Stress dan R<sup>2</sup>

Parameter	Dimensi				
	Ekologi	Ekonomi	Sosial dan Budaya	Teknologi Infrastruktur	Hukum dan Kelembagaan
Stress	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14
R <sup>2</sup>	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan:

1. Tingkat keberlanjutan pengelolaan kawasan pesisir kota Ambon dan Kab Maluku Tengah secara keseluruhan (multi dimensi) adalah sebesar 50,13%, berada pada status cukup berkelanjutan.
2. Model structural berbasis SIG hubungan peran zonasi berbasis sistim informasi geografis (Y1 – Y3) serta peran masyarakat (Y4 – Y6) dalam pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan sangat dipengaruhi oleh faktor personel pengelolaan (X1), Non Fisik Pengelolaan (X2) dan Fisik pengelolaan (X3), Keseluruhan variabel eksogen memiliki nilai probabilitas (P) yang sesuai dengan kriteria  $P \leq 0,05$ , dan nilai rasio kritis (CR) memiliki nilai lebih yaitu 2 (dua) kali dari besaran standart error (S.E) yang membuktikan bahwa variabel tersebut sah (terbukti valid) telah mampu mengukur apa yang seharusnya diukur pada model.
3. Penilaian hasil analisis SWOT kelembagaan pemerintah dan masyarakat terhadap kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weakness*), peluang (*opportunity*) dan ancaman (*threats*) berada pada kuadran I (pertama) visualisasi hasil SWOT dengan nilai (1,35; dan 1,8). Hasil Analisis SWOT pengelolaan kawasan pesisir

kota Ambon berkelanjutan berbasis zonasi kemudian dilakukan analisis melalui AHP memberikan gambaran bahwa penilaian oleh pemangku kebijakan dalam implementasi program diprioritaskan kepada strategi “Manajemen Penataan Kawasan Pesisir Secara Berkelanjutan Berbasis Sistim Informasi Geografis” dengan skor penilaian sebesar 39,3%. Terdapat 9 (sembilan) alternatif kriteria strategi yang harus dijalankan sesuai dengan tiga prioritas utama berdasarkan urutan yakni “Penataan Kawasan Pesisir Sesuai Perundangan Zonasi Berbasis SIG” sebesar 13,6 %, kemudian “Penerapan dan Sosialisasi RTRW Kota Ambon” sebesar 10,9% dan terakhir adalah “Sosialisasi dan Penyuluhan Tentang Pengendalian Kerusakan Bagi Masyarakat” di kota Ambon maupun di Kabupaten Maluku Tengah sebesar 8,9%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Dahuri, J. Rais, S.Ginting dan J. Sitepu, (2004). Pengelolaan Sumber daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. PT Pradnya Paramita. Jakarta
- [2] P. Berhito (2007). Studi Kerusakan Garis Pantai Teluk Ambon Luar Dan Pengaruhnya Terhadap Tata Ruang Wilayah Kota Ambon. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Kelautan. ITS. 243-249*
- [3] S. Helvina (2014). Pengaruh Depositional Terhadap Daya Dukung Lingkungan Perairan Teluk Ambon Bagian Dalam Untuk Pengembangan Keramba Jaring. Tesis S2 (tidak dipublikasikan). Program Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan
- [4] H. Lekatompessy, M. Djafar Saidi, dan A Tuwo (2012). Tanggung Jawab Pemerintah Kota Ambon Dalam Menangani Pemukiman Yang Berdampak Terhadap Lingkungan Pesisir Lateri Ambon. *Jurnal Manajemen Lingkungan 12 (2) 1-14*
- [5] F. Leuwol (2007). Pengaruh Sedimen Sungai Galala Terhadap Garis pantai Di Perairan Teluk Ambon. Tesis S2 (tidak dipublikasikan)

- Program Pasca Sarjana Universitas Gaja Mada
- [6] S. Tuhumury, Uneputty, P. A dan Tupan, Ch. I. (2008). Sedimentasi dan Ekosistem Mangrove di sungai wairekang, Lateri Ambon. *J. Ichthyos*, 8 (2) : 87- 94
- [7] T. J. Kakisina, (2009). Estimasi Efektifitas Penggunaan Groin Untuk Mengatasi Erosi Pada Kawasan Pesisir Pantai Utara Teluk Baguala Ambon. *Jurnal Teknologi*. 6 (2) 703-707
- [8] J. Abrahamsz, dan M.A Tuapatinaja, (2005). Evaluasi Kawasan Konservasi Hutan Mangrove di Desa Passo. *Jurnal Ichtyos*, 4 (2): 93-98
- [9] D. A. J. Selanno, A. S Julian, dan P. Beruat, (2008). Analisis Tingkat Kerusakan Mangrove di teluk Ambon Dalam. *Jurnal Penelitian Perikanan*, 8(1): 23-2
- [10] A. J. Debby, E. M. Adiwilaga, R. Dahuri, M. Ismudi, dan H. Effendi (2009). Sebaran Spasial Luasan Area Tercemar dan Analisis Beban Pencemaran Bahan Organik Pada Perairan Teluk Ambon Dalam. *Jurnal Torani* 19 (2): 96 – 106
- [11] D. A. Sihasale (2013). Keanekaragaman Hayati Di Kawasan Pantai Kota Ambon Dan Konsekuensi Untuk Pengembangan Pariwisata Pesisir. *Journal of Indonesian Tourism and Development Studies*, 1(1) 20 - 27
- [12] P. Berhиту, dan Y. Matakupan (2010). Kajian Kelayakan Pengembangan Kawasan Pesisir Kota Ambon Sebagai Kota Pantai, *Jurnal Teknologi dan Sains*, 7(1):767-781
- [13] I. Idris (2010). Penataan kelembagaan dalam pengelolaan sumberdaya pesisir dan kelautan: studi kasus di Teluk Ambon dalam, Kotamadya Daerah Tingkat II Ambon, *Tesis Sekolah Pasca Sarjana Universitas Indonesia*, 78-81
- [14] P. Berhиту, W. Latuny dan M. Efruan. (2010). Preliminary Feasibility Study And Development Coastal Region of Ambon City as Ambon Water Front City in Supporting Potentials and Regional Competitiveness. *Proceeding International Conference on Marine Technology, Bangladesh Dacha*, 67-72
- [15] A. Yulia (2008). Pengaruh Pemanfaatan Lahan Terhadap Ekosistem Pesisir Dikawasan Teluk Ambon, *Jurnal Wilayah dan Kota* 12:15-25
- [16] Badan Perencanaan Pembangunan Kota (Bappekot) Ambon Kota Ambon (2019). RTRW Kota Ambon (20013-2031). Penerbit Bappekot Ambon
- [17] Badan Perencanaan Pembangunan Kabupaten Maluku Tengah 2008 - 2028 , Rencana Strategis Maluku Tengah 2018
- [18] Badan Perencanaan Pembangunan Kota (Bappekot) Ambon Kota Ambon (2012). Rencana Strategis Kota Ambon 2012 - 2032
- [19] Ditjen KP3K. (2019). Pedoman Penyusunan Rencana Zonasi Kawasan Pesisir dan Laut. Edisi ke II. Departemen Kelautan dan Perikanan.
- [20] Dulbahri (2001). Sistem Informasi Geografis. Penginderaan Jauh Untuk Sumberdaya dengan Pendekatan Intepretasi Citra dan Survei Terpadu, Universitas Gadjah Mada Fakultas Geografi (PUSPICS) UGM-Bakorsutanal, Yogyakarta.
- [21] ESRI, (1999). GIS for School and Libraries Version 5, Environmental Research Institute
- [22] P. Kavanagh (2001). Rapid Appraisal of Fisheries (Rapfish) Project. Rapfish Software Description (for Microsoft Exel). University of British Columbia.
- [23] P. Kavanagh, dan T. J. Pitcher (2004). Implementing Microsoft Excel Software for RAPFISH: A Technique for The Rapid Appraisal of Fisheries Status. The Fisheries Centre, University of British Columbia, 2259 Lower Mall Vancouver, Canada, V6T IZ4
- [24] Wijaya dan Mustafa (2012). Panduan Teknik Statistik SEM Dan PLS Dengan SPSS AMOS. Konsep dasar SEM dan PLS: Pengenalan Amos dan
- [25] F. Rangkuti (2009). Analisis SWOT Teknik Membelah Kasus Bisnis, Reorientasi Konsep Perencanaan Strategis Untuk Menghadapi Abad 2001. PT Gramedia Pustaka Utama Jakarta 188 hlm.



# ALE 2021

ARCHIPELAGO ENGINEERING

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PATTIMURA  
AMBON**

ISSN 2798-7310



9 772798 731008



9 772620 399000

**Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Pusat Data Dan Dokumentasi Ilmiah  
PUSAT NASIONAL ISSN INDONESIA**

<https://issn.lipi.go.id/>