

PERENCANAAN ULANG PABRIK ES KAPASITAS 1050 KG UNTUK KEBUTUHAN MASYARAKAT DESA MOAIAN KECAMATAN MOA KABUPATEN MALUKU BARAT DAYA

Martin M. A. Silalahi¹⁾, Rikhardus ufie²⁾, W. M. E. Wattimena³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: silalahim28@gmail.com,

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: rikhardufienew@gmail.com,

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: wmewattimena273@gmail.com,

ABSTRAK

Tersedianya pabrik es di daerah pedesaan kini menjadi salah satu tuntutan sejalan dengan munculnya kebutuhan masyarakat bagi pendinginan produk perikanan maupun pertanian, Untuk memenuhi kebutuhan dimaksud, maka telah diupayakan pembangunan Pabrik Es yang disatukan dengan unit Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai sumber energi penggerakannya. Sesuai rencana semula pabrik pada 2015 ini diharapkan dapat memproduksi es sebanyak 2000 ton per hari, hingga kini tidak dapat beroperasi dan ternyata dibangun hanya berkapasitas produksi 1050 kg, . maka untuk dapat memanfaatkan bangunan yang ada perlu dilakukan perencanaan ulang terkait kebutuhan instalasi pendingin bertolak dari kapasitas bak pendinginan-pembekuan es yang ada. Sesuai Untuk memberikan alternatif maka perencanaan ulang sehingga akan tergantung pula terhadap penyediaan pasokan listrik baik melalui perencanaan ulang Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang sesuai, maupun sumber lain yang bisa disediakan oleh pihak desa. metode penelitian yang digunakan Studi Pustaka dan Dokumen Kontrak Kebutuhan Kapasitas Refrigerasi adalah R-32, R-410a dan R-134a pada berbagai variasi lama pembekuan sebesar 24,8 jam, 18,6 jam, 14,9 jam, 12,4 jam dan 10,6 jam 3 jam untuk menghasilkan es sebanyak 1050 kg dan untuk mendinginkan produk sebesar 1050 kg, dari temperatur awal 25oC hingga terbentuk es pada temperatur akhir simpan-beku -5oC, kalor total yang harus dikeluarkan adalah 472.762,5 kJ. dan Kebutuhan Daya Kompresi) untuk Refrigeran R134a dan R-410a pada berbagai variasi lama pembekuan Terlihat jika pabrik es diopersikan dengan instalasi pendingin R-32, R-410a ataupun R-134a,m kebutuhan daya kompresi relatif sama besar untuk berbagai pilihan waktu pembekuan yang ada. Sesuai hasil perhitungan ebutuhan daya kompresi untuk lama waktu pembekuan es sebesar 24 jam, 18 jam, 14, 12 dan 10 jam rata-rata adalah sebesar, 2,1 kW, 2,8 kW, 3,1 kW, 4,1 kW dan 5 kW.

Kata kunci : Pabrik Es, kapasitas 1050 kg, desa moa

1. PENDAHULUAN

Tersedianya pabrik es di daerah pedesaan kini menjadi salah satu tuntutan sejalan dengan munculnya kebutuhan masyarakat bagi pendinginan produk perikanan maupun pertanian, di samping untuk kebutuhan konsumsi. Pabrik es terutama dibutuhkan bagi desa-desa produktif dimana berbagai produk petani, nelayan, ataupun peternak yang dihasilkan perlu dipertahankan kesegarannya untuk dapat dipasarkan.

Untuk memenuhi kebutuhan dimaksud, maka di Desa Moain, Kecamatan Moa, Kabupaten

Maluku Barat Daya telah diupayakan pembangunan Pabrik Es yang disatukan dengan unit Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi penggerakannya. Sesuai rencana semula pabrik yang dibangun pada 2015 ini diharapkan dapat memproduksi es sebanyak 2000 ton per hari, namun hingga kini tidak dapat beroperasi dan ternyata dibangun hanya untuk kapasitas produksi 1050 kg, sesuai konstruksi bak pendinginan-pembekuan yang ada.

Melihat kondisi pabrik yang ada, maka untuk dapat memanfaatkan bangunan yang ada perlu dilakukan perencanaan ulang terkait kebutuhan instalasi pendingin bertolak dari kapasitas bak pendinginan-pembekuan es yang ada. Sesuai bangunan pabrik yang ada, kebutuhan perencanaan ulang ini juga mencakup upaya pemanfaatan ruang penyimpanan es yang juga tidak dapat dioperasikan.

Untuk memberikan alternatif pilihan bagi pemanfaatan kembali pabrik es yang terbengkalai ini, maka perencanaan ulang ini akan dilakukan untuk beberapa alternatif waktu pendinginan-pembekuan, sehingga akan tergantung pula terhadap penyediaan pasokan listrik baik melalui perencanaan ulang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang sesuai, maupun dengan sumber lain yang bisa disediakan oleh pihak desa.

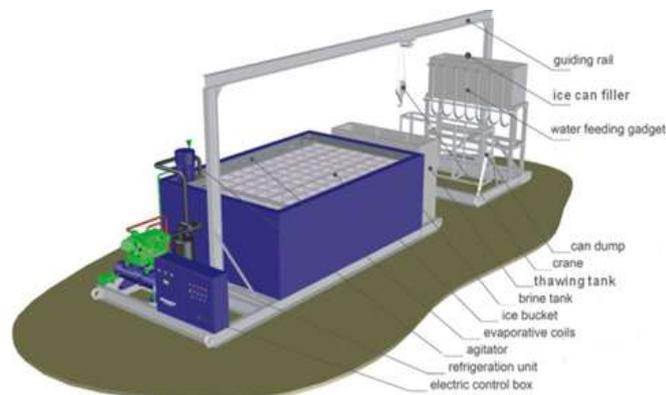
2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pendingin Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon. Penelitian ini bersifat deskriptif yang dilakukan untuk mengetahui sistem pembekuan es yang umumnya digunakan dan khususnya perencanaan pabrik es yang ada.

A. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Dalam penelitian ini menggunakan metode studi kasus yaitu melakukan pengumpulan data dan analisis data yang mencakup observasi dan wawancara. Penelitian dilakukan untuk mengetahui penentuan kondisi kerja dan karakteristik siklus kompresi uap pada pabrik es untuk penggunaan *refrigeran* R-404a, R-32 dan R-410a yang digunakan dalam siklus kompresi uap pada pabrik es.

B. Konstruksi Umum Pabrik Es



Gambar 1. Konstruksi Pabrik Es

Keterangan:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| a. Brine tank | g. Water feeding gadget |
| b. Ice bucket/ice can | h. Ice can filler |
| c. Can dump | i. Guiding rail |
| d. Evaporative coil | j. Agitator |
| e. Thawing tank | k. Refrigeration unit |
| f. Crane | l. Electric control box |

1. *Brain Tank* yakni tangki braine dimana braine di sirkulasikan untuk mendinginkan cetakan es yang dicelup di dalamnya.
2. *ice bucket/ice can* yakni cetakan es dimana ditampung air yang hendak di dinginkan untuk menghasilkan es.
3. *Can dump* dimana cetakan es ditaruh untuk proses pelepasan es setelah sebelumnya di cwlupkan didalam *thawing tank*.
4. *Evaporative tank coil* yaitu koil evaporator dimana mengalir refrigerant yang bersuhu rendah untuk mendinginkan brine yang hendak disirkulasikan ke dalam *brine tank*.
5. *Thawing tank* yaitu tangki berisi air dimana cetakan es di celupkan agar es yang sudah terbentuk dapat meleleh sehingga selanjutnya dapat dikeluarkan dari cetakan.
6. *Crane* yaitu peralatan pengangkut untuk memindahkan cetakan es dari *bine tank* ke *thawing tank* dan selanjutnya ke *can dump*, sebelum di isi kembali dengan air yang akan dibekukan berikutnya.
7. *Water feedign gadget* yaitu peratan yang digunakan intuk pengisian air ke dalam cetakan es.
8. *Ice can filler* yaitu wadah penyaring es.
9. *Guiding rail*,rel pengarah dimana dipasang crane untuk memindahkan cetakan es.
10. *Agitator*, yaitu alat untuk mensirkulasi *brine* kedalam tangki setelah di dinginkan pada *chiller*.
11. *Refrigeration unit*, yang terdiri dari kompresor, kondensor, peralatan ekspansi dan evaporator untuk pendingin brine.
12. *Electric control box* yaitu panel listrik untuk mengontrol pengoperasian mesin pendingin secara umum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

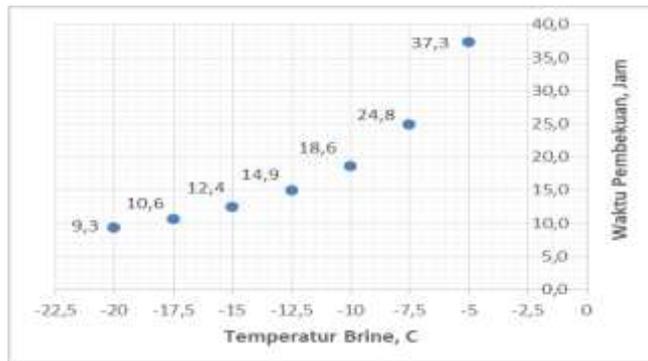
A. Hasil Perhitungan Lama Waktu Pembekuan

Hasil dan Pembahasan lama waktu pembekuan untuk berbagai jenis cetakan menurut besar tamperatur brine di tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 hasil perhitungan lama waktu pembekuan es

Kapasitas cetakan, kg	Bentuk Cetakan	lebar atas cetakan minimum, m	Waktu pembekuan (jam) sesuai besar temperatur Brine (°C)						
			-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20
25	persegi panjang	0,15	24,0	16,0	12,0	9,6	8,0	6,8	6,0
25	bujur sangkar	0,19	26,8	17,9	13,4	10,7	8,9	7,7	6,7
50	persegi panjang	0,19	37,3	24,8	18,6	14,9	12,4	10,6	9,3
50	bujur sangkar	0,26	48,0	32,0	24,0	19,2	16,0	13,7	12,0
100	persegi panjang	0,275	75,2	50,1	37,6	30,1	25,1	21,5	18,8
136	persegi panjang	0,28	77,8	51,9	38,9	31,1	25,9	22,2	19,4

Untuk cetakan dengan massa es seberat 50 kg dengan bentuk persegi panjang yang digunakan, maka hubungan waktu lama pembekuan dengan besar temperatur pendinginan atau temperatur brine adalah sebagaimana di tunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2, Grafik hubungan lama waktu pembekuan dan suhu brine/pendinginan untuk cetakan 50 kg yang digunakan.

Waktu pembekuan tersingkat yang mungkin di pilih berkisar 10,6 jam yaitu pada temperatur brine sebesar 17,5°C dengan kemungkinan memilih temperatur evaporasi terendah sebesar -20 °C untuk tetap menjamin kondisi brine berupa larutan garam (*sodium chloride*) masih tetap tersirkulasi di atas titik bekunya.

B. Hasil Perhitungan Total Kalor Pembekuan dan Beban Pendingin

Hasil perhitungan kalor total pembekuan es sebanyak 1050 kg atau 1,05 ton dari suhu awal air sebesar 25°C hingga terbentuk es dengan suhu akhir sebesar -5°C ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2, Hasil Perhitungan Kalor Totsl Pembekuan Es

No	Paramater/variable	Simbol	Besar	Satuan
1	Jumlah cetakan	n_{can}	21	Cetakan
2	Massa air per cetakan	m_{can}	50	kg
3	Total massa es	$m_{ice} = n_{can} \times m_{can}$	1050	kg
			1,05	ton
4	Suhu awak air	(t_i)	25	°C
5	Suhu beku air	(t_f)	0	°C
6	Suhu akhir es	(t_{bf})	-5	°C
7	Kalor spesifik di atas beku	(c_{paf})	4,19	kJ/(kg.°C)
8	Kalor laten pembekuan es	(h_{fs})	335	kJ/kg
9	Kalor spesifik di bawah beku	(c_{pbf})	2,1	kJ/(kg.°C)
10	Kalor pendinginan awal	$Q_{af} = m_{ice} \times c_{paf} \times (t_i - t_f)$	109.987,5	kJ
11	Kalor pembekuan	$Q_f = m_{ice} \times h_{fs}$	351.750	kJ
12	Kalor pendinginan akhir	$Q_{bf} = m_{ice} \times c_{pbf} \times (t_f - t_{bf})$	11.025	kJ
13	Total kalor pembekuan es	$Q_T = Q_{af} + Q_f + Q_{bf}$	472.762,5	kJ

Sesuai hasil perhitungan pada Tabel 4.3 ini, maka kalor total yang harus di-disipasi adalah sebesar 472.762,5 kJ.

Tabel 3, Hasil perhitungan laju kalor pendinginan/pembekuan es

No	Variabel	Simbol/ rumus	Besar					Satuan
1	Lama waktu pembekuan	t	24	18	14	12	10	jam
			86.400	64.800	50.400	43.200	36.000	detik
2	Kalor total pembekuan es	Q_T	472.762,5	472.762,5	472.762,5	472.762,5	472.762,5	kJ

3	Laju kalor Pendinginan/ Pembekuan es	$Q_c = Q_T/t$	5,472	7,296	9,380	10,944	13,132	$\text{kJ/s} = \text{kW}$
4	Faktor beban kalor tambahan	f_c	30%	30%	30%	30%	30%	%
5	Laju beban kalor tambahan dari lingkungan dan lain-lain.		1,642	2,189	2,814	3,283	3,940	kW
6	Total beban / Kapasitas Pendinginan	$Q_R = (1+f_c) \times Q_c$	7,113	9,484	12,194	14,227	17,072	kW

Selanjutnya dengan asumsi bahwa beban kalor tambahan yang berasal dari lingkungan yakni beban kalor transmisi dan infiltrasi serta beban internal akibat penggunaan agitator adalah sebesar 30% dari beban produk atau beban pendinginan/pembekuan es, maka total beban pendinginan yang sekaligus merupakan kapasitas refrigerasi yang dibutuhkan menurut lama waktu pembekuan, adalah sebagaimana ditunjukkan pada baris ke-5 Tabel 3 di atas.

C. Penentuan Kondisi Kerja dan Karakteristik Siklus Kompresi Uap untuk penggunaan Refrigeran R-404a dan R-32

Hasil perhitungan untuk mendapatkan Koefisien Performansi (COP) untuk alternatif penggunaan R-32, R-410a dan R-134a selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kondisi kerja dan Karakteristik Siklus Kompresi Uap untuk alternatif penggunaan refrigeran R-32, R-410a dan R-134a

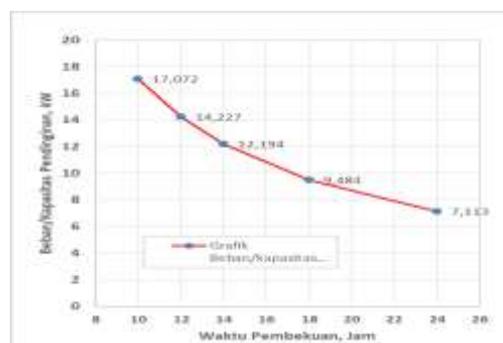
No	Parameter/Variabel	Simbol	Jenis Refrigeran			Satuan
			R-32	R-410a	R-134a	
1	Tekanan evaporasi	$P_1 = P_4$	4,0575	4,007	1,3273	bar
2	Tekanan kondensasi	$P_2 = P_3$	21,898	21,449	8,8698	bar
3	Rasio kompresi	Cr	5,396919	5,352882	6,682589	
4	Temperatur Evaporasi	T_{evap}	-20	-20	-20	°C
5	Pemanasan Uap lanjut	ΔT_{SH}	10	10	10	°C
6	Temperatur masuk Kompresor	T_1	-10	-10	-10	°C
7	Temperatur kondensasi	T_{kond}	35	35	35	°C
8	Pendinginan bawah dingin	ΔT_{SC}	10	10	10	°C
9	Temperatur kondensasi akhir	T_3	25	25	25	°C

10	Entalpi tingkat keadaan 1	h_1	520,27	423,51	394,71	kJ/kg
11	Entalpi tingkat keadaan 2s	h_{2s}	595,8	473,97	436,24	kJ/kg
12	Kerja kompresi isentropik	$w_s = (h_{2s} - h_1)$	75,53	50,46	41,53	kJ/kg
13	Efisiensi isentropik	η_{is} kompresor	0,95	0,95	0,95	kJ/kg
14	Kerja kompresi aktual	$w_k = w_s/\eta_{is}$	79,50526	53,11579	43,71579	kJ/kg
15	Entalpi tingkat keadaan 2	$h_2 = (h_1 + w_k)$	599,7753	476,6258	438,4258	kJ/kg
16	Entalpi tingkat keadaan 3 dan 4	$h_3 = h_4$	245,41	239,63	245,41	kJ/kg
17	Dampak refrigerasi	$q_c = (h_1 - h_4)$	274,86	183,88	149,3	kJ/kg
18	Koefisien Performansi	$COP = q_c/w_k$	3,45713	3,461871	3,415242	

Pemilihan kondisi kerja dan besaran siklus didasarkan pada siklus kompresi uap aktual sebagai ditunjukkan pada Gambar 2.2. Temperatur evaporasi dipilih sebesar -20°C dan dengan asumsi bahwa terjadi kenaikan temperatur panas lanjut sebesar $\Delta T_{SH} = 5^\circ\text{C}$ maka besar temperatur refrigeran saat memasuki kompresor diperoleh sebesar -15°C . Temperatur kondensasi selanjutnya dipilih sebesar 35°C dan dengan asumsi bahwa terjadi penurunan temperatur bawah dingin sebesar $\Delta T_{SC} = 10^\circ\text{C}$, maka temperatur refrigeran saat keluar dari kondensator diperoleh sebesar 25°C . Untuk perhitungan kerja kompresor, efisiensi isentropik dari kompresor diasumsikan sebesar 0,95. Sifat-sifat termodinamika R-32, R-410a dan R-134a pada berbagai tingkat keadaan diperoleh dengan bantuan perangkat REFPRO6®.

D. Kebutuhan Kapasitas Refrigerasi (*Refrigeration Capacity*) untuk alternatif penggunaan instalsi dengan Refrigeran R-32, R-410a dan R-134a pada berbagai variasi lama pembekuan

Grafik kebutuhan kapasitas refrigerasi (*Refrigeration Capacity*) sesuai variasi waktu pendinginan-pembekuan sebesar 24,8 jam, 18,6 jam, 14,9 jam, 12,4 jam dan 10,6 jam 3 jam untuk menghasilkan es sebanyak 1050 kg sesuai hasil perhitungan pada Tabel 5, ditunjukkan pada Gambar 3.



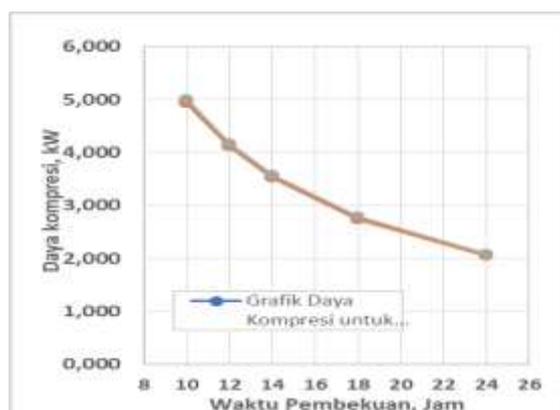
Gambar 3 Grafik Beban/Kapasitas Pendinginan menurut variasi waktu pendinginan-pembekuan untuk alternatif penggunaan refrigeran R-410a dan R-32.

Sesuai hasil perhitungan untuk mendinginkan produk sebesar 1050 kg, dari temperatur awal sebesar 25°C hingga terbetuk es pada temperatur akhir simpan-beku sebesar -5°C, kalor total yang harus dikeluarkan adalah sebesar 472.762,5 kJ. Semakin cepat waktu pembekuan yang dikehendaki, maka semakin besar pula kalor yang harus diambil dari sistem. Kapasitas refrigerasi disini, menunjukkan seberapa besar kalor (kJ) yang harus diambil per detik (s) dari kalor total pendinginan-pembekuan tersebut selama waktu pembekuan.

Sesuai Gambar 3, terlihat bahwa semakin kecil waktu pendinginan-pembekuan yang dikehendaki, maka akan semakin meningkat kapasitas refrigerasi yang dibutuhkan. Terlihat bahwa untuk lama waktu pembekuan sebesar 24 jam, 18 jam, 14 jam, 12 jam dan 10 jam diperoleh total beban pendinginan (*cooling load*) yang harus diatasi atau kapasitas pendinginan (*refrigeration capacity*) yang diperlukan masing-masing adalah sebesar 7,113 kW, 9,484 kW, 12,194 kW, 14,227 kW dan 17,072 kW.

E. Kebutuhan Daya Kompresi (*Compression power*) untuk alternatif penggunaan instalasi dengan Refrigeran R134a dan R-410a pada berbagai variasi lama pembekuan.

Grafik kebutuhan daya kompresi sesuai variasi waktu pendinginan-pembekuan untuk alternatif penggunaan instalasi dengan refrigeran R-32, R-410a atau R-134a ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4 Grafik Kebutuhan Daya Kompresi menurut variasi waktu pendinginan-pembekuan untuk alternatif penggunaan refrigeran R-32, R-410a dan R-134a

Terlihat bahwa jika pabrik es dioperasikan entah dengan instalasi pendingin R-32, R-410a ataupun R-134a, kebutuhan daya kompresi relatif sama besar untuk berbagai pilihan waktu pembekuan yang ada. kebutuhan daya kompresi untuk lama waktu pembekuan es sebesar 24 jam, 18 jam, 14, 12 dan 10 jam rata-rata adalah sebesar, 2,1 kW, 2,8 kW, 3,1 kW, 4,1 kW dan 5 kW.

4. KESIMPULAN

Sesuai hasil penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kapasitas refrigerasi (*refrigeration capacity*) yang diperlukan bagi pengoperasian pabrik es untuk dengan produksi sebesar 1050 kg, dari temperatur awal sebesar 25°C hingga terbetuk es pada temperatur akhir simpan-beku sebesar -5°C, untuk waktu pembekuan selama, 24 jam, 18 jam, 14 jam, 12 jam dan 10 jam masing-masing adalah sebesar 7,113 kW, 9,484 kW, 12,194 kW, 14,227 kW dan 17,072 kW.
2. Daya kompresi yang diperlukan untuk produksi es sebesar 1050 kg kg dimaksud untuk waktu pembekuan selama, 24 jam, 18 jam, 14 jam, 12 jam dan 10 jam untuk alternatif

penggunaan instalasi dengan:

- a. Instalasi dengan refrigeran R-32 masing-masing adalah sebesar 2,06 kW, 2,74 kW, 3,53 kW, 4,12 kW dan 4,94 Kw
- b. Instalasi dengan refrigeran R-410a masing-masing adalah sebesar 2,05 kW, 2,74 kW, 3,52 kW, 4,11 kW dan 4,93 kW
- c. Instalasi dengan refrigeran R-32 masing-masing adalah sebesar 2,07 kW, 2,75 kW, 3,54 kW, 4,13 kW dan 4,96 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. (1990). *Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc.* Atalanta.
- Arismunandar,W&HeizoSato. (1980). *PenyegaranUdara.*Jakarta : PT. Pradya Pramita.
- Arora, C, P.(2000). *Refrigeration andAir Conditioning, SecondEdition.*Tata McGraw-Hill
- Hara, Supratman. (1994). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara.*ITB:Erlangga
- Herianto, D Angki. (2013).*Kaji Penggunaan Kondensor Jenis Konveksi Bebas BerupaSusunan Koil Pada Prototipe Coolbox Dengan Daya Kompresor 0,5HP.* Universitas Pattimura Ambon.
- Nasution, Hanry. (2009). *Teknik pendingin.* Jurusan Teknik Mesin Universitas Bung Hatta. Padang.
- Rasta, I Made. (2009).*Pemanfaatan Energi Panas Terbuang pada Kondensor AC Sentral Jenis Water Chiller untuk Pemanas Air Hemat Energi,* Politeknik Negeri Bali
- Stoecker, W, F&Jerold, W Jones. (1992).*Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Edisi II.* Terjemahan Supratman Hara. Jakarta : Erlangga