

TINJAUAN DAYA MOTOR INDUK MITSUBISHI S6R2-MPTK AKIBAT PERUBAHAN BAHAN BAKAR HSD KE BAHAN BAKAR B30 PADA KAPAL TUG BOAT MANUNGGAL 01O. S. Lekal¹, N. L. T. Thenu², G. S. Norimarna³¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234E-mail: oliviasivora@gmail.com;²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura 97234Email : novitha.thenu@gmail.com;³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura 97234E-mail : gertruidanorimarna@gmail.com

Abstrak Kebijakan pemerintah tentang pemberlakuan kebijakan perubahan penggunaan bahan bakar High Speed Diesel (HSD) ke bahan bakar *Biodiesel* (B30) bagi industri perkapalan telah membuat industri - industri perkapalan kembali berpikir untuk mengatur berbagai kebijakan secara internal menyangkut dengan berbagai pengelolaan pengoperasian kapal. Oleh sebab itu, berbagai pengaruh yang berkaitan dengan perubahan konsumsi bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD) ke bahan bakar *Biodiesel* (B30) perlu dikaji ulang sehingga tidak merugikan pihak kapal. Salah satu kajian yang perlu dilakukan adalah meninjau seberapa besar pengaruh perubahan bahan bakar HSD ke bahan bakar biodiesel terhadap daya motor induk. Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induk Mitsubishi S6R2-MPTK pada Kapal Tug Boat Manunggal 01. Secara teoritis, besar daya motor induk didapatkan dari perhitungan termodinamika akibat perubahan penggunaan bahan bakar. Perhitungan termodinamika yang dibagi atas 2 bagian yaitu perhitungan akibat penggunaan bahan bakar HSD dan perhitungan akibat penggunaan bahan bakar B30 terhadap daya motor induk, setelah itu, membandingkan daya motor induk yang dihasilkan HSD dan B30. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa terjadi perubahan daya motor induk akibat perbedaan nilai Carbon 86%, Hidrogen 13,5%, Oksigen 1.0% untuk bahan bakar solar (HSD) dan untuk bahan bakar biodiesel B30 nilai Carbon sebesar 83,5%, Hidrogen 13,5%, dan Oksigen 3%. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini ialah daya efektif yang dihasilkan oleh bahan bakar solar (HSD) sebesar 610.00 Hp, sedangkan B30 sebesar 629.596 Hp. Maka dapat disimpulkan bahwa daya motor yang dihasilkan saat kapal menggunakan bahan bakar B30 lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar HSD. Namun terdapat kekurangan pada pemakaian bahan bakar B30 yaitu pemakaian bahan bakarnya lebih boros jika dibandingkan dengan bahan bakar HSD.

Kata kunci : Biodiesel 30, *High Speed Diesel*

Abstract The government's policy regarding the implementation of a policy of changing the use of high-speed diesel (HSD) fuel to biodiesel (B30) fuel for the shipping industry has made the shipping industry think again about regulating various policies internally regarding the various management of ship operations. Therefore, various effects related to the change in consumption of High Speed Diesel (HSD) fuel to Biodiesel fuel (B30) need to be reviewed so that it does not harm the ship. One of the studies that needs to be done is to review how much influence the change from HSD fuel to biodiesel fuel has on the main engine's power. The research object used in this research is the Mitsubishi S6R2-MPTK main motor on the Manunggal 01 Tug Boat. Theoretically, the main engine power is obtained from thermodynamic calculations due to changes in fuel use. The thermodynamic calculation is divided into 2 parts, namely the calculation due to the use of HSD fuel and the calculation due to the use of B30 fuel on the main motor power. After that, compare the main motor power produced by HSD and B30. From the calculation results, it was found that there was a change in the power of the main motor due to the difference in the values of carbon (86%) hydrogen (13.5%) and oxygen (1.0%) for diesel fuel (HSD), and for biodiesel fuel (B30), the carbon value was 83.5%, hydrogen (13.5%), and 3% oxygen. The results obtained from this study show that the effective power generated by diesel fuel (HSD) is 610.00 hp, while the B30 is 629,596 hp. So it can be concluded that the motor power generated when the ship uses B30 fuel is greater when compared to the use of HSD fuel. However, there are drawbacks to the use of B30 fuel, namely the use of more wasteful fuel when compared to HSD fuel.

Keywords : Biodiesel 30, *High Speed Diesel*

1. PENDAHULUAN

Kapal Tug Boat Manunggal 01 pada awalnya menggunakan bahan bakar High Speed Diesel (HSD) setelah itu diganti dengan biodiesel B30 mengikuti kebijakan pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah RI No. 79 Tahun 2014 Pasal 12 ayat 1 butir c, dimana pemanfaatan sumber daya energi terbarukan dari jenis bahan bakar nabati diarahkan untuk menggantikan jenis bahan bakar minyak untuk sektor transportasi dan industri. Kebijakan pemerintah ini memiliki salah satu tujuan yaitu untuk mengurangi ketergantungan Indonesia pada penggunaan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil bukanlah sumber energi yang berkelanjutan, sehingga ketersediaannya terbatas. Perubahan konsumsi bahan bakar dari bahan bakar HSD ke B30 membuat pihak kapal kembali berpikir tentang pengaruh B30 terhadap kinerja motor induk, apakah B30 lebih baik dari HSD jika dilihat dari sisi kinerja motor.

Tuntutan inilah yang mendorong para peneliti dan industri untuk melakukan penelitian mengkaji pengaruh penggunaan biodiesel terhadap karakteristik pembakaran dan performance mesin diesel. Azad dkk [1] melakukan penelitian yang menawarkan perincian komprehensif tentang penggunaan bio-fuel sebagai sumber energi yang layak dan alternatif. Bahan bakar nabati dibuat dari minyak nabati, yaitu minyak mustard dan diuji dalam mesin diesel dalam bentuk murni maupun campuran. Komposisi campuran minyak mustard adalah 20%, 30%, 40% dan 50% dan disebut sebagai campuran bio-diesel B20, B30, B40 dan B50. Selama percobaan, B20 dan B30 memberikan kinerja yang lebih baik daripada campuran biodiesel lainnya. Penelitian tentang pengaruh penggunaan B30 terhadap kinerja mesin diesel juga dilakukan oleh Kumbhar dkk, melakukan eksperimen dengan menggunakan dual biodiesel campuran dan membandingkannya dengan karakteristik bahan bakar solar. Campuran biodiesel B10% (kombinasi volume solar 90%, volume biodiesel 10%) dan B20% (kombinasi volume solar 80%, volume biodiesel 20%) memberikan efisiensi termal yang lebih baik dan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah. Dari hasil percobaan yang diperoleh, campuran oli Thumba ditemukan sebagai bahan bakar alternatif yang menjanjikan untuk mesin pengapian kompresi. Pada CR 18 BTE dan BSFC dari Thumba B10, B20 dan BP dari Thumba B40 menunjukkan kinerja yang lebih baik. CO, HC, CO₂ dari B100 dari biodiesel Thumba menunjukkan persentase emisi yang lebih kecil/ppm, untuk emisi NO_x B10 dan B20 dari Thumba, biodiesel menunjukkan emisi yang lebih sedikit.

Muhamad Martin, dkk dalam penelitiannya menyatakan bahwa daya rata-rata penggunaan bahan

bakar biodiesel B-20 lebih rendah 5,976 % dari bahan bakar solar. Adapun penelitian lain yang membandingkan penggunaan B30 dan dexlite bahwa kinerja mesin disel lebih baik pada penggunaan bahan bakar dexlite jika dibandingkan menggunakan bahan bakar B30 (Muhamad Syahrir dkk). Khusus menyangkut konsumsi bahan bakar spesifik, penelitian yang dilakukan oleh Yanhui Zhang dkk memberikan kesimpulan pada penelitian mereka bahwa konsumsi bahan bakar spesifik meningkat dengan meningkatnya rasio biodiesel campuran sehingga biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel.

Penggunaan bahan bakar mesin diesel seperti biodiesel pada mesin - mesin diesel di kapal harus mengikuti aturan - aturan terstandar, seperti kandungan sulfur yang diperbolehkan harus turun di bawah 0,5 % mulai 1 Januari 2020 untuk armada global. Salah satu solusi yang digunakan melalui penelitian yang dilakukan oleh Viet Dung Tran dkk, adalah menggunakan teknik pencampuran ultra-low sulfur diesel (ULSD) dan B10, B20, B30, and B50 dengan metil ester minyak kelapa dengan volume 10 %, 20%, 30% dan 50% ULSD. Hasilnya menunjukkan bahwa tenaga/daya, torsi, dan suhu gas buang berkurang sekitar 9%, 2%, dan 4%. Biodiesel berkembang pesat di seluruh dunia, sehingga sangat penting untuk memahami sepenuhnya dampak biodiesel pada proses pembakaran mesin diesel dan pembentukan polutan[2].

Berdasarkan pengalihan penggunaan bahan bakar HSD ke B30 pada kapal TB Manunggal 01 dan penelitian- penelitian terdahulu yang meneliti tentang perbandingan Solar dan B30, B20 dan Solar, B30 dan dexlite serta biodiesel laterhadap kinerja mesin diesel, maka penulis melakukan peninjauan untuk mengetahui perbandingan penggunaan bahan bakar jenis HSD dan bahan bakar B30 terhadap daya motor induk, yang dihasilkan akibat penggunaan kedua jenis bahan bakar tersebut.

2. TEORI DAN METODE

2.1. Bahan Bakar Solar/High Speed Diesel (HSD)

Minyak solar biasa dikenal dengan nama Gasoil atau *High Speed Diesel (HSD)* merupakan bahan bakar minyak (BBM) yang memiliki angka cetana 45. Minyak solar merupakan bahan bakar jenis distilat yang digunakan untuk motor diesel "*compression ignition*" yaitu mesin yang menggunakan sistem kompresi yang menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga dapat membakar minyak solar yang disemprotkan oleh injektor di ruang bakar. Penggunaan minyak solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada jenis minyak diesel putaran tinggi (di atas 1000 rpm) [1]. Senyawa hidrokarbon adalah sebuah senyawa yang terdiri dari unsur karbon (C) dan hidrogen (H). Seluruh hidrokarbon memiliki rantai karbon atom-

atom hidrogen yang berikatan dengan rantai tersebut. Berdasarkan bentuk rantai karbon dan jenis ikatannya, minyak solar tergolong hidrokarbon alifatik yang memiliki rantai terbuka dengan ikatan tunggal (jenuh) ataupun ikatan rangkap (tak jenuh). Minyak solar diproduksi dari minyak bumi melalui proses distilasi menghasilkan minyak dengan warna sedikit kekuningan dan tidak mudah menguap pada temperatur ruang.

Biodiesel didefinisikan sebagai bahan bakar terdiri dari mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewan. Semacam ini bahan bakar dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel. Campuran - campuran biodiesel biasa disebut dengan nama yang berbeda seperti B20 (20% biodiesel dan 80% minyak bumi), B30 (30% biodiesel dan 70% minyak bumi). Untuk B100, hanya motor diesel tertentu yang dapat menggunakan jenis bahan bakar ini. Persentase kimia pada bahan bakar HSD dan B30 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persentasi Kimia Pada Masing-Masing Bahan Bakar

	HSD	BIODISEL (B30)
CARBON	86%,	CARBON 83,5%
HIDROGEN	13%,	HIDROGEN 13,5%
OKSIGEN	1%.	OKSIGEN 3%

(Sumber :Aatola, H., Larmi, M., Sarjoavaara, T 2008)

Biodiesel dianggap sebagai bahan bakar *biodegradable* dan tidak beracun, sehingga aman digunakan bagi lingkungan. (Kumbhar dan Dange, 2014).

2.2. Spesifikasi Biodisel B30

Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak solar dengan campuran biodiesel 30% (B30) ditetapkan dalam SK Dirjen Migas No.146.K/10/DJM/2020 tanggal 30 Desember 2020 tentang standar dan mutu (Spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar campuran biodiesel 30% (B-30) yang dipasarkan di Dalam Negeri, seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Spesifikasi Biodisel B30

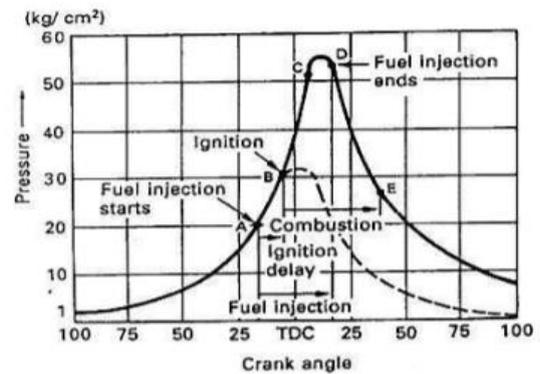
Karakteristik	Unit	Batasan		Metode Uji ASTM
		Min	Max	
Angka Setana		48		D-613
Indeks Setana		45		D4737
Berat Jenis pada 15°C	Kg/m³	815	870	D-1298/ D-4052
Viskositas pada 40°C	Mm²	2	4.5	D-445
Kandungan Sulfur	% m/m		0.35	D-1552
Distilasi 90%	°C		370	D86
Titik Nyala	°C	52		D-93
Titik Tuang	°C		18	D-97
Karbon Residu	Merit		0.01	D-4530
Kandungan Air	Mg/Kg		400	D-1744

Korosi bilah tembaga		Kelas I	D-130
Kandungan Abu	% m/m	0.01	D-482
Kandungan Sendimen	% m/m	0.01	D-473
Bilangan Asam Kuat	Mg KOH/gr	0	D-664
Bilangan Asam Total	Mg KOH/gr	0.6	D-664
Partikulat	Mg/l		D-2276
Penampilan Visual		Jernih dan terang	
Warna	No.ASTM	3	D-1500

Sumber: Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi

2.2. Proses Pembakaran Pada Motor Diesel

Pada motor pembakaran dalam, pembakaran terjadi di dalam ruang bakar yang terletak di dalam silinder dengan tujuan menghasilkan energi mekanik dari energi kimia yang terkandung didalam bahan bakar. Dimana bahan bakar dinyalakan oleh tekanan udara di dalam silinder, (Houghton,2010). Proses pembakaran akan ditunjukkan melalui gambar berikut :



Gambar 2.24 Diagram Proses Pembakaran Pada Motor Diesel (Sumber: Koichi Tsuda)

2.3 Termodinamika Perhitungan

Dengan menggunakan Termodinamika Motor, maka dapat dilihat pengaruh perubahan bahan bakar terhadap daya motor diesel. Langkah-langkah perhitungan termodinamika motor meliputi :

a. Langkah Awal Pengisian

Parameter proses pengisian meliputi perhitungan tekanan udara pada awal kompresi (P_a), temperatur udara pada awal kompresi (T_a), dan efisiensi pengisian (η_{ch}).

Parameter proses Efisiensi pengisian (η_{ch})[3]–[7]

$$\eta_{ch} = \frac{\epsilon \times P_a \times T_0}{(\epsilon - 1) P_0 (T_a + \Delta t_w + \gamma_r \cdot T_r)} \tag{1}$$

Dimana,

ε = Perbandingan kompresi

P₀ = Tekanan udara luar, kg/cm²

P_a = Tekanan awal kompresi, kg/cm²

γ_r = Koefisien gas residu (0.03÷0.04)

T₀ = Temperatur udar luar, °K

T_r = Temperatur sisa gas pembakaran

sebelum bercampur dengan udara yang masuk ke dalam silinder untuk mesin diesel, (700-800 °K).

b. Parameter Proses Kompresi

Parameter proses kompresi dihitung berdasarkan persamaan :

Pangkat politropis (n_1) [5], [7]

$$A + B \times T_a \times (\epsilon^{n_1-1} + 1) = \frac{1,985}{n_1 - 1} \quad (2)$$

Dimana,

A dan B = Koefisien-koefisien yang diperoleh dari eksperimen

n_1 = Eksponen politropik kompresi untuk mesin dengan turbocharger, (1.34 ÷ 1.39)[6]

ϵ = Perhitungan kompresi

Setelah memperoleh nilai pangkat poli tropic maka dapat dipetoleh tekanan akhir langkah kompresi(P_c) dan temperature akhir kompresi (T_c).

c. Parameter Proses Pembakaran

Parameter pembakaran merupakan variable penting dalam penelitian ini karena memiliki karakteristik Kimia yang berbeda antara HSD dan B-30. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam perhitungan proses pembakarana adalah sebagai berikut:

Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair (L'_0).

$$L'_0 = \frac{1}{0.21} \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{o}{32} \right), \text{ mol} \quad (3)$$

Dimana,

Banyaknya udara teoritis dalam satuan berat (L_0)

$$L_0 = 28,95 \times L'_0, \text{ mol} \quad (4)$$

L'_0 = Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair

$m_{air} = 28,95 \text{ kg/mol}$

L' = Jumlah udara sebenarnya yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair

$$L' = \alpha \times L'_0, \text{ mol} \quad (5)$$

Dimana,

α = Koefisien udara lebih (1.3-1,7)[8]

L'_0 = Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair

Jumlah molekul hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar ($M_{CO_2}, M_{H_2O}, M_{N_2}, M_{O_2}$)

$$\text{Unsur } CO_2 \ M_{CO_2} = \frac{c}{12}, \text{ mol}$$

$$\text{Unsur } H_2O \ M_{H_2O} = \frac{h}{2}, \text{ mol}$$

$$\text{Unsur } N_2 \ M_{N_2} = 0.79 \times \alpha \times L'_0, \text{ mol}$$

$$\text{Unsur } O_2 \ M_{O_2} = 0.21(L' - L'_0), \text{ mol}$$

Dimana,

C = Unsur karbon dioksida

H = Unsur hidrogen

α = Koefisien udara lebih

L'_0 = Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair

L' = Jumlah udara sebenarnya yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair

Total produk pembakaran (M_g)

$$M_g = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} + M_{O_2}, \text{ mol} \quad (6)$$

Dimana,

M_{CO_2} = Unsur CO_2 hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_{H_2O} = Unsur H_2O hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_{N_2} = Unsur N_2 hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_{O_2} = Unsur O_2 hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

Koefisien molar (μ_0)[3]

$$\mu_0 = \frac{M_g}{L'} \quad (7)$$

Dimana,

M_g = Total produk pembakaran

L' = Jumlah udara sebenarnya yang diperlukan untuk pembakaran

Koefisien perubahan molar (μ)

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (8)$$

Dimana,

μ_0 = Koefisien molar bahan baka

γ_r = Koefisien gas residu (0.03 ÷ 0.04)

Muatan relative unsur-unsur gas hasil pembakaran ($V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{N_2}, V_{O_2}$)[8]

$$V_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_g}$$

$$V_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_g}$$

$$V_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M_g}$$

$$V_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{M_g}$$

Dimana,

M_{CO_2} = Unsur CO_2 hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_{H_2O} = Unsur H_2O hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_{N_2} = Unsur N_2 hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_{O_2} = Unsur O_2 hasil pembakaran dari 1 kg bahan bakar

M_g = Total produk pembakaran

Jumlah panas molar isokorik produk pembakaran dari 0 sampai T_z ($(mc_v)_g$)

$$(mc_v)_g = A_g + B_g \cdot T_z, \text{ mol } ^\circ K \quad (10)$$

Dimana,

A_g = Koefisien untuk menemukan panas yang spesifik dari campuran gas untuk produk pembakaran $= (V_{CO_2} \cdot A_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot A_{H_2O} + V_{N_2} \cdot A_{N_2} + V_{O_2} \cdot A_{O_2})$

B_g = Koefisien untuk menemukan panas yang spesifik dari campuran gas untuk produk pembakaran $= (V_{CO_2} \cdot B_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot B_{H_2O} + V_{N_2} \cdot B_{N_2} + V_{O_2} \cdot B_{O_2})$

T_z = Temperatur udara akhir pembakaran

Rata-rata kapasitas panas isokorik udara pada akhir kompresi $((mc_v)_a$

$$(mc_v)_a = A_a + B_a T_c, \text{ } ^\circ K \quad (11)$$

Dimana,

A_a = Koefisien untuk menemukan panas yang spesifik dari campuran gas untuk produk pembakaran (4,62)

B_a = Koefisien untuk menemukan panas yang spesifik dari campuran gas untuk produk pembakaran (0,000053)

T_c = Temperatur udara pada akhir kompresi

Tekanan udara pada akhir pembakaran (P_z)

$$P_z = P_c \times \mu \times \frac{T_z}{T_c}, \text{ kg/cm}^2 \quad (12)$$

Dimana,

P_c = Tekanan udara pada akhir kompresi, kg/cm^2

T_c = Temperatur udara pada akhir kompresi, $^\circ K$

T_z = Temperatur udara akhir pembakaran, $^\circ K$

μ = Koefisien perubahan molar

d. Parameter Proses Ekspansi

Parameter proses ekspansi dihitung setelah Derajat ekspansi pendahuluan (ρ), Derajat ekspansi lanjutan (δ), Pangkat politropis (n_2), sehingga dapat menghitung

Tekanan udara pada akhir ekspansi (P_b)

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}, \text{ kg/cm}^2 \quad (13)$$

Dimana,

P_z = Tekanan udara pada akhir pembakaran

δ = Derajat ekspansi lanjutan

n_2 = Eksponen politropik kompresi untuk mesindengan turbocharger, (1.15 – 1.30)

Temperatur udara pada akhir ekspansi (T_b)

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}, \text{ } ^\circ K \quad (14)$$

Dimana,

δ = Derajat ekspansi lanjutan

n_2 = Eksponen politropik kompresi untuk mesin dengan turbocharger, (1.15 – 1.30)[5]

T_z = Temperatur udara akhir pembakaran

e. Parameter Pemakaian Bahan Bakar

Parameter pemakaian bahan bakar meliputi pemakaian bahan bakar spesifik indikator (F_i), pemakaian bahan bakar spesifik efektif (F) dan pemakaian bahan bakar perjam (F_h). Perhitungan pemakaian bahan bakar dihitung berdasarkan

persamaan :

Pemakaian bahan bakar spesifik indikator (F_i)[5]

$$F_i = 318,4 \frac{(\eta_{ch} \times P_0)}{(P_i \times \alpha \times L'_0 \times T_0)}, \text{ kg/hp.hr} \quad (15)$$

Dimana,

η_{ch} = Efisiensi pengisian

P_0 = Tekanan udara luar

P_i = Tekanan indikator sebenarnya

α = Koefisien udara lebih

T_0 = Temperatur udara luar

L'_0 = Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran

Pemakaian bahan bakar spesifik efektif (F)[5]

$$F = 318,4 \frac{(\eta_{ch} \times P_0)}{(P_e \times \alpha \times L'_0 \times T_0)}, \text{ kg/hp.hr} \quad (16)$$

Dimana,

η_{ch} = Efisiensi pengisian

P_0 = Tekanan udara luar

P_e = Tekanan indikator efektif

α = Koefisien udara lebih

T_0 = Temperatur udara luar

L'_0 = Jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran

Pemakaian bahan bakar perjam (F_h)[5]

$$F_h = \frac{(V_s \times \eta_{ch} \times 60 \times n \times i)}{(z \times \alpha \times L''_0)}, \text{ kg/hr} \quad (17)$$

Dimana,

η_{ch} = Efisiensi pengisian

V_s = Volume langkah torak

n = Putaran motor

i = Jumlah silinder

z = Ratio putaran poros engkol per siklus

α = Koefisien udara lebih

L''_0 = Jumlah udara berdasarkan pada tekanan udara luar dan temperatur udara luar

f. Parameter Efisiensi Motor

Perhitungan efisiensi motor dihitung

berdasarkan persamaan :

Efisiensi mekanism (η_m)

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (18)$$

Dimana,

P_e = Tekanan indikator efektif

P_i = Tekanan indikator sebenarnya

Efisiensi thermal indikator (η_{ti})

$$\eta_{ti} = \frac{632}{F_i \times Q_1} \quad (19)$$

Dimana,

F_i = Pemakaian bahan bakar spesifik indikator

Q_1 = Kapasitas kalor bahan bakar

Efisiensi thermal efektif (η_{te})

$$\eta_{te} = \frac{632}{F \times Q_1} \quad (20)$$

Dimana,

F = Pemakaian bahan bakar spesifik efektif

Q_1 = Kapasitas kalor bahan bakar

g. Parameter Daya Motor

Perhitungan daya motor dihitung berdasarkan persamaan :

Perhitungan daya indikator motor (N_i)[9]

$$N_i = \frac{(P_i \times V_s \times n \times i)}{(0.45 \times z)} \tag{21}$$

Dimana,

P_i = Tekanan indikator sebenarnya

V_s = Volume langkah torak

n = Putaran motor

i = Jumlah silinder

z = Ratio putaran poros engkol per siklus

Perhitungan daya efektif motor (N_e)[3]–[8], [10]

$$N_e = N_i \times \eta_m, \text{ KW} \tag{22}$$

Dimana,

N_i = Perhitungan daya indikator motor

η_m = Efisiensi mekanis

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini menggunakan motor Mitsubishi S6R2-MPTK dengan data motor seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Motor

Parameter	Value	Satuan
Jumlah silinder (i)	6	buah
Putaran motor (n)	1500	rpm
Perbandingan kompresi (ε)	14	
Temperatur udara luar (T_0)	27	°C
Koefisien gas resudi (γ_r)	0.03	
Tekanan udara super charger (P_{sup})	1,60761	Kg/cm ²
Diameter silinder (D)	170	mm
Panjang langkah torak (S)	220	mm
Tekanan udara luar (P_0)	1	kg/cm ²

3.1. Termodinamika Motor

a. Langkah Pengisian

Perhitungan termodinamika motor induk S6R2-MPTK menggunakan bahan bakar solar (HSD) dan biodisel (B30) ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Akhir Langkah Pengisian

Parameter	Satuan	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B30)
P_a	Kg/cm	1,44685	1,446849
T_a	°K	326,214	326,214
η_{ch}	%	88	88

b. Langkah Kompresi

Perhitungan termodinamika motor induk S6R2-MPTK menggunakan bahan bakar solar (HSD) dan biodisel (B30) ditunjukkan pada Tabel berikut ini

Tabel 4. 3 Langkah Kompresi

Parameter	Satuan	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B30)
n_1		1,3773	1,3773
T_c	°K	882,982	882,982
P_c	Kg/cm ²	54,828	54,828

c. Langkah Pembakaran

Perubahan persentasi kimia C, H dan O mempengaruhi proses pembakaran. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.4, perhitungan termodinamika motor induk S6R2-MPTK menggunakan bahan bakar solar (HSD) dan biodisel (B30) sebagai berikut :

Tabel 4.4 Langkah Pembakaran

Parameter	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B30)
L'_0	0,495	0,475
L_0	14,317	13,758
L'	0,620	
Unsur CO ₂ M _{CO2}	0,072	0,070
Unsur H ₂ O M _{H2O}	0,065	0,063
Unsur N ₂ M _{N2}	0,510	0,490
Unsur O ₂ M _{O2}	0,032	0,030
Total produk pembakaran	0,678	0,652
μ_0	1,051	1,052
μ	1,049	1,051
V_{CO2}	0,105	0,10665
V_{H2O}	0,095	0,09580
V_{N2}	0,751	0,75091
V_{O2}	0,046	0,04664
(mc_v) _g	6,503	6,537
Kapasitas panas molar isobarik rata-rata produk pembakaran	8,488	8,522
(mc_v) _a	6,503	6,537
A_g	5,070	5,07
B_g	0,00066	0,00066
P_z	140,86	143,986
T_z	2161,8	2207,30

d. Langkah Ekspansi

Faktor Kinerja langkah ekspansi akibat perubahan persentasi kimia di dalam bahan bakar B30 mempengaruhi tekanan dan temperatur bahan bakar. Perhitungan termodinamika motor induk S6R2-MPTK pada langkah ekspansi ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4. 5 Langkah Ekspansi

Parameter	Satuan	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B 30)
ρ	Kg/cm ²	1,830	1,871
δ	Kg/cm ²	7,649	7,483
n_2		1,27086	1,2708

P_b	Kg/cm ²	10,6140	11,156
T_b	°K	1245,90	1279,7
P_{it}	Kg/cm ²	14,816	15,292
P_i	Kg/cm ²	14,371	14,833
P_e	Kg/cm ²	12,216	12,608

e. Parameter Volume

Parameter volume yang diperoleh berdasarkan perhitungan termodinamika dapat ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Parameter Volume

Parameter	Satuan	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B 30)
V_s	Kg/m ³	0,00499	0,00499
V_c	Kg/m ³	0,00038	0,00038
V_a	Kg/m ³	0,00537	0,00537
V_z	Kg/m ³	0,00070	0,00071

f. Parameter Pemakaian Bahan bakar

Parameter pemakaian bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin untuk menghasilkan 1 HP selama 1 jam. ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Parameter Pemakaian Bahan Bakar

Parameter	Satuan	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B30)
F_i	Kg/HP hr	0,09903	0,09984
F	Kg/HP hr	0,11650	0,11746
F_h	Kg/jam	71,135	74,020

g. Parameter Efisiensi

Perhitungan efisiensi motor meliputi efisiensi mekanisme (η_m), efisiensi thermal indikator (η_{ti}) dan efisiensi thermal efektif (η_{te}). Hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Parameter Efisiensi

Parameter	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B 30)
η_m	85	85
η_{ti}	64,2	62,7
η_{te}	53,7	53,3

h. Parameter Daya

Perhitungan daya motor meliputi perhitungan daya indikator (N_i) dan perhitungan daya efektif (N_e) dengan hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada

Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Parameter Daya

Parameter	Satuan	S6R2 MPTK (HSD)	S6R2 MPTK (B30)
N_i	HP	717,65	740,7
N_e	HP	610	629,596

3.2. Pembahasan Hasil Perhitungan Termodinamika Engine S6R2-MPTK Menggunakan Bahan Bakar HSD dan B30

Persentasi kimia dari masing-masing bahan bakar dengan nilai Carbon 86%, Hidrogen 13,5%, Oksigen 1.0% untuk bahan bakar solar (HSD) dan untuk bahan bakar biodisel (B30) nilai Carbon sebesar 83,5%, Hidrogen 13,5%, dan Oksigen 3% sangat mempengaruhi perubahan pada daya motor, dimana perubahan yang terjadi berawal pada langkah pembakaran saat bahan bakar dikabutkan ke dalam ruang bakar. Hal ini mengakibatkan perubahan jumlah udara teoritis yang diperlukan untuk pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar cair dan lain-lain. Perubahan pada langkah pembakaran menyebabkan terjadi perubahan yang sangat besar pada langkah-langkah selanjutnya. Hal ini yang mempengaruhi daya motor. Dari hasil perhitungan, nilai daya indikator dan daya efektif mengalami peningkatan untuk bahan bakar B30, tetapi jika dilihat pada pemakaian bahan bakar, B30 lebih boros dibandingkan dengan bahan bakar HSD.

Berdasarkan hasil perhitungan Termodinamika motor maka dibuatkan tabel perhitungan untuk membuat diagram indikator seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Diagram Indikator HSD

ϵ	Volume	Pengisian HSD	Kompresi HSD	Pembakaran HSD	Ekspansi HSD
1	5377.68	1.45	1.45	5.80	5.80
1.83	2938.62	1.45	3.33	12.50	5.80
2	2688.84	1.45	3.76	13.99	5.80
3	1792.56	1.45	6.57	23.43	5.80
4	1344.42	1.45	9.76	33.77	5.80
5	1075.54	1.45	13.28	44.84	5.80
6	896.28	1.45	17.07	56.53	5.80
7	768.24	1.45	21.11	68.76	5.80
7.64	703.89	1.45	23.81	76.85	5.80
8	672.21	1.45	25.37	76.85	5.80
9	597.52	1.45	29.83	76.85	5.80
10	537.77	1.45	34.49	76.85	5.80
11	488.88	1.45	39.33	76.85	5.80
12	448.14	1.45	44.34	76.85	5.80
13	413.67	1.45	49.51	76.85	5.80
14	384.12	1.45	54.83	76.85	5.80

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Diagram Indikator B30

Berdasarkan hasil Perhitungan pada tabel 4.10 dan 4.11 maka P-V Diagram Indikator dapat dilihat pada diagram berikut ini :

ϵ	Volume	Pengisian B30	Kompresi B30	Pembakaran B30	Ekspansi B30
1	5377.68	1.45	1.45	11.16	11.16
1.871	2874.20	1.45	3.43	24.73	11.16
2	2688.84	1.45	3.76	26.92	11.16
3	1792.56	1.45	6.57	45.07	11.16
4	1344.42	1.45	9.76	64.96	11.16
5	1075.54	1.45	13.28	86.26	11.16
6	896.28	1.45	17.07	108.75	11.16
7	768.24	1.45	21.11	132.29	11.16
7.483	718.70	1.45	23.13	143.99	11.16
8	672.21	1.45	25.37	143.99	11.16
9	597.52	1.45	29.83	143.99	11.16
10	537.77	1.45	34.49	143.99	11.16
11	488.88	1.45	39.33	143.99	11.16
12	448.14	1.45	44.34	143.99	11.16
13	413.67	1.45	49.51	143.99	11.16
14	384.12	1.45	54.83	143.99	11.16

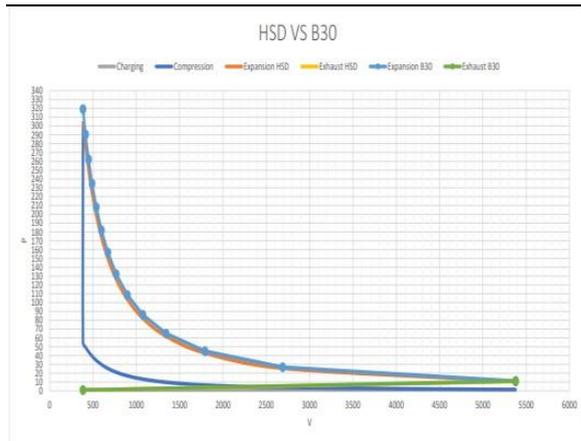


Diagram 4.1 Diagram Indikator HSD dan B30

Berdasarkan diagram 4-1, terlihat bahwa:

1. Peningkatan tekanan pembakaran B30 meningkat sebesar 1,87% dari tekanan pembakaran HSD.
2. Peningkatan daya efektif 1,032% dimana daya efektif B30 629,6 HP dan daya efektif HSD 610 HP.
3. Efek yang ditimbulkan adalah pemakaian bahan bakar per jam dari 71.135 (HSD) menjadi 74,02 (B30).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan termodinamika motor maka dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan bahan bakar B30 sebesar 629,59 HP dan HSD sebesar 610 HP. Perubahan terjadi akibat perbedaan nilai Carbon 86%, Hidrogen 13,5%, Oksigen 1.0% untuk bahan bakar solar (HSD) dan untuk bahan bakar biodiesel B30 nilai Carbon

sebesar 83,5%, Hidrogen 13,5%, dan Oksigen 3%, maka perubahan terjadi pada akhir langkah kompresi dan mempengaruhi jumlah udara teoritis, koefisien perubahan molar dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. Azad, S. M. Ameer Uddin, and M. M. Alam, "A Comprehensive Study of DI Diesel Engine Performance With Vegetable Oil: An Alternative Boi-fuel Source of Energy," *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 5, pp. 576–586, Jun. 2012, doi: 10.15282/ijame.5.2012.4.0045.
- [2] W. Saputro, J. Sentanuhady, A. I. Majid, W. Prasadha, N. P. Gunawan, and T. Y. Raditya, "Karakteristik Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar B100 dan B20 Dalam Jangka Panjang," *J. Mech. Des. Test.*, vol. 2, no. 2, p. 125, Dec. 2020, doi: 10.22146/jmdt.55523.
- [3] П. А. С. Возницкий И.В., *удовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2*. [Online]. Available: <https://www.twirpx.com/file/395197/>
- [4] В. А. Бармин, А. В. Предко, and К. И. Расчет, *Конструирование и расчет двигателей*. 2018.
- [5] доцент кафедры С. К. Горбенко А.Н., к.т.н., "Расчет судового двигателя внутреннего сгорания: Методические указания к курсовому проектированию," 2009. doi: УДК 629.431.
- [6] С. Е. . Ржепецкий К.Л., *Судовые двигатели внутреннего сгорания*. Учебник. — Л.: Судостроени, 1984. [Online]. Available: <https://www.twirpx.com/file/957460/>
- [7] Ваншейдт В.А., *Судовые двигатели внутреннего сгорания*. 1977.
- [8] 1994.-80с Л.В.Станиславский, А.Н.Горбенко.-Керчь: КМТИ, *Расчет судового двигателя внутреннего сгорания: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию/Сост.* 1994.
- [9] доцент кафедры С. К. Горбенко А.Н., к.т.н., "МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВС." p. 80, 2009.
- [10] К. А. Авдеев, М. В. Малиованов, and Р. Н. Хмелев, "ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ Динамика двигателей внутреннего сгорания Учебное пособие," 2010.