

**ANALISIS PEMAKAIAN BAHAN BAKAR
HIGH SPEED DIESEL DAN BIODIESEL (B30) TERHADAP
KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN EMISI GAS BUANG
MESIN DIESEL PLTD 1.4 MW**

Buchari Ali¹⁾, Prasetyo Adi Nugroho²⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional

Email: buchariali@yahoo.com¹⁾, adinugroho.pras@gmail.com²⁾,

Abstract

Diesel power plant is a power plant that use fuel oil diesel (HSD) to generate electricity. The increasing consumption of HSD resulted on the depletion of petroleum reserves from year to year. Therefore, the government requires diesel power plant to use biofuels (biodiesel) type Fatty Acid Methyl Ester (FAME) by 30% (B30) as a mixture of HSD. The use of biodiesel as a blend HSD gives some impact on diesel engines such as changes in the value of the specific fuel consumption (SFC) as differences in the characteristics of the fuel, exhaust emissions, and operating parameters. Therefore, a research is needed to find out the major changes on diesel power plant engine by comparing the test results when using HSD and B30 with apple to apple method. HSD calorific value is higher than the calorific value of B30, it is causing the SFC increased when using B30 with an increase of the remaining 3.11% at 50% load, 3.12% at 75% load, and 2.74% at 100% load. There is a change in exhaust emissions when using B30, higher than when using HSD. However, it is still within the limits of emission quality standards. No significant changes on operating parameters either when using HSD or B30.

Keywords : diesel power plant, HSD, biodiesel B30, specific fuel consumption, exhaust emissions

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak jenis minyak solar (HSD) dalam negeri dengan laju rata – rata pemakaian mencapai 5% per tahun dan produksi hanya 75% dari total kebutuhan, menyebabkan cadangan bahan bakar minyak HSD semakin menipis dari tahun ke tahun. Salah satu upaya pemerintah dalam mengurangi konsumsi bahan bakar minyak HSD adalah dengan mencari sumber energi baru atau menggunakan bahan bakar yang terbarukan. Biodiesel merupakan salah satu energi baru dan terbarukan jenis Bahan Bakar Nabati (BBN) yang dapat menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis HSD.

Biodiesel produksi dalam negeri digunakan sebagai bahan bakar untuk sektor transportasi, industri, dan pembangkit listrik. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik telah diatur oleh pemerintah dalam Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 32

tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, Dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (BIOFUEL) Sebagai Bahan Bakar Lain.

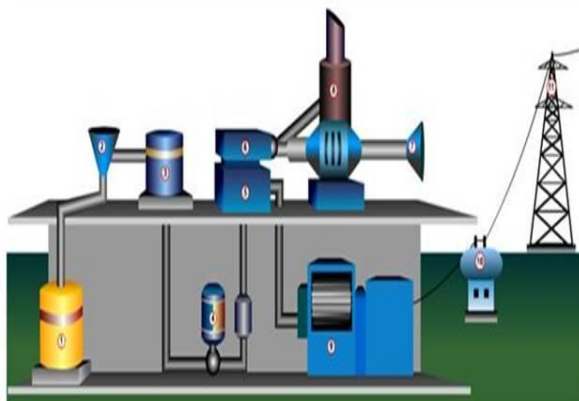
Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar untuk membangkitkan energi listrik adalah Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Pasokan bahan bakar untuk operasi mesin diesel yang semula menggunakan HSD, sejak Januari 2016 wajib memanfaatkan biodiesel sebagai campuran bahan bakar minyak minimal sebesar 30% terhadap kebutuhan total. Biodiesel yang digunakan untuk campuran bahan bakar PLTD adalah biodiesel jenis Fatty Acid Methyl Ester (FAME). Penggunaan biodiesel FAME sebagai campuran HSD menimbulkan dampak pada mesin PLTD seperti perubahan perubahan nilai konsumsi bahan bakar spesifik, perubahan nilai emisi gas buang yang dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik antara bahan bakar HSD dan bahan bakar campuran biodiesel 30% (B30). Oleh karena itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pemakaian bahan bakar campuran biodiesel (B30) jenis FAME untuk

mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap perubahan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada mesin PLTD.

Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pusat Listrik Tenaga Diesel atau PLTD adalah pembangkit listrik yang menggunakan mesin Diesel sebagai penggerak mula (prime mover), biasanya terdiri dari beberapa unit pembangkit, biasa disebut Satuan Pembangkit Diesel (SPD). PLTD biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, misalnya pada daerah terpencil, pedesaan, dan pulau – pulau kecil.

PLTD terdiri dari beberapa peralatan/komponen industri seperti tangki bahan bakar, mesin Diesel, generator, dan transformator. Adapun detail komponen PLTD dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen PLTD

Keterangan :

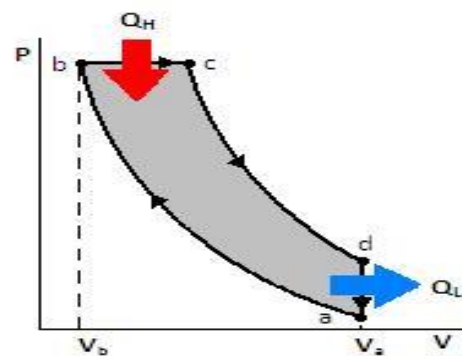
1. Tangki bahan bakar
2. Separator bahan bakar
3. Tangki harian
4. Pompa booster bahan bakar
5. Mesin Diesel
6. Turbo charger
7. Filter udara masuk
8. Silencer gas buang
9. Generator
10. Transformator
11. Jaringan transmisi

Motor Bakar Diesel

Motor bakar Diesel atau dikenal dengan Mesin Diesel adalah mesin yang menghasilkan tenaga mekanis melalui proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin (*internal combustion*) dengan menggunakan panas kompresi untuk menyalakan bahan

bakar sehingga menghasilkan tenaga untuk memutar batang torak/piston. Mesin Diesel tidak memiliki busi atau *spark plug* seperti pada mesin bensin atau mesin gas.

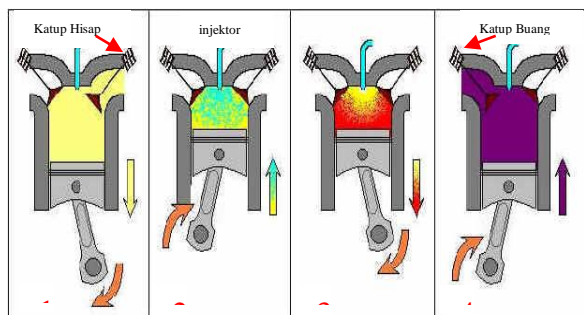
Pada dasarnya siklus termodinamika mesin Diesel sama dengan siklus termodinamika mesin Otto. Perbedaannya hanya pada proses pembakarannya, mesin Diesel hanya menggunakan tekanan adiabatik untuk menaikkan temperatur dan tekanan dari udara hisap, tidak menggunakan busi layaknya mesin Otto untuk penyalaan bahan bakarnya. Siklus termodinamika mesin Diesel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus ideal mesin diesel

Dari Gambar 2 menunjukkan siklus termodinamika ideal dari mesin Diesel. Mula mula udara pembakaran masuk dan ditekan secara adiabatik (a–b) sehingga mencapai tekanan tertentu untuk dapat menyalakan bahan bakar. Selanjutnya injektor menyemprotkan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran (kalor masuk) pada tekanan konstan (b–c), kemudian terjadi ekspansi/usaha secara adiabatik (c–d). Gas sisa pembakaran dibuang dan udara pembakaran yang baru dihisap masuk ke silinder (d–a) yang juga berfungsi sebagai pembilas/mendinginkan sehingga terjadi pelepasan kalor pada volume konstan.

Pada umumnya untuk menghasilkan tenaga mesin Diesel bekerja secara periodic dengan siklus 4 langkah. Langkah pertama adalah langkah hisap, langkah kedua adalah langkah kompresi, langkah ketiga adalah langkah ekspansi atau usaha, langkah keempat adalah langkah buang. Pada gambar berikut dapat dilihat siklus kerja mesin Diesel 4 langkah secara visual.



Gambar 3. Siklus mesin diesel 4 langkah

- **Langkah Hisap.**

Piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), posisi katup hisap terbuka dan katup buang tertutup, mengakibatkan udara pembakaran masuk ke dalam ruang bakar.

- **Langkah Kompresi.**

Piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup hisap dan katup buang tertutup, mengakibatkan udara pembakaran terkompresi di dalam ruang bakar. Beberapa saat sebelum piston sampai pada posisi TMA, injektor bahan bakar menyemprotkan bahan bakar melalui nozzle sehingga bahan bakar teratomisasi dan mudah terbakar.

- **Langkah Ekspansi/Usaha.**

Kedua katup masih tertutup, gas pembakaran akan meningkatkan tekanan dalam ruang bakar dan mengakibatkan piston terdorong dari TMA ke TMB. Langkah inilah yang akan menghasilkan tenaga untuk memutar poros engkol.

- **Langkah Buang.**

Posisi katup hisap tertutup dan katup buang terbuka. Piston bergerak dari TMB ke TMA sehingga mendorong sisa gas pembakaran keluar melalui katup buang yang sedang terbuka untuk diteruskan ke saluran pembuangan (exhaust manifold).

Bahan Bakar

High Speed Diesel (HSD)

High Speed Diesel (HSD) adalah salah satu jenis bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Minyak mentah dipisahkan fraksi – fraksinya pada proses destilasi sehingga dihasilkan fraksi solar dengan titik didih 250°C sampai 300°C. Jenis BBM ini umumnya digunakan untuk mesin

transportasi mesin diesel yang umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*).

Kualitas HSD atau solar dinyatakan dengan bilangan cetane, yaitu bilangan yang menunjukkan kemampuan HSD mengalami pembakaran di dalam mesin serta kemampuan mengontrol detonasi (*knocking*). Semakin tinggi bilangan cetane maka kualitas HSD akan semakin bagus.

Kualitas dan mutu bahan bakar HSD atau solar telah ditetapkan dalam Keputusan Dirjen Migas No. 3675K / 24 / DJM / 2006 tentang standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak solar yang dipasarkan di dalam negeri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar dan mutu minyak solar

No.	Karakteristik	Satuan	Solar 51	Solar 48
1	Berat jenis pada suhu 15°C	kg/m ³	820-860	815 - 870
2	Viskositas kinematik pada suhu 40°C	mm ² /s	2.0 - 4.5	2.0 - 5.0
3	Angka setana /index		≥51/48	≥48/45
4	Titik nyala	°C	≥55	≥60
5	Titik tuang	°C	≤18	≤18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		≤kelas 1	≤kelas 1
7	Residu karbon	%-masa	≤0.30	≤0.10
8	Kandungan air	mg/kg	≤500	≤500
9	T90/95	°C	≤340/360	≤-/370
10	Stabilitas oksidasi	g/m ³	≤25	-
11	Sulfur	% m/m	≤0.05	≤0.35
12	Bilangan asam total	mg-KOH/g	≤0.3	≤0.6
13	Kandungan abu	% m/m	≤0.01	≤0.01
14	Kandungan sedimen	% m/m	≤0.01	≤0.01
15	Kandungan FAME	% m/m	≤10	≤10
16	Kandungan metanol dan etanol	% v/v	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi
17	Partikulat	mg/l	≤10	-

Biodiesel Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

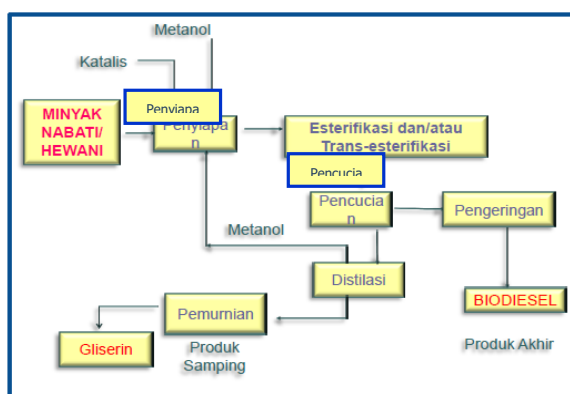
Biodiesel adalah Bahan Bakar Nabati mesin diesel berupa ester metil asam lemak yang terbuat dari minyak nabati/hewani yang memenuhi standar mutu yang disyaratkan.

Biodiesel murni (B100) dan campurannya dengan minyak solar (BXX) dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel. B100 mempunyai sifat-sifat fisika yang mirip dengan bahan bakar diesel sehingga dapat digunakan langsung pada mesin-mesin diesel tanpa adanya modifikasi.

Secara umum karakteristik biodiesel adalah memiliki angka setana yang lebih

tinggi dari minyak solar, dapat terdegradasi dengan mudah (*biodegradable*), tidak mengandung sulfur (atau sangat rendah, jika ada) dan senyawa aromatik sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan lebih ramah lingkungan dari pada bahan bakar minyak jenis minyak solar.

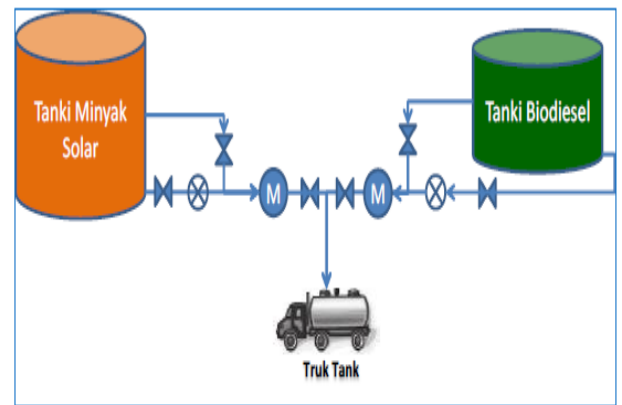
Dalam proses produksi biodiesel melewati beberapa tahap antara lain tahap persiapan, tahap transesterifikasi, tahap pencucian, dan tahap pengeringan. Diagram alur proses produksi biodiesel dapat dilihat pada Gambar 4.



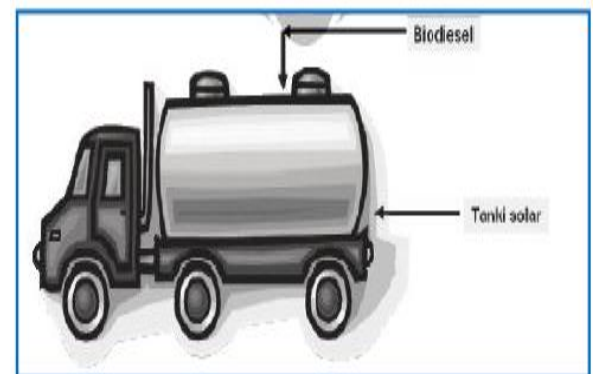
Gambar 4. Tahapan proses produksi biodiesel

Pada tahun 2008 pemerintah Indonesia mengeluarkan kebijakan untuk pemanfaatan biodiesel sebagai campuran bahan bakar minyak (HSD). Pencampuran biodiesel murni dengan bahan bakar minyak HSD biasanya disebut B'XX', semisal B30 adalah campuran bahan bakar jenis minyak HSD dengan biodiesel dengan komposisi biodiesel murni 30% dan komposisi bahan bakar minyak HSD 70% atau dalam kapasitas 1000 liter maka terdiri dari 300 liter biodiesel dan 700 liter HSD. Dalam proses pencampuran perlu memperhatikan beberapa hal antara lain :

- Karakteristik dari biodiesel dan bahan bakar jenis minyak solar, khususnya berat jenis bahan bakar.
- Peralatan dan sistem pengukuran volume bahan bakar untuk pencampuran yang akurat.
- Metode pencampuran, *In Line Blending and Splash In Tank Blending*. Gambar 5 dan 6 dengan memvisualisasikan proses pencampuran biodiesel.



Gambar 5. Metode *in line blending*



Gambar 6. Metode *splash in tank blending*

Pengujian Mesin Diesel

Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC) merupakan ukuran dari efisiensi bahan bakar dari setiap penggerak utama yang membakar bahan bakar dan menghasilkan rotasi, atau poros, daya. Hal ini biasanya digunakan untuk membandingkan efisiensi mesin pembakaran internal (*Internal Combustion Engine*) dengan *output shaft*. *Specific Fuel Consumption* dapat juga diartikan tingkat konsumsi bahan bakar dalam menghasilkan suatu daya. Dengan demikian semakin kecil *SFC* maka dapat dikatakan motor semakin hemat bahan bakar dan menunjukkan bahwa mesin semakin efisien. Dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$SFC = \frac{m}{P} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

m :tingkat konsumsi bahan bakar dalam (gr/s).

P : daya yang dihasilkan dalam (kW).

SFC :konsumsi bahan bakar per daya yang dihasilkan (gr/kW.s)

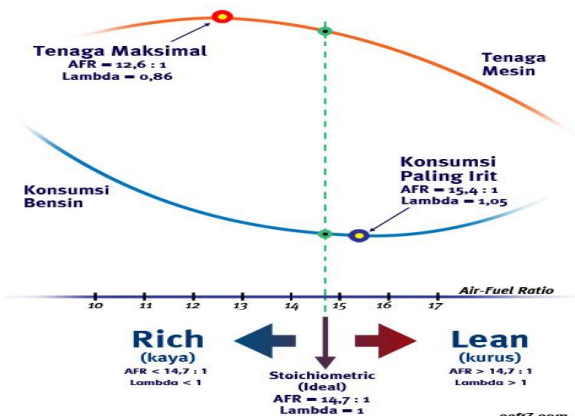
Dari rumus (1) disimpulkan bahwa untuk menentukan SFC harus didapatkan dua parameter yaitu “jumlah pemakaian bahan bakar” dan “daya yang dihasilkan”.

Jumlah pemakaian bahan bakar dapat diketahui dengan mengukur level bahan bakar pada tangki menggunakan *flowmeter*. Mesin yang digunakan untuk pengujian memiliki dua line penyalur bahan bakar. Line pertama untuk menyalurkan bahan bakar dari tangki ke mesin, sementara line kedua untuk menyalurkan bahan bakar dari mesin kembali tangki (*Overflow*). Sehingga untuk mengetahui jumlah pemakaian bahan bakar harus menggunakan dua buah *flowmeter*.

a. Gas Buang

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar dengan udara di dalam mesin . Sisa hasil pembakaran berupa air (H₂O), gas CO, CO₂, NO_x dan HC sebagai akibat ketidak sempurnaan proses pembakaran serta partikel lepas.

Gas buang mesin diesel sangat banyak mengandung partikulat karena banyak dipengaruhi oleh faktor dari bahan bakar yang tidak bersih. Faktor lain yang sangat dominan dalam memberikan sumbangan zat cemar udara adalah faktor campuran udara kompresi dengan bahan bakar yang disemprotkan.



Gambar 7. Hubungan udara pembakaran dan bahan bakar

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara campuran bahan bakar dan udara, pencampuran yang tidak sebanding (terlalu banyak bahan) akan menghasilkan gas buangan yang mengandung partikulat

berlebihan. Biasanya solar tidak berwarna atau bening akan tetapi solar atau bahan bakar diesel di Indonesia kebanyakan berwarna agak gelap. Hal ini menandakan adanya kotoran dalam bahan bakar. Sehingga pada saat terjadi pembakaran kotoran tersebut akan terurai dari susunan partikel yang lain dan tidak terbakar. Semakin banyak residu dalam bahan bakar akan dihasilkan gas buang dengan kepulan asap hitam 8%. Gas buang diesel merupakan kumpulan dari bermacam-macam gas beracun diantaranya: CO, HC, CO₂, NO_x, akan memberikan pencemaran udara. Gas-gas beracun tersebut bisa dikurangi dengan cara membuat proses pembakaran di dalam mesin menjadi lebih sempurna dengan cara meningkatkan kemampuan kompresi dan injeksi bahan bakar yang tepat waktu dan jumlah dengan bahan bakar yang lebih baik kualitasnya.

Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat, ada 5 unsur dalam gas buang kendaraan yang akan diukur yaitu senyawa HC, CO, CO₂, O₂ dan senyawa NO_x. Sedangkan pada negara-negara yang standar emisinya tidak terlalu ketat, hanya mengukur 4 unsur dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO₂ dan O₂.

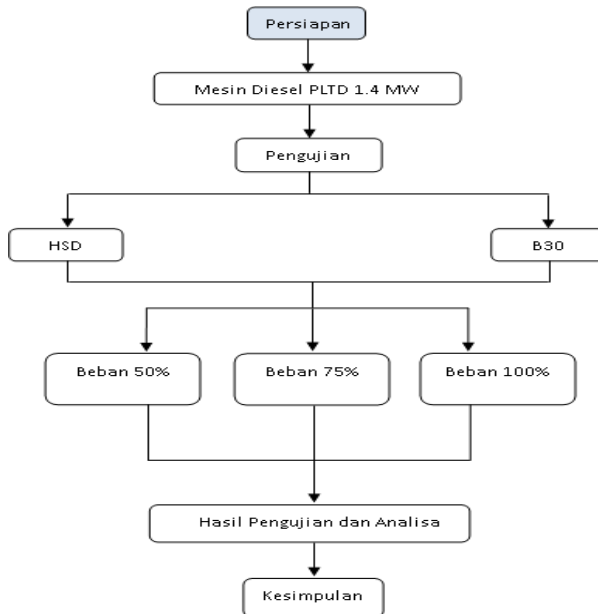
Di Indonesia telah diberlakukan aturan mengenai batasan atau standar emisi gas buang dari pembakaran mesin, pembangkit, listrik, pabrik – pabrik, dan lainnya. Khususnya untuk pembangkit listrik, pemerintah Indonesia melalui PERMEN Lingkungan Hidup Nomor 21 tahun 2008 telah mengeluarkan aturan tentang “Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkit Tenaga Listrik Termal”. Baku mutu emisi gas buang untuk PLTD dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu emisi gas buang PLTD

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)	
		Minyak	Gas
1.	Total Partikulat	150	30
2.	Karbon Monoksida (CO)	600	500
3.	Nitrogen Oksida (NO _x) sebagai NO ₂	1000	400
4.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	800	150
5.	Opasitas	20 %	-

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian ini menggunakan metode *apple to apple* dengan membandingkan hasil pengujian ketika menggunakan bahan bakar HSD dan bahan bakar B30.



Gambar 8. Diagram alir penelitian

Prosedur Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada PLTD 1.4 MW di Provinsi "X" mengacu pada standard SPLN K6.005 : 2015, ASME PTC 17 – 1973, dan ISO 3046 : 2002. Pada pengujian biodiesel ini menggunakan 2 varian bahan bakar sebagai variable, adapun bahan bakar yang digunakan adalah HSD dan B30 (HSD 70% + FAME 30%).

Pengujian unjuk kerja dilakukan selama 4 jam tanpa henti sela untuk masing – masing varian bahan bakar dengan pola pembebanan :

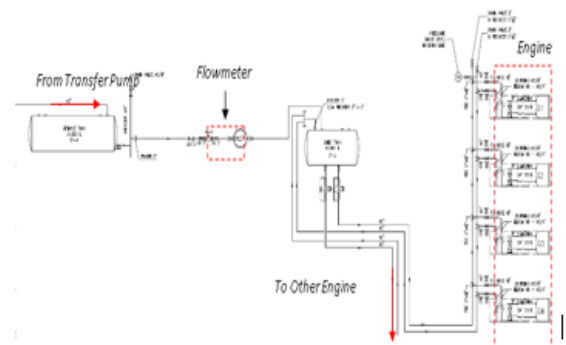
- Beban 50 % selama 1 jam,
- Beban 75 % selama 2 jam,
- Beban 100 % selama 1 jam.

Selama pengujian dilakukan pencatatan parameter untuk dianalisa dan dicatat adalah :

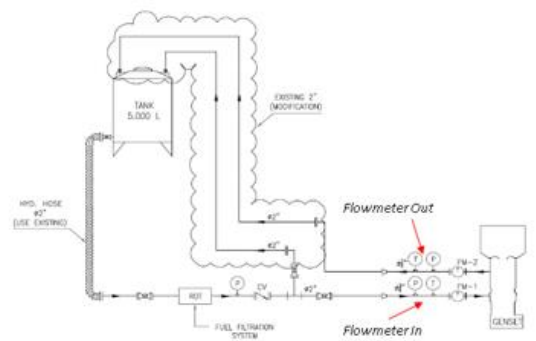
- *Specific Fuel Consumption (SFC)*,
- Daya yang terbangkitkan,
- Parameter operasi (*cooling water temperature, exhaust temperature, dan lube oil temperature*)
- Emisi gas buang (CO, NO_x, SO₂).

Selain hal – hal yang telah dijelaskan sebelumnya terdapat juga kondisi selama pengujian yang harus diperhatikan yaitu:

- Melakukan perubahan pada sistem *line* bahan bakar dengan membuat *line* yang terpisah dari *line* eksisting dan menggunakan tangki bahan bakar khusus atau terpisah dari tangki harian agar tidak terjadi kesalahan penggunaan bahan bakar pada saat pengujian. Pada *line* bahan bakar juga ditambahkan 2 buah *flowmeter* untuk mengetahui *input flow* dan *output flow* dari bahan bakar. Melakukan penggantian filter bahan bakar, filter udara, filter pelumas, dan penggantian minyak pelumas



Gambar 9. Sistem line bahan bakar eksisting



Gambar 10. Sistem line bahan bakar setelah modifikasi

- Peralatan yang digunakan untuk pengujian harus terkalibrasi.
- Selama pengujian tidak dilakukan penambahan bahan bakar ke dalam tangki agar tidak terjadi perubahan dosis pada bahan bakar biodiesel.
- Pengambilan sampel bahan bakar dari tangki pengujian dilakukan untuk setiap varian bahan bakar.

Perbedaan ambient temperature pada saat pengujian menggunakan bahan bakar HSD dan B30 tidak boleh lebih dari 5 derajat Celcius (5° C).

Spesifikasi Mesin Uji

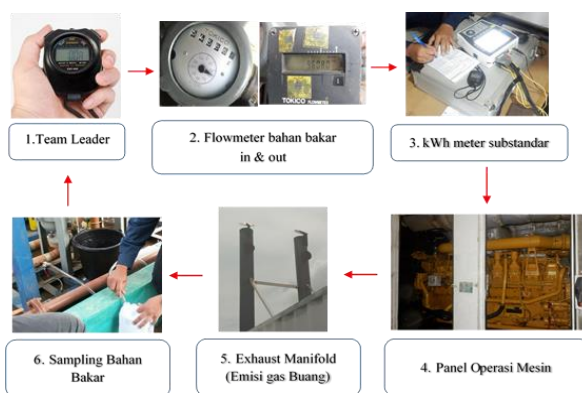
Spesifikasi teknis mesin diesel digunakan untuk pengujian seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi mesin uji

Mesin	CATERPILLAR
Type	3516 B
No. Seri/Tahun	0YAT00909 / 2012
Daya Terpasang	1600 kW / 2000 kVA
Daya Mampu	1400 kW
Putaran	1500 rpm

Pengujian

Pengujian dilakukan selama 4 jam tanpa henti sela dengan pola pembebanan 50 % selama 1 jam, 75 % selama 2 jam , dan 100% selama 1 jam. Selama pengujian dilakukan pencatatan terhadap input flow bahan bakar, output flow bahan bakar, daya yang terbangkitkan, exhaust temperature, cooling water temperature, lube oil temperature, ambient temperature, dan emisi gas buang. Pengambilan data unjuk kerja dilakukan setiap 15 menit dalam waktu yang bersamaan yang kemudian dirata – ratakan untuk setiap pola pembebanan. Metode pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Metode pengambilan data pengujian

Proses pengambilan data dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Unit dioperasikan yang kemudian dibebani 50% dengan stabilisasi selama 10 – 15 menit. Seorang leader berkoordinasi

dengan tim penguji menggunakan stopwatch yang telah di aktifkan secara bersamaan. Masing–masing anggota melakukan pencatatan data setiap 15 menit (0, 15, 30, 45, 60, dst) pada setiap beban (50%, 75%, 100%).

- Pengambilan data aliran bahan bakar menggunakan flowmeter yang dipasang pada line bahan bakar masuk dan line bahan bakar keluar mesin.
- Pengambilan data kWh menggunakan kWh meter substandar yang dipasang pada panel kWh meter gross.
- Data parameter operasi diambil dengan membaca meter yang berada di panel operasi mesin.
- Emisi gas buang diambil dari exhaust manifold/stack dengan menggunakan flue gas analyzer.
- Sampel bahan bakar yang digunakan untuk pengujian karakteristik diambil dari aliran bahan bakar masuk sebelum flowmeter sehingga tidak mengurangi jumlah aliran bahan bakar masuk mesin yang terbaca pada flowmeter. Sampel bahan bakar hanya diambil pada saat beban 100% untuk setiap varian bahan bakar.
- Pengambilan data setiap 15 menit untuk semua parameter kecuali sampel bahan bakar.
- Pengambilan data pengujian diambil dengan cara mencatat hasil pengujian dari alat ukur di lapangan yang kemudian ditulis pada blangko pengujian untuk memudahkan dalam mencari data – data yang akan diolah.

Data yang didapatkan digunakan sebagai dasar perhitungan Specific Fuel Consumption (SFC) berdasarkan formula berikut :

$$SFC = \frac{\text{Bahan bakar terpakai (liter)}}{\text{Daya yang dibangkitkan (kWh)}} \\ = \frac{(\text{Bahan bakar masuk} - \text{Bahan bakar keluar})(\text{lt})}{\text{Daya yang dibangkitkan (kWh)}}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Bakar

Pengujian karakteristik bahan bakar dilakukan dengan mengambil sampel bahan bakar HSD dan bahan bakar B30, kemudian

diuji di laboratorium. Varian bahan bakar B30 didapatkan sesuai dengan *Delivery Order* dari PT Pertamina (Persero), hasil analisa bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisa bahan bakar

NO	TEST	DIRJEN MIGAS SPEC No. 3675		HASIL		UNIT
		HSD 48	HSD 51	HSD	B30	
1	Density @ 15°C	815 - 870	820 - 860	848	853.9	Kg/M3
2	Kin. Viscosity @ 40 °C	2.0 - 5.0	2.0 - 4.5	3.24	2.87	cSt
3	Total Sulphur	Max 0.35	Max 0.05	0.16	0.15	% wt.
4	FAME Content	-	-	0.88	24.62	% wt.
5	Calorific Value	-	-	10450	10340	Kcal/Kg

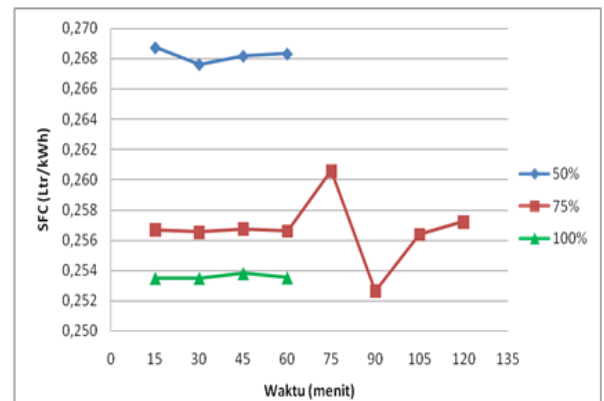
Dari hasil analisa menunjukkan bahwa spesifikasi bahan bakar yang digunakan untuk pengujian masih dalam batasan Dirjen Migas No.3657K/24/DJM/2006, juga menunjukkan adanya perbedaan karakteristik bahan bakar HSD dengan B30. Hal ini disebabkan karena perbedaan bahan baku yang digunakan untuk membuat masing-masing bahan bakar tersebut. Berdasarkan Tabel 4.

- Kandungan FAME pada HSD sebesar 0.88% dan pada B30 sebesar 24.62%.
- Densitas dari HSD sebesar 848 kg/m³ lebih kecil daripada densitas dari B30 sebesar 853.9 kg/m³. Hal ini dapat mengakibatkan tidak sempurnanya proses atomisasi bahan bakar pada fuel injector sehingga proses pembakaran menjadi kurang baik.
- Nilai kalor HSD lebih besar daripada nilai kalor B30, akibatnya nilai SFC akan meningkat pada saat menggunakan bahan bakar B30.

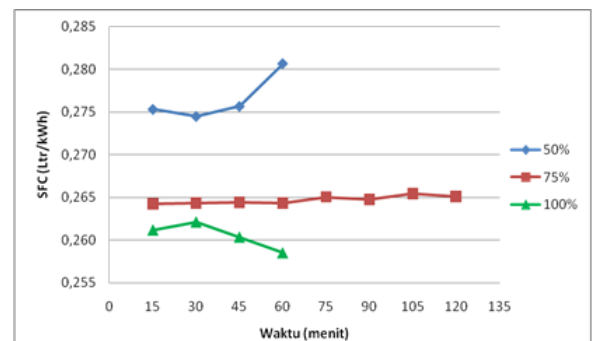
Specific Fuel Consumption (SFC)

Data SFC didapatkan dari hasil rata-rata per beban uji selama pengujian unjuk kerja dengan pola pembebanan 50% daya mampu selama 1 jam, beban 75% daya mampu selama 2 jam, dan beban 100% daya mampu selama 1 jam. Pengujian unjuk kerja dilakukan dengan bahan bakar HSD dan B30 sehingga

didapatkan perbandingan hasil konsumsi bahan bakar spesifik beserta analisisnya.

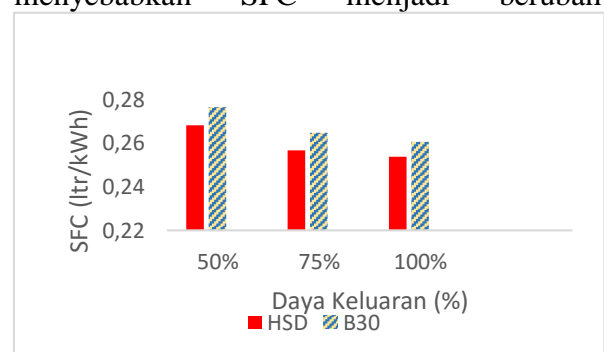


Gambar 12. SFC (HSD) terhadap waktu



Gambar 13. SFC (B30) terhadap waktu

Pada Gambar 12 dan 13 terlihat bahwa semakin besar beban dari PLTD semakin kecil nilai SFC. Hal ini disebabkan, semakin besar beban dari PLTD semakin tinggi temperatur pembakaran di ruang bakar (temperatur silinder) sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik. Proses pembakaran yang lebih baik menyebabkan turunnya nilai SFC. Pada Gambar 13 terlihat fluktuasi SFC pada beban 75%, dikarenakan adanya fluktuasi frekuensi pada jaringan transmisi yang mengakibatkan beban generator menjadi naik turun sehingga menyebabkan SFC menjadi berubah



Gambar 14. Perbandingan SFC HSD & B30

Pada Gambar 14 terlihat bahwa SFC dengan menggunakan B30 lebih besar dari pada SFC dengan menggunakan HSD. Hal ini disebabkan B30 mempunyai nilai kalor (heating value) yang lebih kecil dari pada HSD. Nilai kalor yang kecil menyebabkan meningkatnya konsumsi bahan bakar yang bertujuan untuk mempertahankan dayanya.

Dari hasil SFC dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30 dapat diketahui besar perubahan SFC dari masing-masing bahan bakar (Δ SFC) beserta analisisnya. Berikut tabel hasil perhitungan Δ SFC dan Efisiensi.

Tabel 5. Hasil perhitungan Δ SFC

Beban (%)	SFC HSD (Ltr/kWh)	SFC B30 (Ltr/kWh)	Δ SFC (%)
50	0.2682	0.2765	3.11
75	0.2567	0.2647	3.12
100	0.2536	0.2606	2.74

Tabel 5 menunjukkan adanya perubahan SFC sebesar 3.11 % pada beban 50%, pada beban 75% sebesar 3.12 % dan pada beban 100% sebesar 2.74 %. Table di atas juga menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar pada mesin PLTD lebih boros ketika beroperasi memakai B30.

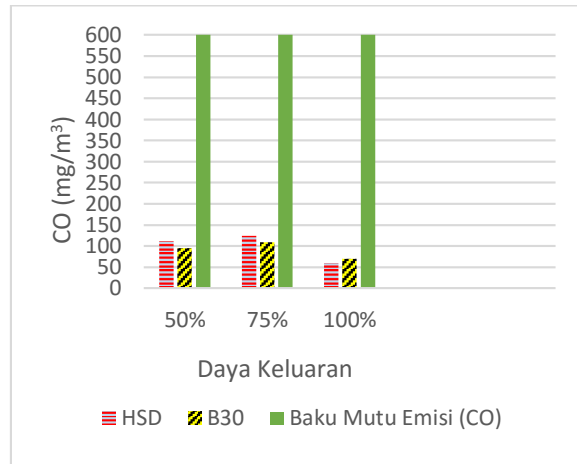
Emisi Gas Buang

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui emisi gas buang masih dalam batasan standar baku mutu emisi PERMEN LH No.21 Tahun 2008. Dari pengujian PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30, didapatkan hasil uji emisi gas buang dan analisisnya. Data hasil pengujian emisi gas buang dapat dilihat pada Lampiran 1. Berikut adalah analisa hasil pengujian emisi gas buang.

Tabel 6. Kandungan emisi CO

Beban	Kandungan CO (mg/m ³)		Baku Mutu Emisi (CO)
	HSD	B30	
50%	111.20	95.40	600
75%	124.40	109.67	
100%	59.40	69.80	

Dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 15.



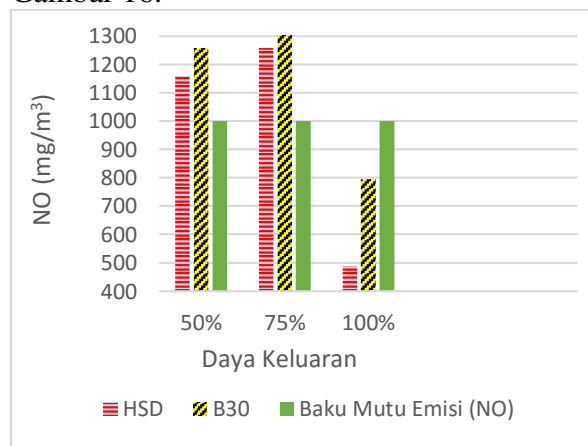
Gambar 15. Perbandingan emisi CO

Tabel 6 dan Gambar 15 adalah perbandingan kandungan emisi CO dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30. Kandungan CO tiap beban diambil dari rata-rata selama 1 jam untuk beban 50%, 2 jam untuk beban 75%, dan 1 jam untuk beban 100%. Kandungan CO dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30 masih di bawah baku mutu emisi gas buang.

Tabel 7. Kandungan emisi NO

Beban	Kandungan NO (mg/m ³)		Baku Mutu Emisi (NO)
	HSD	B30	
50%	1159.60	1258.60	1000
75%	1257.10	1339.00	
100%	487.60	794.20	

Dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Perbandingan emisi NO

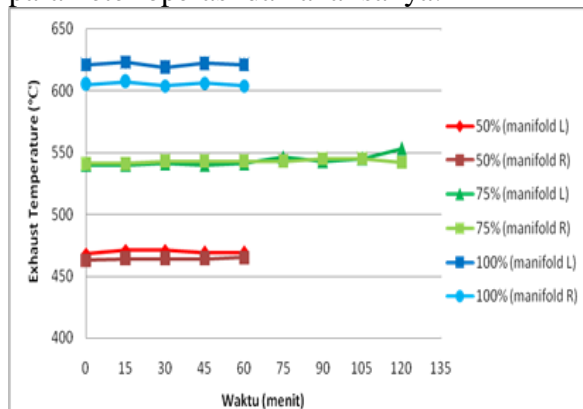
Tabel 7 dan Gambar 16 adalah perbandingan kandungan emisi NO dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30. Kandungan NO tiap beban diambil dari rata-rata selama 1 jam untuk beban 50%, 2 jam untuk beban 75%, dan 1 jam untuk beban 100%. Pada beban 50% dan 75%, kandungan NO pada emisi gas buang dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30 sudah melewati baku mutu emisi gas buang. Sedangkan pada beban 100%, kandungan NO dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30 masih di bawah baku mutu emisi gas buang.

Tabel 8. Kandungan emisi SO₂

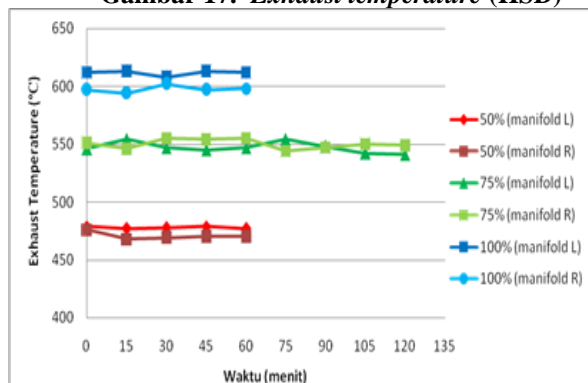
Beban	Kandungan SO ₂ (mg/m ³)		Baku Mutu Emisi (SO ₂)
	HSD	B30	
50%	0.00	227.20	800
75%	0.00	268.33	
100%	108.60	189.20	

Parameter Operasi

Dari pengujian PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30, didapatkan data parameter operasi dan analisisnya.

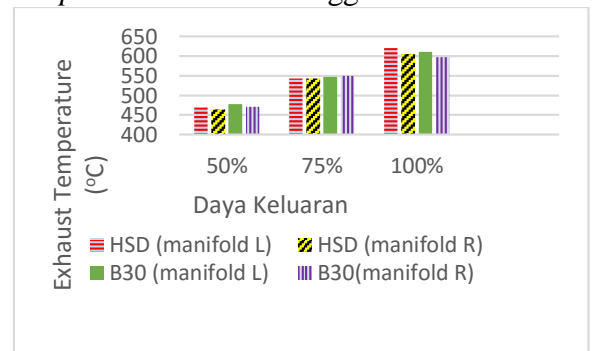


Gambar 17. Exhaust temperature (HSD)



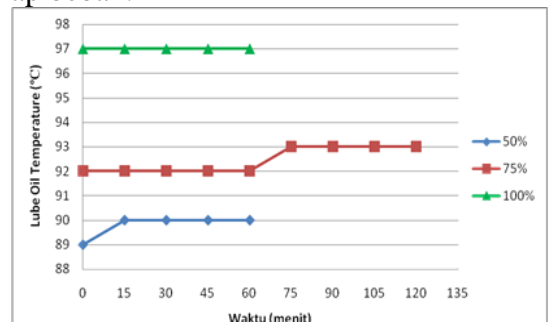
Gambar 18. Exhaust temperature (B30)

Gambar 17 dan 18 terlihat semakin besar beban dari PLTD, *exhaust temperature* semakin tinggi. Hal ini disebabkan, semakin besar beban dari PLTD, volume HSD dan B30 yang digunakan semakin besar. Volume HSD dan B30 yang semakin besar menyebabkan temperatur pembakaran di ruang bakar semakin tinggi yang mengakibatkan *exhaust temperature* semakin tinggi.

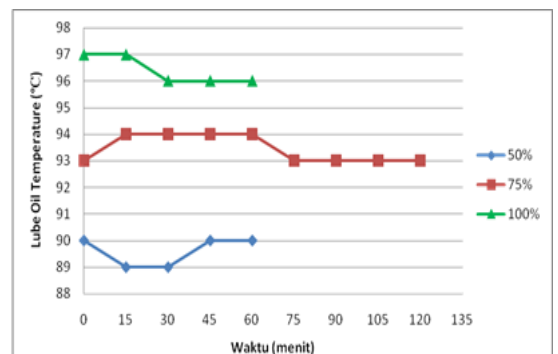


Gambar 19. Perbandingan exhaust temperature

Gambar 19 adalah perbandingan *exhaust temperature* dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30. Exhaust temperature tiap beban diambil dari rata-rata selama 1 jam untuk beban 50%, 2 jam untuk beban 75%, dan 1 jam untuk beban 100%. Tidak terdapat perbedaan *exhaust temperature* dengan menggunakan HSD dan B30 untuk setiap beban.



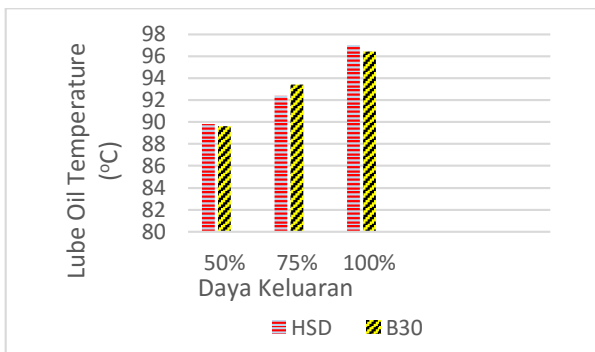
Gambar 20. Lube oil temperature (HSD)



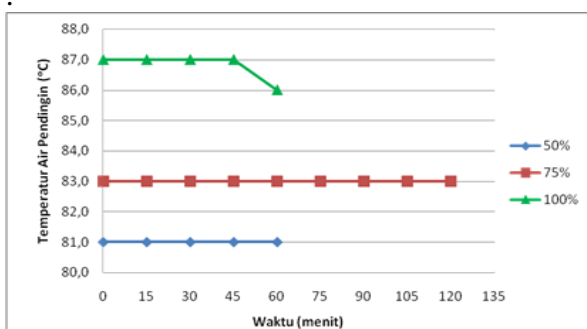
Gambar 21. Lube oil temperature (B30)

Gambar 20 dan 21 terlihat semakin besar beban dari PLTD, *lube oil temperature* semakin tinggi. Besarnya *lube oil temperature* sebanding dengan besar beban dari PLTD. Hal ini disebabkan, semakin besar beban dari PLTD, temperatur pembakaran semakin tinggi. Temperatur pembakaran yang semakin tinggi dan berlangsung secara terus-menerus mengakibatkan temperatur mesin semakin tinggi. Temperatur mesin yang semakin tinggi akan diturunkan oleh *lube oil* sampai temperatur mesin terjaga pada batas temperatur kerja yang ideal.

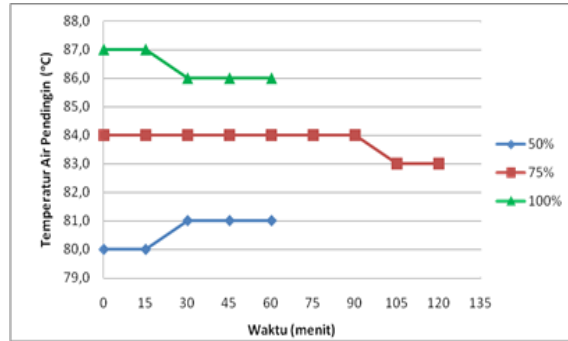
Lube oil akan menyerap panas yang berlebih pada mesin sehingga menyebabkan *lube oil temperature* semakin tinggi, dapat dilihat pada Gambar 22, yaitu perbandingan *lube oil temperature* dari PLTD menggunakan bahan bakar HSD dan B30. *Lube oil temperature* tiap beban diambil dari rata-rata selama 1 jam untuk beban 50%, 2 jam untuk beban 75%, dan 1 jam untuk beban 100%. Tidak terdapat perbedaan *lube oil temperature* ketika menggunakan HSD dan B30 untuk setiap beban. Temperatur pembakaran untuk tiap beban dipengaruhi oleh *ambient temperature* dan *relative humidity*.



Gambar 22. Perbandingan *lube oil temperature*

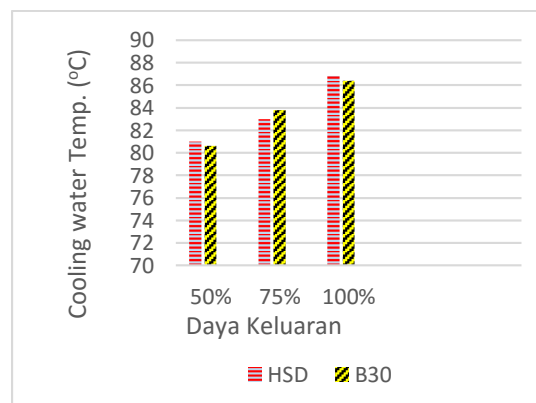


Gambar 23. Temperatur *cooling water* (HSD)



Gambar 24. Temperatur *cooling water* (B30)

Gambar 23 dan 24 terlihat bahwa semakin besar beban dari PLTD, temperatur *cooling water* semakin tinggi. Besarnya temperatur *cooling water* sebanding dengan besar beban dari PLTD. Hal ini disebabkan, semakin besar beban dari PLTD, *lube oil temperature* semakin tinggi. *Lube oil temperature* yang semakin tinggi akan diturunkan oleh *cooling water*. *Cooling water* akan menyerap panas yang berlebih pada *lube oil* sehingga menyebabkan temperatur *cooling water* semakin tinggi.



Gambar 25. Perbandingan *cooling water*

Gambar 25 adalah perbandingan temperatur *cooling water* dari PLTD dengan menggunakan bahan bakar HSD dan B30. Temperatur *cooling water* tiap beban diambil dari rata-rata selama 1 jam untuk beban 50%, 2 jam untuk beban 75%, dan 1 jam untuk beban 100%. Tidak terdapat perbedaan temperatur *cooling water* ketika menggunakan HSD dan B30 adalah sama untuk setiap beban. Hal ini disebabkan tidak terdapat perbedaan *lube oil temperature* dengan menggunakan HSD dan B30.

4. SIMPULAN

Dari hasil analisa data pengujian maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Spesifikasi sampel bahan bakar HSD dan B30 yang digunakan untuk pengujian masih dalam batasan spesifikasi Dirjen Migas No.3657K/24/DJM/2006.
- Pada bahan bakar yang digunakan untuk pengujian unjuk kerja, terdapat kandungan FAME sebesar 0.88% pada HSD dan sebesar 24.62% pada B30. Nilai kalor HSD lebih besar daripada nilai kalor B30 dan densitas bahan bakar HSD lebih rendah daripada densitas bahan bakar B30.
- Terjadi peningkatan SFC pada beban 50% sebesar 3.11%, beban 75% sebesar 3.12%, dan beban 100% sebesar 2.74% ketika menggunakan bahan bakar B30 dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar HSD.
- Kandungan CO, NO, dan SO₂ pada emisi gas buang masih dalam batasan standar baku mutu emisi sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.21 tahun 2008.
- Tidak terjadi perubahan parameter operasi lube oil temperature, temperatur air pendingin, dan exhaust temperature ketika menggunakan bahan bakar HSD maupun bahan bakar B30.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel: SNI 04-7182-2006.
- [2] Diktat Operasi dan Pemeliharaan PLTD. Jakarta: PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- [3] ISO 3046. 2002. Reciprocating Internal Combustion Engines Performance.
- [4] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2013). Buku Informasi Teknis Biodiesel. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi.
- [5] Klaus Mollenhauer dan Helmut Tschoke. 2010. Handbook of Diesel Engines. Berlin: Springer.
- [6] Rutz, D., & Janssen, R. (2007). Biofuel Technology Handbook. Munich: WIP Renewable Energies.
- [7] PT PLN (Persero). 1986. Uji Siap Guna PLTD: SPLN 47-5.
- [8] PT PLN (Persero). 2015. Komisioning PLTD/MG: SPLN K6.005.
- [9] Wikipedia. n.d. Motor Bakar Diesel. Accessed January 20, 2017. https://id.wikipedia.org/wiki/Motor_bakar_diesel.