

ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL TERHADAP PEMAKAIAN BAHAN BAKAR HEAVY FUEL OIL (HFO) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL (PLTD) TALLASA KABUPATEN TAKALAR

¹⁾Muh. Syahrir Habiba, ²⁾Darmulia, ³⁾Rahmat Efendi, ⁴⁾Irsal

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

^{2,3,4)}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km 9 No 29 Kampus UIM, Telp 0411-588-167

Email : 2darmulia.dty@uim-makassar.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian untuk mengetahui kualitas bahan bakar HFO yang digunakan PLTD Tallasa Takalar, apakah sudah sesuai standar yang diajarkan. Penelitian juga bertujuan untuk mengetahui daya dan efisiensi mesin PLTD Tallasa Takalar. Dari penelitian bahan bakar HFO yang digunakan PLTD Tallasa Takalar tidak sesuai yang dianjurkan karena kandungan air telah melampaui batas yang diijinkan, sehingga dapat mempengaruhi kinerja mesin. Berdasarkan hasil penelitian daya yang dihasilkan mesin New Sulzer 16ZA40S pada PLTD Tallasa Takalar mengalami penurunan yaitu 7 sampai 8 MW, dimana dispesifikasi mesin New Sulzer 16ZA40S tercantum daya yang dihasilkan sebesar 11 MW. Sedangkan Efisiensi Thermal pada New Sulzer 16ZA40S yaitu sebesar 58,2 %..

Kata kunci : *Heavy Fuel Oil, PLTD*

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai *prime over* atau penggerak mula yang dikopel (*couple*) dengan generator, generator berfungsi mengkonversi energi mekanik dari mesin diesel menjadi energi listrik.

Sala satu bahan bakar minyak bumi yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yaitu bahan bakar HFO. Bahan bakar HFO bukan merupakan produk hasil destilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel.

Kinerja mesin pada pembangkit listrik tenaga diesel sangat dipengaruhi oleh pemakaian bahan bakar yang sesuai dengan standar. Jika kualitas bahan bakar itu baik maka akan baik pula kinerja mesin. Maka dari itu untuk

mengetahui kinerja mesin itu baik, maka perlu dilakukan penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisa kualitas bahan bakar HFO dengan membandingkan Standar batas dari buku manual NEW SULZER 16ZAV40S.
2. Bagaimana menganalisa daya dan efisiensi Thermal mesin diesel dengan menggunakan siklus diesel.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisa kualitas bahan bakar HFO dengan membandingkan Standar batas dari buku manual NEW SULZER 16ZAV40S.
2. Untuk menganalisa daya dan efisiensi Thermal mesin diesel menggunakan siklus diesel.

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada dua tempat yaitu :

1. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Tallasa Takalar yang beralamat di dusun Bantinoto, Desa Bontokadatto, kec. Polombangkeng, kab. Takalar, Sulawesi Selatan.
2. PT. Sucofindo SBU Laboratorium yang beralamat di Jl. Arteri Tol Cibitung No.1, Sukadana, Cibitung, Bekasi, Jawa Barat.
3. Waktu penelitian selama dua bulan terhitung tanggal 15 Mei – 15 Juli 2017.

2.2 Alat dan Bahan yang digunakan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini terdiri dari:

- a. Mesin diesel NEW SULZER 16ZAV40S
Spesifikasi mesin diesel New Sulzer 16ZA40S :
- b. Gelas ukur
- c. Thermometer
- d. Hidrometer
- e. Density bath
- f. Fill Rite Series 900 Meter
- g. Flash Point Tester SYD-3536D
- h. Leco tipe CS-744
- i. Heated Viscometer
- j. Automatic Sulfur Analyzer

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah Bahan bakar Heavy Fuel Oil (HFO).

METODE PENELITIAN

2.3.1 Metode Pengujian

Metode yang digunakan ini merupakan metode langsung, dimana peneliti menggunakan alat untuk menguji bahan bakar yang berada di laboratorium PT. Sucofindo Cibitung. Teknik yang digunakan merupakan pengujian untuk mengetahui kualitas bahan bakar HFO yang digunakan di PLTD Tallasa Takalar, apakah bahan bakar yang digunakan disana sudah sesuai standar yang telah ditetapkan atau tidak. Selain meneliti kualitas bahan bakar HFO, kami juga meneliti kinerja mesin khususnya meneliti daya dan efisiensi thermal mesin dengan menggunakan siklus diesel.

2.3.2 Metode Pengumpulan data

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis menggunakan beberapa metode untuk

mendapatkan data yang yang akurat, diantaranya:

- a. Melakukan observasi yaitu mengadakan pengumpulan data dengan mengamati secara langsung di lapangan.
- b. Membaca buku-buku, artikel yang berhubungan dengan permasalahan.
- c. Membuka situs/Wibsite yang bersangkutan dengan tugas akhir yang sedang dibuat guna menambah beberapa informasi sebagai bahan pembuatan tugas akhir
- d. Melakukan wawancara yaitu bertanya secara langsung kepada pihak yang bersangkutan.

2.4 Metode Analisis

Setelah melakukan pengambilan data maka akan dilakukan analisis komposisi bahan bakar HFO tersebut. Analisis disini bertujuan untuk mengetahui kualitas bahan bakar HFO yang digunakan di PLTD Tallasa dengan membandingkan standar dari buku manual mesin New Sulzer 16ZAV40.

Setelah pengambilan data – data mesin New Sulzer 16ZAV40, maka akan dilakukan analisa daya dan efisiensi thermal mesin diesel dengan menggunakan siklus diesel .

ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Bahan Bakar HFO

Tabel 1. Hasil Pengujian Labotatorium Sucofindo Cibitung

No	Properti	Nilai	Satuan	Metode
1	Viskositas 50° C	300,23	mm ²	ASTMD-445
2	Massa jenis 15° C	0,982	g/ml	ASTMD-1298
3	Kandungan air	0,3	% Volume	ASTM D-95
4	Kandungan sulphur	1,09	% Massa	ASTMD-129
5	Kandungan abu	0,1	% Massa	ISO 6245
6	Kandungan Vanadium	489	mg/kg	AAS
7	Residu Karbon	3,02	% Massa	ASTMD-189
8	Kandungan aspal	-	% Massa	ASTMD 43279
9	Flash Point	157	°C	ASTM D-93
10	Pour Point	12	°C	ASTM D-97
11	Kandungan aluminium	-	mg/kg	ISO 10478
12	Kandungan sodium	-	mg/kg	ISO 10478
13	Sedimen total	0,09	% Massa	ISO 10307-2

3.2 Analisis Parameter HFO

1. Viskositas
Hasil laboratorium menunjukkan nilai viskositas yaitu 300,23 mm²/s. jadi nilai viskositasnya memenuhi standar yang dianjurkan.
2. Massa jenis
Hasil laboratorium menunjukkan nilai massa jenis yaitu 0,982 g/ml. jadi massa jenisnya memenuhi standar yang dianjurkan.
3. Kandungan air
Hasil laboratorium menunjukkan nilai kandungan air yaitu 0,3 %. Nilai kandungan air ini melebihi nilai yang dianjurkan yaitu 0,1 %. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan kandungan energi pada HFO yang dapat berakibat semakin borosnya penggunaan bahan bakar. Bila airnya mengandung klorin dapat mengakibatkan korosi dan deposit pada area bertemperatur tinggi.
4. Kandungan sulphur
Hasil laboratorium menunjukkan nilai kandungan sulphur yaitu 1,09 %. Jadi kandungan sulfurnya memenuhi standar.
5. Kandungan abu
Hasil laboratorium menunjukkan nilai kandungan abu yaitu 0,1 %. Jadi kandungan abunya memenuhi standar.
6. Kandungan vanadium
Hasil laboratorium menunjukkan nilai vanadium yaitu 489 mg/kg. jadi kandungan vanadiumnya memenuhi standar.
7. Kandungan residu karbon
Hasil laboratorium menunjukkan nilai Kandungan residu karbon adalah 3,02 %. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimal kandungan residu karbon yang diijinkan.
8. Kandungan aspal
Hasil laboratorium menunjukkan nilai kandungan aspal yaitu tidak terukur. Kandungan aspal yang melebihi normal dapat mengakibatkan terbentuknya deposit di ruang bakar serta dapat menyebabkan masalah pada sistem bahan bakar.
9. Flash point
Hasil laboratorium menunjukkan nilai Flash point yaitu 157° C, sehingga masih

berada di atas nilai minimal yang dianjurkan.

10. Pour point
Hasil laboratorium menunjukkan nilai pour point yaitu 12° C, sehingga masih memenuhi standar.
11. Kandungan aluminium
Hasil laboratorium menunjukkan nilai kandungan aluminium yaitu tidak terukur. Apabila kandungannya melebihi batas normal dapat terjadi keausan abrasif di beberapa komponen mesin.
12. Kandungan sodium
Kandungan sodium tidak diperiksa dalam pengujian laboratorium. Kelebihan kandungan sodium akan mengakibatkan terbentuknya deposit pada mesin. Deposit ini bersifat sangat korosif dan dapat merusak lapisan pelindung oksida (seperti pada katup exhaust) sehingga mengakibatkan korosi temperatur tinggi dan terbakarnya katup. Deposit dan korosi temperatur tinggi pada turbocharger, khususnya pada ring nosel dan sudut turbin akan mengakibatkan penurunan efisiensi turbocharger
13. Kandungan sedimen
Hasil laboratorium menunjukkan nilai Kandungan sedimen total yaitu 0,09 %. Jadi kandungan sedimen total sangat mendekati batas maksimal dari nilai yang dianjurkan (maksimal 0,1 %). Sehingga, nilai kebersihan serta kestabilan bahan bakar kurang baik.

3.3 Pengambilan Data Mesin

Tabel 2 Hasil pengambilan data engine 6 pada saat beroperasi

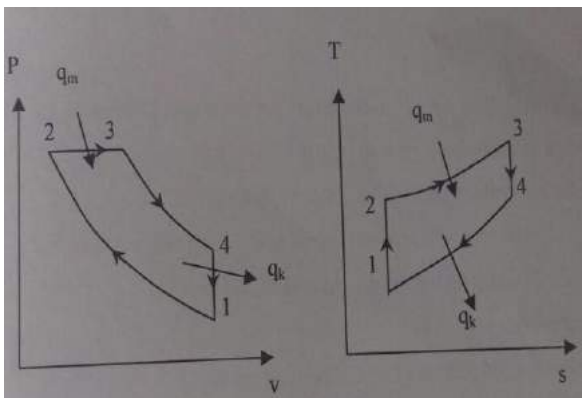
Hari : Selasa, 06 Juni 2017			Engine No : 6			
Time			19:00	20:00	21:00	22:00
	Std	Unit	8 MW	7 MW	7 MW	7 MW
Engine Speed	Max 500	Rpm	500	500	499	499
charge air pressure	3	Bar	3	3	3	3
charge air temperature	Max 70	°C	54	55	51	45

3.4 Daya Yang Dihasilkan Mesin

1. Pada pengambilan data pada jam 19:00 putaran mesin 500 Rpm menghasilkan daya 8 MW pada temperatur 54° C.

2. Pada pengambilan data pada jam 20:00 putaran mesin 500 Rpm menghasilkan daya 7 MW pada temperatur 55⁰ C.
3. Pada pengambilan data pada jam 21:00 putaran mesin 499 Rpm menghasilkan daya 7 MW pada temperatur 51⁰ C.
4. Pada pengambilan data pada jam 22:00 putaran mesin 499 Rpm menghasilkan daya 7 MW pada temperatur 41⁰ C.

3.5 Menghitung Efisiensi Thermal



Gambar 1. Siklus Diesel

- Konstanta – konstanta yang berlaku
- k : Konstanta rasio panas spesifik : cp/cv = 1,4
 - cp : Konstanta panas spesifik pada tekanan konstan : 1,0035 KJ/kg
 - cv : Konstanta panas spesifik pada volume konstan : 0,7165 KJ/kg
 - r_v : Rasio kompresi : v₁/v₂
 - R : Konstanta Udara : 0,287 KJ/kg

3.6 Menghitung Efisiensi Thermal

1. Pengambilan data pada jam 19:00

Dari gambar 1 siklus Diesel, diperoleh untuk :
 Titik 1, P₁ = 3 bar = 300 kpa, dimana 1 bar = 100 kpa
 T₁ = 54⁰ C = 54 + 273 = 327 K
 V₁ = R T₁/P₁ = 0,287 x 327/300 = 0,312 m³
 Titik 2, r_v = v₁/v₂ = 18
 V₂ = v₁/18
 V₂ = 0,312/18 = 0,0173 m³
 Proses 1 – 2 adalah isentropic maka berlaku T_v^{k-1} = konstan atau

$$T_2/T_1 = (v_1/v_2)^{k-1} \longrightarrow T_2 = T_1 \times r_v^{k-1} = 327 \times 18^{0,4} = 327 \times 3,177 = 1038,879 \text{ K}$$

$$P_2/P_1 (v_1/v_2)^k = r_v^k \longrightarrow P_2 = P_1 \times r_v^k = 300 \times 18^{1,4} = 300 \times 57,198 = 17159,4 \text{ kpa}$$

Titik 3, P₃ = P₂ = 17159,4 kpa

$$T_3 = T_2 \times r_v^{k-1} = 1038,879 \times 18^{0,4} = 3300,518 \text{ K}$$

$$V_3 = R T_3/P_3 = 0,287 \times 3300,518/17159,4 = 0,0552 \text{ m}^3$$

Titik 4, karena proses 3 – 4 adalah isentropik, maka T_v^{k-1} = konstan

$$V_4 = V_1 = 0,312 \text{ m}^3$$

$$T_3/T_4 = (v_4/v_3)^{k-1} = (0,312/0,0552)^{0,4} = 1,999$$

$$T_4 = T_3/1,999 = 1651,084 \text{ K}$$

Efisiensi Thermal

$$1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(1651,084 - 327)}{1,4(3300,518 - 1038,879)} = 0,581 = 58,1 \%$$

2. Pengambilan data pada jam 20:00

Dari gambar 1 siklus Diesel, diperoleh untuk :
 Titik 1, P₁ = 3 bar = 300 kpa, dimana 1 bar = 100 kpa

$$T_1 = 55^0 \text{ C} = 55 + 273 = 328 \text{ K}$$

$$V_1 = R T_1/P_1 = 0,287 \times 328/300 = 0,313 \text{ m}^3$$

Titik 2, r_v = v₁/v₂ = 18

$$V_2 = v_1/18$$

$$V_2 = 0,313/18 = 0,0174 \text{ m}^3$$

Proses 1 – 2 adalah isentropic maka berlaku T_v^{k-1} = konstan atau

$$T_2/T_1 = (v_1/v_2)^{k-1} \longrightarrow T_2 = T_1 \times r_v^{k-1} = 328 \times 18^{0,4} = 328 \times 3,177 = 1042,056 \text{ K}$$

$$P_2/P_1 (v_1/v_2)^k = r_v^k \longrightarrow P_2 = P_1 \times r_v^k = 300 \times 18^{1,4} = 300 \times 57,198 = 17159,4 \text{ kpa}$$

Titik 3, P₃ = P₂ = 17159,4 kpa

$$T_3 = T_2 \times r_v^{k-1} = 1042,056 \times 18^{0,4} = 3310,611 \text{ K}$$

$$V_3 = R T_3/P_3 = 0,287 \times 3310,611/17159,4 = 0,0553 \text{ m}^3$$

Titik 4, karena proses 3 – 4 adalah isentropik, maka T_v^{k-1} = konstan

$$V_4 = V_1 = 0,313 \text{ m}^3$$

$$T_3/T_4 = (v_4/v_3)^{k-1} = (0,313/0,0553)^{0,4} = 2,0004$$

$$T_4 = T_3/2,0004 = 1654,974 \text{ K}$$

Efisiensi Thermal

$$1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(1654,974 - 328)}{1,4 (3310,611 - 1042,056)}$$

$$= 0,582 = 58,2 \%$$

3. Pengambilan data pada jam 21:00

Dari gambar 1 siklus Diesel, diperoleh untuk :
Titik 1, $P_1 = 3 \text{ bar} = 300 \text{ kpa}$, dimana $1 \text{ bar} = 100 \text{ kpa}$

$$T_1 = 51^\circ \text{C} = 51 + 273 = 324 \text{ K}$$

$$V_1 = R T_1/P_1 = 0,287 \times 324/300 = 0,309 \text{ m}^3$$

Titik 2, $r_v = v_1/v_2 = 18$

$$v_2 = v_1/18$$

$$v_2 = 0,309/18 = 0,0172 \text{ m}^3$$

Proses 1 – 2 adalah isentropic maka berlaku $T_v^{k-1} = \text{konstan}$ atau

$$T_2/T_1 = (v_1/v_2)^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 \times r_v^{k-1}$$

$$= 324 \times 18^{0,4} = 324 \times 3,177 = 1029,348 \text{ K}$$

$$P_2/P_1 (v_1/v_2)^k = r_v^k \rightarrow P_2 = P_1 \times r_v^k = 300 \times 18^{1,4} = 300 \times 57,198 = 17159,4 \text{ kpa}$$

Titik 3, $P_3 = P_2 = 17159,4 \text{ kpa}$

$$T_3 = T_2 \times r_v^{k-1} = 1029,348 \times 18^{0,4} = 3270,238 \text{ K}$$

$$V_3 = R T_3/P_3 = 0,287 \times 3270,238/17159,4 = 0,0546 \text{ m}^3$$

Titik 4, karena proses 3 – 4 adalah isentropik, maka $T_v^{k-1} = \text{konstan}$

$$V_4 = V_1 = 0,309 \text{ m}^3$$

$$T_3/T_4 = (v_4/v_3)^{k-1} = (0,309/0,0546)^{0,4} = 2,0003$$

$$T_4 = T_3/2,0003 = 1634,873 \text{ K}$$

Efisiensi Thermal

$$1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(1634,873 - 324)}{1,4 (3270,238 - 1029,348)}$$

$$= 0,582 = 58,2 \%$$

4. Pengambilan data pada jam 22:00

Dari gambar 1. siklus Diesel, diperoleh untuk :

Titik 1, $P_1 = 3 \text{ bar} = 300 \text{ kpa}$, dimana $1 \text{ bar} = 100 \text{ kpa}$

$$T_1 = 45^\circ \text{C} = 45 + 273 = 318 \text{ K}$$

$$V_1 = R T_1/P_1 = 0,287 \times 318/300 = 0,304 \text{ m}^3$$

Titik 2, $r_v = v_1/v_2 = 18$

$$V_2 = v_1/18 = V_2 = 0,304/18 = 0,0169 \text{ m}^3$$

Proses 1 – 2 adalah isentropik maka berlaku $T_v^{k-1} = \text{konstan}$ atau

$$T_2/T_1 = (v_1/v_2)^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 \times r_v^{k-1}$$

$$= 318 \times 18^{0,4} = 318 \times 3,177 = 1010,286 \text{ K}$$

$$P_2/P_1 (v_1/v_2)^k = r_v^k \rightarrow P_2 = P_1 \times r_v^k = 300 \times 18^{1,4} = 300 \times 57,198 = 17159,4 \text{ kpa}$$

Titik 3, $P_3 = P_2 = 17159,4 \text{ kpa}$

$$T_3 = T_2 \times r_v^{k-1} = 1010,286 \times 18^{0,4} = 3209,678 \text{ K}$$

$$V_3 = R T_3/P_3 = 0,287 \times 3209,678/17159,4 = 0,0536 \text{ m}^3$$

Titik 4, karena proses 3 – 4 adalah isentropik, maka $T_v^{k-1} = \text{konstan}$

$$V_4 = V_1 = 0,304 \text{ m}^3$$

$$T_3/T_4 = (v_4/v_3)^{k-1} = (0,304/0,0536)^{0,4} = 2,0019$$

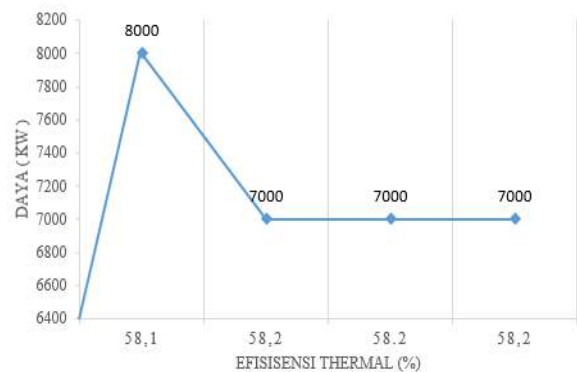
$$T_4 = T_3/2,0019 = 1603,315 \text{ K}$$

Efisiensi Thermal

$$1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(1603,315 - 318)}{1,4 (3209,678 - 1010,286)}$$

$$= 0,582 = 58,2 \%$$

3.7 Grafik Hubungan Daya dan Efisiensi Thermal



Dari grafik di atas menunjukkan bahwa pada daya 8000 kw efisiensi thermal sebesar 58,1 %, dan pada daya 7000 kw efisiensi thermal sebesar 58,2 %. Grafik di atas menunjukkan bahwa efisiensi thermal mengalami peningkatan, hal ini disebabkan karena terjadi penurunan daya. Jadi ketika saat mesin beroperasi efisiensi thermal terjadi peningkatan ketika terjadi penurunan daya.

PUNUTUP

4.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, kami menyimpulkan bahwa bahan bakar HFO yang digunakan mesin New Sulzer 16ZA40S pada PLTD

Tallasa Takalar tidak memenuhi standar karena kandungan air telah melampaui batas yang diijinkan, hal ini akan menyebabkan borosnya pemakaian bahan bakar.

- b. Berdasarkan hasil penelitian daya yang dihasilkan mesin New Sulzer 16ZA40S pada PLTD Tallasa Takalar mengalami penurunan yaitu 7 sampai 8 MW, dimana disefisienkan mesin New Sulzer 16ZA40S tercantum daya yang dihasilkan sebesar 11,5 MW. Sedangkan Efisiensi Thermal pada mesin New Sulzer 16ZA40S yaitu sebesar 58,2 %. Penurunan daya dan efisiensi thermal mesin disebabkan karena usia mesin semakin bertambah.

4.2 SARAN

- a. Perlu dilakukan pengamatan dan perbaikan terhadap sistem reparasi dan sistem filter HFO, sehingga nilai kandungan air dapat menjadi lebih rendah.
- b. Agar daya dan efisiensi mesin diesel dapat dipertahankan pada angka yang maksimum maka perlu dilakukan tindakan perawatan preventif, dimana perawatan dilakukan terus – menerus sehingga mesin diesel mencapai kinerja yang optimum, sekaligus menunda waktu pergantian komponen – komponen mesin diesel.

Ceramah dan Kursus – Kursus, Pusat Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi.

Speight, J.G. 1980 The Chemistry and Technology of Petroleum, Marcel Dekker Inc., New York and Bassel.

<https://awalbarri.wordpress.com/2008/12/04/system-pembakaran-pada-mesin-motor-diesel/v>

<http://blog.fleetowner.com/trucks-at-work/wp-content/uploads/2009/01/oil-rig.jpg>

http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_oil

http://www.kittiwake.com/images/contentimages/L_chart1.1.gif

http://en.wikipedia.org/wiki/Calculated_Carbon_Aromaticity_Index

<http://www.bangor.ac.uk/news/images/news/1308/1.jpg>

<http://www.treehugger.com/sulfur-bill.jpg>

http://www.pertamina.com/index.php?option=com_content&task=view&id=60&Itemid=390

<http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-separator-oil-gas>

<https://www.scribd.com/doc/136448360/Prinsip-Kerja-Separator>

<http://agusups.blogspot.co.id/2010/10/mesin-diesel.html>

<https://suriawanagus.wordpress.com/2013/04/24/prinsip-kerja-mesin-diesel-materi-2/>

DAFTAR PUSTAKA

- Adira dkk., Buku Minyak Bumi Indonesia Sifat dan Karakteristik, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak Bumi “.
- Arif, Efendy. 2013. Thermodinamika teknik. MEMBUMI publishing. Makassar.
- Hanter, A. 1974. Industri Perminyakan Indonesia, P.T. Penerbit Indonesia Raya, Jakarta.
- Hardjono. A. 2001. Teknologi Minyak Bumi. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Kai Juoperi. 2004. Heavy Fuel Oil – Still the Dominant Fuel Quality For Diesel Engines, Wartsila, Finland.
- Kontawa, A., Minyak Bumi – Pengklasifikasian dan Evaluasi, Bahan