

PERENCANAAN PEMANFAATAN MARINE FUEL OIL (MFO) SEBAGAI BAHAN BAKAR ENGINE DIESEL MaK

Hendra Poeswanto¹⁾ Ahmad Yani²⁾

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Trunajaya Bontang.^{1,2)}
Jl.Taekwondo RT.9 No. 55 Telp./Fax. (0548) 3035920 Bontang-Kaltim 75311

Email: hendrapoeswanto@gmail.com

Abstrak

PT. PLN (Persero) Area Bontang tengah berupaya melakukan penggantian jenis bahan bakar pada *engine* diesel merk MaK yang semula menggunakan *High Speed Diesel* (HSD) menjadi *Marine Fuel Oil* (MFO). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui proses *treatment* bahan bakar MFO untuk menurunkan *viscositas* dan penyeragaman ukuran partikel bahan bakar pada *engine* diesel merk MaK dan mengetahui perbandingan biaya penghematan dan efisiensi pemakaian bahan bakar HSD dengan bahan bakar MFO. Metode yang digunakan analisa perpindahan panas pada *oil heater* dan *viskositas* bahan bakar yang digunakan untuk menentukan proses *treatment* bahan bakar MFO. Dari hasil perencanaan, proses *treatment* menggunakan *oli heater* dimana proses pemanasan oli dengan memanfaatkan panas dari gas buang hasil pembakaran. Dengan penggunaan bahan bakar MFO dapat menghemat biaya konsumsi bahan bakar sebesar Rp. 21.827.520,- per harinya.

Kata Kunci : *Engine diesel, HSD, MFO, Treatment, Oil heater*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan secara menyeluruh suatu daerah. Di Kota Bontang, dengan semakin meningkatnya kegiatan industri dan jumlah penduduknya, maka kebutuhan energi listrik juga mengalami peningkatan.

PT. PLN (Persero) Area Bontang adalah salah satu perusahaan listrik yang ada di Kota Bontang. PT. PLN (Persero) Area Bontang menggunakan *engine* diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Dimana salah satu *engine* diesel yang digunakan adalah MaK Maschinenbau GmbH type 8M 453 B yang dapat memproduksi listrik 2544 kW dengan menggunakan bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD) atau disebut dengan minyak solar.

Dengan adanya kenaikan harga bahan bakar maka proses produksi listrik PT. PLN

(Persero) Area Bontang tengah berupaya melakukan penggantian jenis bahan bakar pada *engine* diesel merk MaK yang semula menggunakan *High Speed Diesel* (HSD) menjadi *Marine Fuel Oil* (MFO).

Bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) adalah Minyak Bakar bukan merupakan produk hasil destilasi, tapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel. Sehingga pemanfaatan MFO sebagai bahan bakar tidak dapat diaplikasikan secara langsung, akan tetapi harus melalui proses *treatment* yang bertujuan untuk menurunkan *viscositas* atau kekentalan dan penyeragaman ukuran partikel bahan bakar (untuk menghindari sumbatan pada *nozzle*).

Berdasarkan penjelasan yang ada diatas, maka perlunya dilakukan perencanaan ini guna memperoleh hasil kerja maksimal pada *engine* diesel merk MaK berbahan bakar MFO.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah proses *treatment* bahan bakar MFO untuk menurunkan *viscositas* atau kekentalan dan penyeragaman ukuran partikel bahan bakar pada *engine* diesel merk MaK?
2. Berapakah perbandingan biaya penghematan dan efisiensi pemakaian bahan bakar HSD dengan bahan bakar MFO sebagai bahan bakar utama *engine* diesel merk MaK?

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator.

Prinsip Kerja PLTD

1. Di dalam mesin diesel terjadi penyalaan sendiri, karena proses kerjanya berdasarkan udara murni yang dimanfaatkan di dalam silinder pada tekanan yang tinggi (35 - 50 atm), sehingga temperatur di dalam silinder naik. Dan pada saat itu bahan bakar disemprotkan dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi melebihi titik nyala bahan bakar sehingga akan menyala secara otomatis yang menimbulkan ledakan bahan bakar.
2. Ledakan pada ruang bakar tersebut menggerak piston yang kemudian pada poros engkol dirubah menjadi energi mekanis. Tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan mendorong

piston yang dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang piston, sehingga piston dapat bergerak bolak-balik.

Gerak bolak-balik piston akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol. Dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol juga diubah menjadi gerak bolak-balik piston pada langkah kompresi.

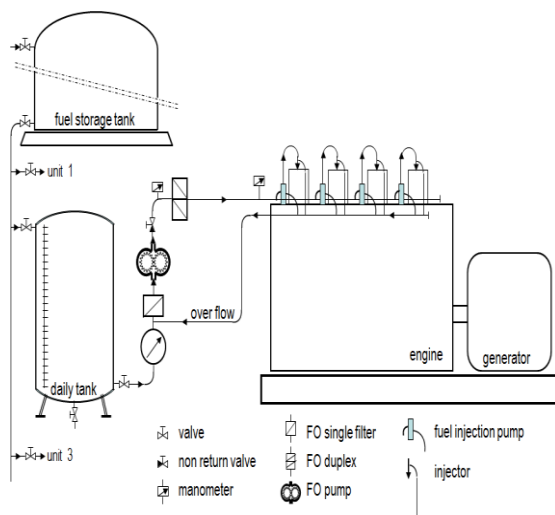
3. Poros engkol mesin diesel digunakan untuk menggerakkan poros rotor generator. Pada generator energi mekanis ini dirubah menjadi energi listrik sehingga terjadi gaya gerak listrik.
4. Tegangan yang dihasilkan generator dinaikan tegangannya menggunakan *trafo step up* agar energi listrik yang dihasilkan sampai ke beban.
5. Menggunakan saluran transmisi energi listrik disalurkan ke beban. Di sisi beban tegangan listrik diturunkan kembali menggunakan *trafo step down*.

Sistem Bahan Bakar

Bahan bakar minyak diperlukan sebagai sumber energi bagi mesin diesel. Untuk penyalurannya sampai pada ruang bakar dengan suatu kondisi tertentu diperlukan suatu sistem bahan bakar.

Fungsi system bahan bakar :

1. Mengatomkan atau mengabutkan bahan bakar agar mudah bercampur merata dengan udara sehingga mudah terbakar.
2. Mengatur jumlah bahan bakar yang sama pada setiap pemasukan disetiap silinder pada setiap kebutuhan sehingga tenaga (*power*) setiap silinder adalah sama.
3. Mengatur saat mulai penyemprotan dan lamanya penyemprotan.



Gambar 1. Prinsip aliran sistem bahan bakar

Jenis Bahan Bakar

Bahan bakar adalah zat yang dapat dibakar dengan cepat bersama udara (oksigen) dan akan menghasilkan panas. Proses terjadinya api (pembakaran) dikenal dengan nama segitiga api, yaitu unsur bahan bakar, unsur udara (oksigen) dan energi panas. Bila ketiga unsur ini bertemu dan mencapai konsentrasi yang tepat, maka akan terjadi proses pembakaran.

Jenis-jenis bahan bakar yang digunakan pada *engine* MaK Maschinenbau GmbH type 8M 453 B di PT. PLN (Persero) Area Bontang adalah *High Speed Diesel* (HSD). Dengan adanya kenaikan harga bahan bakar maka *engine* MaK berencana menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) sebagai bahan bakar.

1. High Speed Diesel (HSD)

High Speed Diesel (HSD) merupakan jenis solar yang memiliki angka performa cetane number 45, bahan bakar ini umumnya digunakan untuk mesin diesel yang umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*) dan *electronic injection*.

HSD mengalir dari *fuel storage tank* menuju *daily tank* (tangki harian) dengan menggunakan *booster pump*. Namun sebelum masuk menuju *booster pump*

terlebih dahulu disaring oleh *single filter* melewati *flowmeter*.

Bahan bakar HSD dimasukkan ke mesin dengan *fuel injection pump* dan *injektor*. Bahan bakar HSD di pompakan menggunakan *injection pump* dengan tekanan tinggi ke *injektor*, kemudian *injektor* mengubah bahan bakar menjadi kabut ke silinder sesuai dengan urutan waktu penyalaan atau pembakaran (*firing order*).

2. Marine Fuel Oil (MFO)

Marine Fuel Oil (MFO) adalah produk penyulingan minyak bumi, dimana dihasilkan setelah residu dan sebelum aspal. Yaitu minyak bakar yang bukan merupakan produk hasil destilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel. Pemakaian minyak bakar ini umumnya untuk pembakaran langsung pada industri besar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk *steam power station*. Selain itu bahan bakar MFO juga dipakai sebagian besar untuk bahan bakar mesin kapal. Dilihat dari segi ekonomi penggunaan minyak bakar ini dinilai lebih murah.

Alur sistem treatment MFO

1. Storage Tank

Tempat penimbunan cadangan bahan bakar, pengendapan lumpur, kotoran padat dan kandungan air jenuh. Dimana temperatur MFO dijaga 60 – 80 °C untuk mempermudah proses pemompaan.

2. Settling Tank

Tempat penyimpanan sementara MFO siap disaring dan menurunkan kandungan air lebih. Dimana temperatur pemanas dijaga 90 – 100 °C untuk menjaga panas MFO pada 80 – 90 °C agar tidak terjadi penggumpalan partikel MFO menjadi aspal.

3. Sparator

Tempat pemisahan air dan partikel MFO berdasar berat jenis. Dimana pemanas

MFO pada 80 – 100 °C (Alarm sparator akan bekerja pada temperatur > 100 °C).

4. Daily Tank

Penyimpan sementara MFO siap dipergunakan untuk mesin diesel. Dimana temperatur MFO dijaga pada 90 °C.

5. Booster Module

Menetapkan viscositas dan temperatur MFO sebelum masuk sistem bahan bakar mesin diesel.

6. Change Over

Pengubahan saluran bahan bakar menuju mesin diesel dengan pilihan Solar atau HSD dan MFO (untuk start up, mesin diesel memerlukan bahan bakar Solar atau HSD)

7. Over Flow Tank

Penampungan bahan bakar berlebih dari mesin diesel

8. Sludge Tank

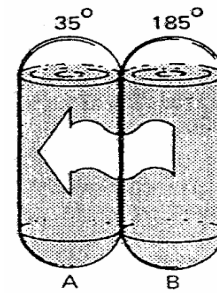
Penampungan sludge atau MFO dengan partikel besar dan air dari sparator

Perpindahan Panas Pada Proses Treatment

Proses treatment MFO adalah proses penurunan viscositas dan proses penyeragaman ukuran partikel bahan bakar (untuk menghindari sumbatan pada *nozzle*). Cara perpindahan panas pada proses treatment MFO yaitu secara konduksi dan konveksi.

Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap.

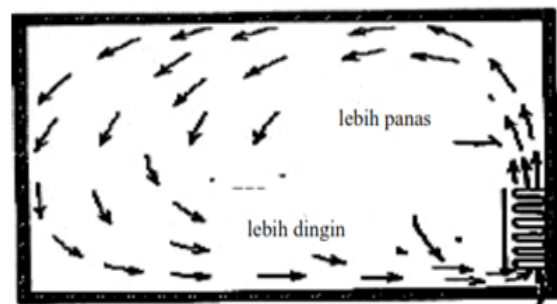
Perpindahan panas konduksi ini terjadi pada system perpipaan pada aliran treatment bahan bakar MFO. Perpindahan secara konduksi dapat dilihat pada gambar 2. dimana perpindahan yang diakibatkan perbedaan suhu.



Gambar 2. Perpindahan panas secara konduksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitar, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan atau gas).

Perpindahan panas konveksi ini terjadi pada system perpindahan panas pada tangki bahan bakar MFO. Perpindahan secara konveksi dapat dilihat pada gambar



Gambar 3. Perpindahan panas secara konveksi

Konsumsi Bahan Bakar

Besar pemakaian bahan bakar *specific* (SFC) ditentukan dalam g/PSH atau g/kWh dan umum digunakan dari pada kg/kWh. Besar nilai SFC adalah kebalikan dari pada η_{br} . Penggunaan bahan bakar dalam gram / jam Ne dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$SFC = \frac{m_f}{P} (kg/kWh)$$

Dimana :

SFC = konsumsi bahan bakar sfesifik (kg/kWh)

P = daya mesin (kW)

m_f = penggunaan bahan bakar per jam pada kondisi tertentu

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Mei 2014 sampai dengan Desember 2014. Tempat dilaksanakannya penelitian ini bertempat PT. PLN (Persero) Area Bontang.

Jenis dan Sumber Data

Berdasarkan sumbernya, data penelitian ini dapat dikelompokkan dalam dua jenis yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan secara langsung dari sumber data dalam penelitian. Dimana data primer yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

Mesin Induk

Merk : MaK Maschinenbau GmbH
Tipe : 8M 453 B
Daya : 2544 kW
Jlh. Silinder : 8
Diameter : 320 mm
Panjang Lang. : 420 mm
Putaran Mesin : 600 rpm
SFC : 0.275 liter/kWh

Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan dari berbagai sumber data yang telah ada. Pada penelitian ini data sekunder yang diperoleh adalah karakteristik bahan bakar HSD dan MFO.

I. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan

1. Volume langkah dan volume ruang bakar

$$V_1 = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$V_1 = \frac{\pi}{4} \times 0,32^2 \times 0,42$$

$$V_1 = 33,78 \text{ liter}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{r}$$

r adalah perbandingan kompresi
 $= (18)$

$$V_2 = \frac{V_1}{r}$$

$$V_2 = \frac{33,78}{18}$$

$$V_2 = 1,877 \text{ liter} = 1877 \text{ cc}$$

2. Temperatur tiap proses

$$T_2 = 700^\circ\text{C} = 973.15 \text{ K}$$

$$T_1 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} \quad k = 1.4$$

$$T_1 = 973.15 \left(\frac{1}{18} \right)^{1,4-1}$$

$$T_1 = 306.25 \text{ K}$$

$$T_3 = T_2 \left(\frac{V_3}{V_2} \right)$$

Dimana : $\frac{V_3}{V_2} = r_c$ adalah rasio cutoff,

$$r_c = 2$$

$$T_3 = T_2 \times r_c$$

$$T_3 = 973.15 \times 2$$

$$T_3 = 1946.3 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{r_c}{r} \right)^{k-1}$$

$$T_4 = 1946.3 \left(\frac{2}{18} \right)^{1,4-1}$$

$$T_4 = 808.19 \text{ K}$$

Data yang diperoleh :

$$T_1 = 306.25 \text{ K} = 33.1^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 973.15 \text{ K} = 700^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 1946.3 \text{ K} = 1673.15^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 808.19 \text{ K} = 535.04^\circ\text{C}$$

3. Kalor Masuk dan Kalor Keluar

$$c_v = 0.7175 \text{ kJ/kg}$$

$$c_p = 1.0045 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{in} = c_p (T_3 - T_2)$$

$$q_{in} = 1.004 \times (1946.3 - 700)$$

$$q_{in} = 1251.285 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{out} = c_v (T_4 - T_1)$$

$$q_{out} = 0.7175 \times (808.19 - 306.25)$$

$$q_{out} = 360.142 \text{ kJ/kg}$$

Jadi, kalor masuk 1251.285 kJ/kg dan kalor keluar 360.142 kJ/kg

Proses Teratment Bahan Bakar MFO

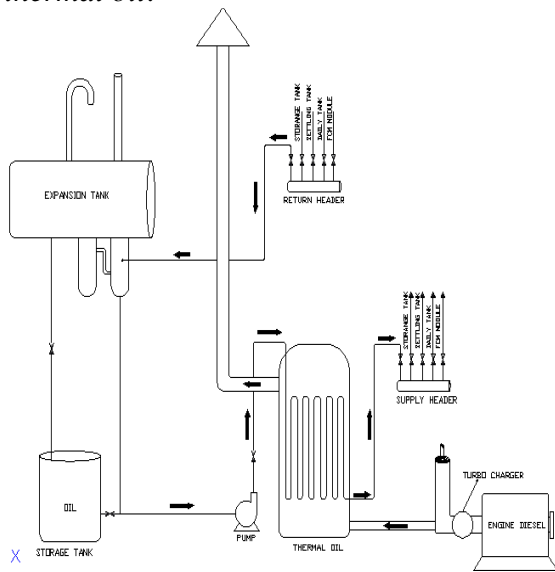
Dalam perencanaan ini proses teratment bahan bakar MFO untuk menurunkan *viscositas* dari bahan bakar

MFO menggunakan *Oil Heater* (pembangkit panas dengan menggunakan oli sebagai media pemanas). Dimana proses pemanasan oli dengan memanfaatkan panas dari sisa hasil pembakaran mesin atau gas buang.

Temperatur gas buang yang dibutuhkan untuk memanaskan *oil heater* sekitar 300 °C. Dari data hasil perhitungan didapat temperatur gas buang adalah 535.04 °C. Sehingga dalam hal ini pemanfaatan temperatur gas buang dapat diaplikasikan sebagai pemanas *oil heater*.

1. Proses Pemanasan Oli

Proses pemanasan oli ini dengan menggunakan pemanfaatan panas dari sisa hasil pembakaran mesin atau gas buang. Oli yang ada pada *storage tank* akan dipompa untuk bersirkulasi menuju *thermal oil*. Dimana gas buang dari hasil pembakaran akan ditransfer menuju *thermal tank* untuk memanaskan oli yang bersirkulasi dalam *thermal oil*.



Gambar 4, Proses Pemanasan Oli

Jenis oli yang digunakan adalah Shell Thermal Oil B dengan berat jenis 850 kg/m³ dan koefisien panas 1.954 kJ/kg.K pada temperature 40°C.

Kapasitas panas total yang dibutuhkan pada proses pemanasan oli:

$$Q = m \times C_p \times (T_{M2} - T_{M1})$$

Dimana:

m = Massa Oli dalam thermal oil (500 kg)

C_p = Koefisien panas

T_{M1} = Temperatur Oli dalam tangki (40 °C)

T_{M2} = Temperatur Oli yang dibutuhkan (150 °C)

Kapasitas panas

$$Q = m \times C_p \times (T_{M2} - T_{M1})$$

$$Q = 500 \times 1.954 \times (423.15 - 313.15)$$

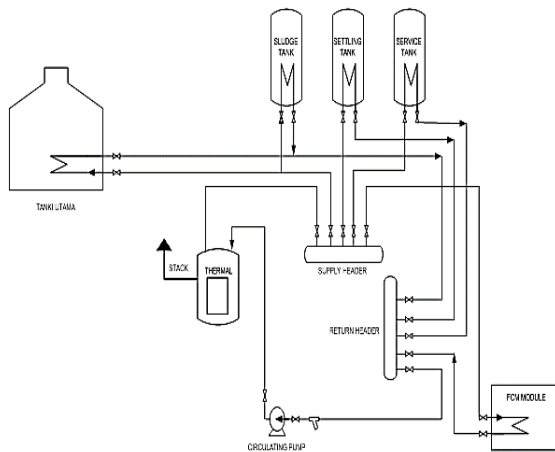
$$Q = 107470 \text{ kj}$$

Data yang diperoleh dari mesin, panas yang keluar adalah 306.142 kJ/kg sedangkan untuk memanaskan oli sebanyak 500 kg adalah 107.470 kg. sehingga panas gas buang pada mesin dapat diterima.

2. Proses Treatmen MFO

Proses treatmen MFO dengan *Oil Heater* (pembangkit panas dengan menggunakan oli sebagai media pemanas). Oli panas yang berada pada *thermal tank* akan ditransfer menuju *supply header*. Dimana temperatur oli pemanas yang keluar dari *thermal tank* diatur pada 150 °C. Pada *supply header* transfer oli panas akan diatur sesuai dengan kebutuhan tiap tangki.

Pada *storage tank* atau tangki utama oli panas ditransfer pada temperatur 90 – 105 °C, hal ini berfungsi untuk mempermudah proses dari pemompaan bahan bakar MFO menuju *settling tank*. Pada *settling tank* oli panas ditransfer pada temperatur 90 – 100 °C agar tidak terjadi penggumpalan partikel MFO menjadi aspal. Pada *daily tank* oli panas ditransfer pada temperatur 90 – 100 °C untuk menjaga temperatur MFO pada 90 °C. MFO yang ada pada *daily tank* adalah MFO yang siap dipergunakan untuk bahan bakar pada mesin diesel.



Gambar 5. Proses Treatment MFO

3. Aliran Bahan Bakar MFO

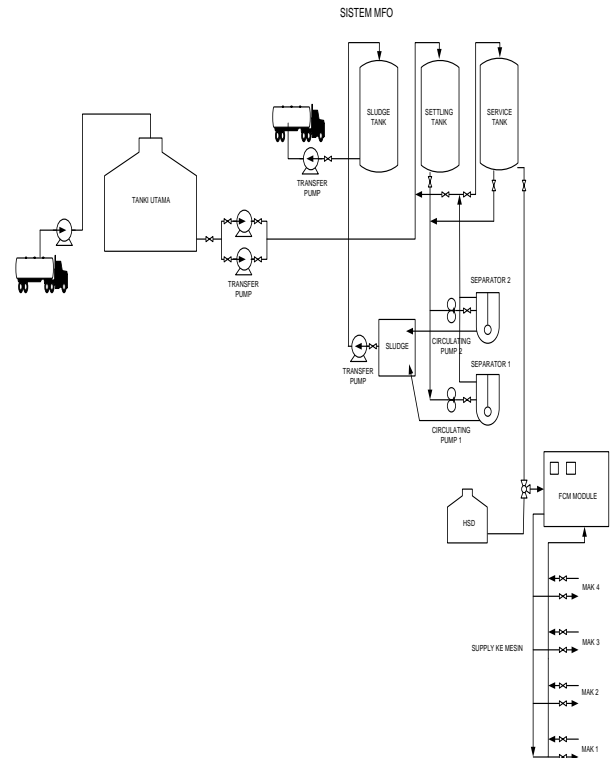
Tanki utama atau *storage tank* adalah tempat penimbunan cadangan bahan bakar, dimana kapasitas bahan bakar yang dapat disimpan sebanyak 600 Ton bahan bakar MFO.

Bahan bakar MFO yang terdapat pada Storage Tank akan dipompa menuju *Settling Tank*. *Settling tank* memiliki kapasitas bahan bakar 20 Ton. Pada *settling tank* bahan bakar MFO siap disaring dan diturunkan kandungan air yang berlebih.

Bahan bakar yang terdapat pada *Settling tank* akan dipompa menuju *Sparator* untuk proses pemisahan kandungan air yang terdapat pada bahan bakar MFO.

Bahan bakar MFO yang siap pakai akan ditampung pada *Daily Tank* dan limbah dari bahan bakar MFO akan ditampung pada *Sludge Tank*. *Daily tank* memiliki kapasitas yang sama dengan *settling tank* yaitu 20 Ton. Bahan bakar yang siap pakai akan dialirkan menuju *booster module* atau *FCM module* untuk menetapkan *viscositas* dan temperatur MFO sebelum masuk mesin.

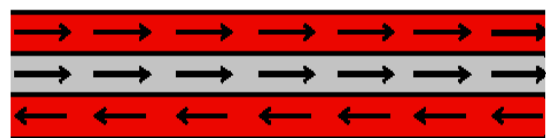
Pada saluran masuk mesin terdapat *change over* sebagai saluran bahan bakar menuju mesin diesel dengan pilihan HSD dan MFO. *Change over* berperan penting dalam mengatur konsumsi bahan bakar yang akan digunakan. *Change over* diperlukan karena untuk *start up* mesin diesel memerlukan bahan bakar HSD.



Gambar 6. Aliran Bahan Bakar MFO

4. Sistem perpipaan pada aliran bahan bakar MFO

Seluruh sistem perpipaan dilengkapi *heater* yang menempel sepanjang jalur aliran bahan bakar MFO. Hal ini untuk menghindari penggumpalan MFO dalam pipa.



Gambar 7. Aliran bahan bakar MFO dalam pipa

Keterangan :

: Saluran kembalinya oli panas menuju *thermal oil*, dimana oli akan dipanaskan kembali.

: Saluran bahan bakar MFO

: Saluran oli panas

Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan data mesin diesel merk MaK Maschinenbau GmbH type 8M 453 B dimana diperoleh SFC 0.275 liter/kWh maka kebutuhan bahan bakar selama 24 jam adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 FC &= SFC \times \text{Daya mesin} \\
 &= 0.275 \times 2544 \\
 &= 699.6 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan bahan bakar selama 24 jam adalah :

$$\begin{aligned}
 FC &= 699.6 \times 24 \\
 FC &= 16790.4 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Perbandingan Biaya Konsumsi Bahan Bakar HSD dan MFO

Untuk mengetahui perbandingan biaya konsumsi dapat kita lihat dari harga beli bahan bakar. Dimana harga bahan bakar HSD dan MFO untuk industri sebagai berikut :

Harga bahan bakar HSD = Rp. 10.100,- per liter

Harga bahan bakar MFO = Rp. 8.800,- per liter

Perhitungan perbandingan biaya konsumsi bahan bakar selama 24 jam kerja dalam bentuk Rupiah :

$$\begin{aligned}
 \text{HSD} &= 16790.4 \times 10100 \\
 &= \text{Rp. } 169.583.040,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MFO} &= 16790.4 \times 8800 \\
 &= \text{Rp. } 147.755.520,-
 \end{aligned}$$

Sehingga penghematan biaya bahan bakar :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Biaya}} &= \text{HSD} - \text{MFO} \\
 P_{\text{Biaya}} &= \text{Rp. } 169.583.040 \\
 &\quad - \text{Rp. } 147.755.520
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{Biaya}} = \text{Rp. } 21.827.520,-$$

Dengan data yang diperoleh, maka penggunaan bahan bakar MFO dapat menghemat sebesar Rp. 21.827.520,- per harinya.

KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan pemanfaatan *Marine Fuel Oil* (MFO) sebagai bahan bakar *engine* diesel MaK maka didapatkan data sebagai berikut :

1. Proses treatment bahan bakar untuk menurunkan *viscositas* dari bahan bakar MFO menggunakan *Oil Heater*. Dimana proses pemanasan oli dengan

memanfaatkan panas dari sisa hasil pembakaran mesin atau gas buang.

2. Perbandingan penghematan bahan bakar yang dihasilkan antara bahan bakar HSD dengan bahan bakar MFO. Dimana dengan penggunaan bahan bakar MFO dapat menghemat biaya konsumsi bahan bakar sebesar Rp. 21.827.520,- per harinya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cengel, Yunus A. 2011. HEAT TRANSFER A Practical Approach. Second Edition.
2. Holman, J. P. 2010. HEAT TRANSFER. Tenth Edition. Mc Graw-Hill
3. L. Streeter Victor, E. Benjamin Wylie. 1999. MEKANIKA FLUIDA. Edisi Delapan Jilid 1. Erlangga. Jakarta.
4. Moran, Michael J., 2011. "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", John Wiley & Sons, Inc,
5. M. White Frank. 1994. Mekanika Fluida. Edisi Kedua Jilid 1. ERLANGGA. Jakarta.
6. Sonntag, Borgnakke, Van Wylen. 2009. FUNDAMENTALS of Thermodynamics. Sixth Edition.
7. V. L. Maleev. 1945. INTERNAL-COMBUSTION ENGINES. International student edition. McGraw-Hill Kogakusha.