

ANALISIS EFISIENSI PEMAKAIAN BAHAN BAKAR TERHADAP RASIO PEMBEBANAN GENERATOR CATERPILLAR 3512-G121

Noviadi A. Rahman¹, Adi Aman²

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

Abstrak

Penelitian ini mengkaji tentang efisiensi generator pada genset Caterpillar 3512 G121 di FSO Ladinda PT EMP – Malacca Strait. Generator ini mempunyai kapasitas 1000 kVA/800 kW, 440 Volt, 60 Hz dan 1800 rpm. Penelitian menggunakan metode kausal komparatif yaitu membandingkan daya generator dengan daya mesin diesel dan membandingkan konsumsi bahan bakar terhadap daya generator. Analisa data dilakukan dengan cara pengumpulan data, perhitungan daya mesin diesel, daya generator, efisiensi generator dan konsumsi bahan bakar spesifik / Specific Fuel Consumption (SFC). Dari hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa beban rata-rata genset tersebut adalah 270,54 kW dengan efisiensi generator 51,05% dan SFC 0,347 liter/kWh. Setelah dilakukan penambahan beban dari TB Dias Raya III, maka efisiensi generator mengalami peningkatan menjadi 54,29%, dan SFC menurun menjadi 0,311 liter/kWh. Pada kondisi beban puncak, daya generator 378,75 kW mempunyai efisiensi 60.60% dan SFC 0,28 liter/kWh. Efisiensi ini sangat rendah, oleh karena itu, disarankan untuk mengganti genset yang memiliki kapasitas lebih kecil seperti Caterpillar 3508 dengan kapasitas 531 kVA/425 kW.

Kata Kunci : Caterpillar 3512 G121, efisiensi generator, daya generator, konsumsi bahan bakar spesifik.

Abstract

This research study the generator efficiency of Caterpillar 3512 G121 in FSO Ladinda of PT EMP – Malacca Strait. This generator has a capacity of 1000 kVA / 800 kW, 440 volts, 60 Hz and 1800 rpm. The research use a causal-comparative method, which compares generator power with diesel engine power and compares fuel consumption to generator power. Data analysis was done by collecting data, calculating diesel engine power, generator power, generator efficiency and specific fuel consumption (SFC). From the results of research, it can be seen that the average load of the generator is 270.54 kW with generator efficiency of 51.05% and SFC of 0.347 liters/kWh. After adding the load from TB Dias Raya III, the generator efficiency increase to 54.29%, and SFC decrease to 0.311 liters kWh. At peak load conditions, the generator power of 378.75 kW has an efficiency of 60.60% and SFC 0.28 liters kWh. This efficiency is very low, therefore, it is recommended to replace the generator that has a smaller capacity such as Caterpillar 3508 with a capacity of 531 kVA / 425 kW.

Keywords: *Caterpillar 3512 G121, generator efficiency, generator power, specific fuel consumption.*

1. PENDAHULUAN

Kapal Tanker “Ladinda” dioperasikan sebagai tempat penyimpanan minyak mentah (Crude Oil). Dalam industri minyak dan gas, kapal tanker yang berfungsi sebagai penyimpan minyak di lepas pantai disebut FSO (Floating, Storage and Offloading). Kapal tanker “Ladinda” merupakan FSO pada PT Energi Mega Persada blok operasi Malacca Strait yang terletak di selat Lalang kepulauan Riau. Kapal tanker ini membutuhkan energi listrik untuk menunjang operasional dan penerangan di kapal tersebut.

Pada awalnya, pembangkit listrik utama di FSO Ladinda adalah turbin uap dengan bahan bakar minyak mentah. Karena pada waktu itu produksi minyak sangat besar, sering ada aktifitas lifting minyak mentah (hampir seminggu sekali) dan memerlukan daya listrik yang besar untuk menunjang operasional sehingga penggunaan turbin uap sangat tepat.

Caterpillar 3512 G121 dijalankan apabila diperlukan daya tambahan untuk mendukung daya utama (generator dari genset Caterpillar diparalel dengan generator dari turbin uap untuk menghasilkan daya yang lebih besar) dan juga apabila terjadi keadaan darurat yaitu ketika ada masalah dengan turbin uap.

Seiring berjalannya waktu, turbin uap tidak bisa diaktifkan karena meledak pada tahun 2004, disamping itu produksi minyak menurun dan jarang ada aktifitas lifting, banyak sistem yang dinon aktifkan. Maka sejak saat itu, pembangkit listrik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya utama di FSO Ladinda adalah Caterpillar 3512, Caterpillar 3508 dan MaK yang dioperasikan secara bergantian.

Kemudian tahun 2010 Caterpillar 3508 ditukar dengan Cummin. Genset Cummin pada tahun 2013 diganti dengan Caterpillar 3512 G386. Pada tahun itu juga genset MaK sudah tidak dioperasikan lagi.

Saat ini untuk memenuhi kebutuhan listrik, FSO “Ladinda” dilengkapi dengan dua genset sebagai pembangkit listrik utama yaitu Caterpillar 3512 G121 tipe Marine, Caterpillar 3512 G386 tipe industri dan satu genset darurat. Maka untuk mensuplai daya listrik di FSO Ladinda yaitu menggunakan Caterpillar 3512 G386 dan Caterpillar 3512 G121 secara bergantian.

Caterpillar 3512 G121 beroperasi pada beban harian rata-rata 270 kW atau 33,75% dari kapasitas Generator. Beban ini terlalu kecil karena idealnya pembebanan disesuaikan dengan kapasitas generatornya agar beban tidak terlalu rendah atau berlebih (overload)

Hanya sesekali generator dibebani hingga 380 kW dan ini adalah beban puncak pemakaian energi listrik di FSO Ladinda yaitu pada saat terjadi aktifitas muatan minyak mentah (Crude Oil) dari FSO Ladinda ke kapal tanker yang lain dimana semua peralatan pendukung untuk aktifitas ini (Lifting Equipment) dijalankan seperti boiler, IGS (Inert Gas System), Pompa-pompa, kompresor dan lain-lain. Beban itupun belum sampai 50% dari kapasitas generator

Apabila generator bekerja dengan daya yang terlalu rendah dari kapasitas generator, maka daya yang perlukan untuk menggerakkan generator kemungkinan sebagian besar dayanya habis untuk mengatasi rugi-rugi. Sehingga kemungkinan hanya sedikit daya yang bisa dimanfaatkan dan berakibat terjadi pemborosan terhadap pemakaian bahan bakar.

Berdasarkan uraian diatas, penulis perlu melakukan penelitian yang memfokuskan pada perhitungan efisiensi bahan bakar terhadap beban generator. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan melihat pemakaian beban generator sinkron tiga fasa serta efisiensinya.

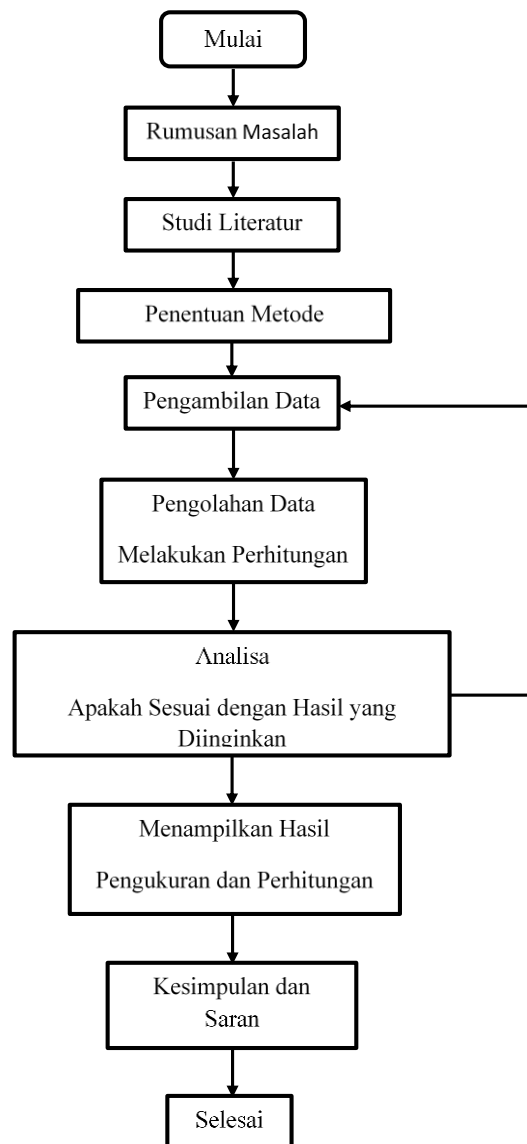
2. METODE PENELITIAN

2.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian merupakan cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data dengan tujuan tertentu yang dilaksanakan secara teratur, terencana dan sistematis serta mengikuti kaidah-kaidah ilmiah. Dalam hal ini, penulis menggunakan metode kausal komparatif yaitu untuk mengamati efisiensi generator dengan membandingkan daya generator tersebut dengan daya mesin diesel. Juga mengamati konsumsi bahan bakar spesifik / sfc dan membandingkan nilai sfc pada rasio pembebanan generator yang berbeda pada genset caterpillar 3512 G121.

Teknik ini digunakan untuk mengumpulkan data dengan mencatat data yang ada pada Caterpillar 3512 G121. Data ini bisa didapatkan pada name plate yang terpasang pada mesin maupun pada buku panduan (manual book) yang ada di FSO Ladinda.

Pengolahan data adalah cara dalam mengolah data, dimana data-data yang didapat, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumusan dan dasar-dasar teori pada kajian pustaka. Adapun tahapan-tahapan dalam pengolahan data digambarkan dalam bentuk diagram alir di bawah ini:



Gambar 2.1. Diagram Alur Penelitian

2.2 Sample Data Kebutuhan Daya Listrik di FSO Ladinda

Data diambil dari data tanggal 5 Mei 2018:



Gambar 2.2 Parameter generator (Amperemeter, Voltmeter, Cos phi meter)

Tabel 2-1 Data Caterpillar 3512 G121

Parameter	Data	Satuan
n	1800	rpm
Frekuensi	60	Hz
I	500	A
V	440	Volt
Cos φ	0,71	
Air intake	68	°C
Exhaust	349,58	°C
Konsumsi Bahan bakar	94	liter/jam

2.3 Teknik Analisis Data

Dari data tersebut di atas, penulis melakukan analisa data yaitu dengan melakukan perhitungan data hasil penelitian dengan menggunakan persamaan matematis berdasarkan teori yang telah dijelaskan di bab dua. Adapun perhitungan data hasil penelitian pada genset Caterpillar 3512 G121 adalah sebagai berikut :

Menghitung volume kompresi (V_c) dan volume ruang bakar (V_a) :

Volume kompresi :

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_d}{V_c}$$

$$V_c = \frac{0,0518}{12} = 0,0043 \text{ m}^3$$

Volume ruang bakar (V_a) :

$$V_a = V_d + V_c = 0,0561 \text{ m}^3$$

Perhitungan siklus diesel: Langkah isap (Proses 0 – 1)

$$T_1 = 68 \text{ }^\circ\text{C} = 341,15 \text{ K}$$

T_1 adalah temperatur udara yang masuk melalui turbocharge dan intercooler. Udara uhar yang diisap turbocharge akan mengalami kompresi sehingga tekanan dan temperatur udara tersebut mengalami peningkatan. Untuk menjaga agar temperatur udara masuk tidak berlebih (*overheat*) maka udara tersebut didinginkan ketika melewati intercooler.

$$V_1 = 0,0561 \text{ m}^3$$

V_1 adalah volume ruang bakar total yang terdiri dari volume langkah torak dan

volume kompresi. P_1 adalah tekanan udara masuk (air intake) yang diambil dari udara sekitar dan tekanannya diasumsikan tekanan udara bebas yaitu sebesar 1 atm di atas permukaan laut.

$$T_1 = T_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow P_1 = \sqrt[k]{\left(\frac{T_1}{T_0} \right) P_0^{\frac{k-1}{k}}}$$

$$= 158617 \text{ Pa}$$

P_0 adalah tekanan udara luar dan diasumsikan tekanannya sebesar 1 atm = 101325 Pa. T_0 adalah temperatur udara luar sebelum masuk ke turbocharge dan diasumsikan sebesar 27 °C.

Untuk mengetahui banyaknya udara yang diperlukan untuk satu kali siklus diesel, dapat dihitung ngan menggunakan persamaan gas ideal:

$$mRT_1 = P_1 V_1 \rightarrow m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= 0,0909 \text{ kg}$$

Langkah kompresi (Proses 1 – 2)

$$V_2 = \frac{V_1}{r} = \frac{0,0561}{13}$$

$$= 0,0043 \text{ m}^3$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = 341,15 \left(\frac{0,0561}{0,0043} \right)^{1,4-1}$$

$$= 953,22 \text{ K}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = 158617 \left(\frac{0,0561}{0,0043} \right)^{1,4}$$

$$= 5783944 \text{ Pa}$$

Langkah pembakaran (proses 2 – 3)

$$P_3 = P_2 = 5783944 \text{ Pa}$$

$$P_3 V_3^k = P_4 V_4^k \rightarrow V_3^k = \frac{P_4 V_4^k}{P_3}$$

$$V_3 = \frac{289538(0,0561)^{1,4}}{5783944} = 8,872 \times 10^{-4}$$

$$= 0,0066 \text{ m}^3$$

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

$$T_3 = 953,22 \left(\frac{0,0066}{0,0043} \right)$$

$$= 1465,13 \text{ K}$$

Langkah ekspansi (proses 3 – 4)

$$T_4 = 349,58 = 622,73 \text{ K}$$

$$V_4 = V_1 = 0,0561 \text{ m}^3$$

Untuk mencari nilai P_4 menggunakan persamaan gas ideal :

$$mRT_4 = P_4V_4 \rightarrow P_4 = \frac{mRT_4}{V_4}$$
$$P_4 = \frac{0,0909 \cdot 287 \cdot 622,73}{0,0561}$$
$$= 289538 \text{ Pa}$$

Menghitung Q_{in} , Q_{out} dan W :

Q_{in} merupakan energi panas yang masuk dalam sebuah siklus:

$$Q_{in} = mc_p(T_3 - T_2) = 46770,66 \text{ Joule}$$

Q_{out} energi panas yang keluar dan merupakan gas buang sisa hasil pembakaran:

$$Q_{out} = mc_v(T_4 - T_1) = 14758,73 \text{ Joule}$$

W adalah energi yang digunakan untuk kerja siklus :

$$W = Q_{in} - Q_{out} = 32011,92 \text{ Joule}$$

Menghitung tekanan efektif rata-rata :

$$MEP(Pe) = \frac{W}{(V_{max} - V_{min})}$$
$$= 617791,61 \text{ Pa}$$

Menghitung daya yang dihasilkan oleh mesin diesel :

$$P_{engine} = \frac{P_e \cdot z \cdot V_d \cdot n}{600 \cdot a}$$
$$P_{engine} = \frac{617791,61 \cdot 12 \cdot 0,0518 \cdot 1800}{600 \cdot 2}$$
$$= 576,03 \text{ kW}$$

Rugi-rugi gesek dan aksesoris (5% dari P_{engine}) :

$$P_{aks} = P_{engine} \times 5\% = 28,8 \text{ kW}$$

Rugi-rugi di flywheel, 3% dari P_{engine} (Datasheet Caterpillar 3512) :

$$P_{fw} = P_{engine} \times 3\% = 17,28 \text{ kW}$$

Daya mekanik (daya poros) mesin diesel :

$$P_m = P_{engine} - (P_{aks} + P_{fw}) = 529,95 \text{ kW}$$

Menghitung daya generator :

$$P_{gen} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi = 270,54 \text{ kW}$$

Menghitung rugi-rugi generator :

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} = 259,41 \text{ kW}$$

Rugi-rugi tembaga (*copper losses*)

Stator

$$P_{SCL} = 3 \cdot I_a^2 \cdot R_a$$

$$P_{SCL} = 4,2 \text{ kW}$$

Rotor

$$P_{RCL} = I_f^2 \cdot R_f$$

$$P_{RCL} = 0,315 \text{ kW}$$

Rugi-rugi sasar/lain (*Stray losses*)

Karena generator sinkron G121 memiliki rating daya antara 376 – 1850 kW, persentase rugi-rugi sasar dihitung 1,2% dari kapasitas beban penuh atau maksimal dari generator:

$$P_{SL} = P_{max} \times 1,2\% = 9,6 \text{ kW}$$

Rugi-rugi mekanik dan inti besi:

$$P_{loss} = P_{cu\ loss} + P_{co\ loss} + P_{mech\ loss} + P_{stray\ loss}$$
$$= 245,29 \text{ kW}$$

Menghitung efisiensi generator :

$$\eta_{gen} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \rightarrow \eta_{gen} = \frac{P_{gen}}{P_{engine}} \times 100\%$$
$$= 51,05 \%$$

Menghitung konsumsi bahan bakar per kWh

$$sfc = \frac{F_{DO}}{P_{gen}} = \frac{94}{270,54}$$
$$= 0,347 \text{ ltr/kWh}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

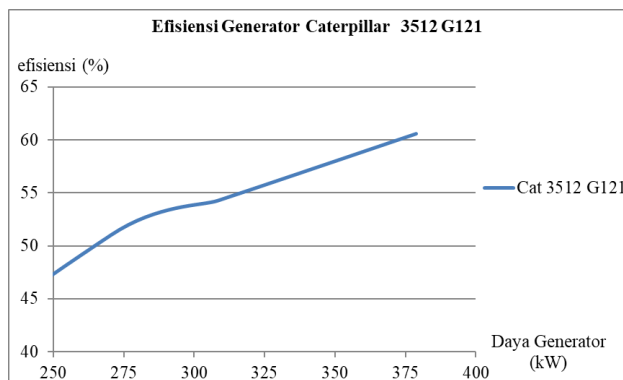
Dari hasil perhitungan data penelitian pada genset Caterpillar 3512 G121 di FSO Ladinda, efisiensi generator sangat rendah. Hal ini dikarenakan spesifikasi genset yang digunakan terlalu besar dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik di FSO Ladinda. Efisiensi yang paling tinggi yaitu pada saat beban generator 378,75 kW sebesar 60,60%.

Dari hasil perhitungan efisiensi yang didapat, maka dapat dibuat tabel perbandingan pemakaian bahan bakar terhadap rasio pembebanan generator yang berbeda pada Caterpillar 3512 G121.

Tabel 3-1 Hasil penelitian genset Caterpillar 3512 G121

No.	Hasil Penelitian	Caterpillar 3512 G121		
1	Daya (kW)	270.54	308.41	378.75
2	Efisiensi (%)	51.05	54.29	60.6
3	Konsumsi BB (ltr/jam)	94	96	106
4	sfc (ltr/kWh)	0.347	0.311	0.28

Perbandingan efisiensi pada setiap kondisi beban generator yang berbeda juga dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 3.1 Grafik perbandingan efisiensi terhadap daya generator

Dari Gambar di atas terlihat grafik perbandingan beban generator terhadap efisiensi yang menjelaskan bahwa

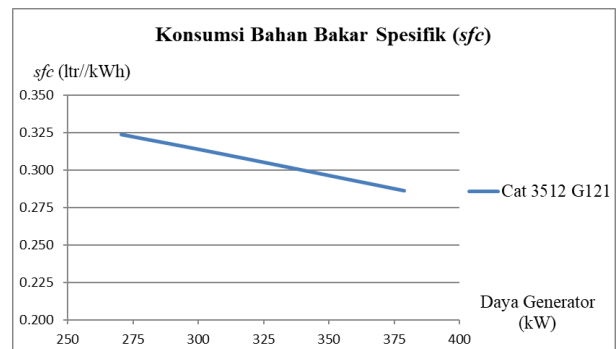
semakin besar daya generator, maka efisiensinya semakin besar.

Perbedaan rasio pembebanan generator pada Caterpillar 3512 G121 juga berpengaruh pada konsumsi bahan bakar spesifiknya. Artinya jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya generator per kWh pada beban yang berbeda akan berbeda pula.

Pada generator 3512 G121, untuk daya generator sebesar 270,54 kW, konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*) adalah 0,347 liter/kWh. Untuk beban generator 308,41 kW, *sfc* sebesar 0,311 liter/kWh. Untuk beban 378,75 kW, konsumsi bahan bakar spesifiknya adalah 0,280 liter/kWh.

Dari analisa pemakaian bahan bakar spesifik, dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban generator pada Caterpillar 3512 G121, konsumsi bahan bakar per kWh semakin kecil.

Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*) pada setiap kondisi beban yang berbeda pada generator dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 3.1 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap daya generator

Dari gambar grafik di atas, dapat diketahui bahwa daya generator semakin besar, maka bahan bakar yang diperlukan per kWh semakin kecil.

Dari gambar grafik di atas, penulis menyimpulkan rasio pembebanan generator semakin besar, maka pemakaian bahan bakar speifik pada

genset Caterpillar 3512 G121 semakin kecil.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Caterpillar 3512 G121 di FSO Ladinda, beroperasi pada beban generator 270,54 kW. Pada daya tersebut, efisiensi generator 51,05%. Konsumsi bahan bakar 94 liter/jam, konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) 0,347 liter/kWh.
2. Setelah terkoneksi dengan TB Dias Raya III, beban generator menjadi 308,41 kW. Efisiensi generator 54,29%, konsumsi bahan bakar 96 liter/jam dan sfc 0,311 liter/kWh.
3. Dari hasil perhitungan efisiensi generator pada Caterpillar 3512 G121 di FSO Ladinda, perubahan beban generator berpengaruh terhadap efisiensi. Semakin besar daya generator, maka efisiensinya semakin besar.
4. Dari hasil perhitungan pemakaian bahan bakar spesifik pada Caterpillar 3512 G121, perubahan beban generator berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifiknya. Semakin besar daya generator yang dihasilkan, maka pemakaian bahan bakar spesifik semakin kecil.

4.2. Saran

Adapun saran yang dapat penulis kemukakan setelah melaksanakan penelitian ini adalah :

1. Memaksimalkan daya generator yaitu dengan mempertahankan suplai tenaga listrik ke TB Dias Raya III secara berkelanjutan.
2. Mengganti genset dengan kapasitas yang lebih kecil seperti Caterpillar 3508 dengan kapasitas daya generator 531 kVA / 425 kW. Genset

tersebut pernah digunakan di FSO Ladinda. Kemudian tahun 2010 dipindah ke warehouse di darat dan digunakan sebagai emergency generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel Y. A. & Boles M. A., 2006, Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th edition, New York, Mc Graw-Hill.
- [2] Chapman, Stephen, 2012, Electric Machinery Fundamental , New York, McGraw-Hill
- [3] Electric Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society, 2004, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, New York : IEEE-SA Standards Board.
- [4] Fitzgerald, 2007, Electric Machinery, New York, Mc Graw-Hill
- [5] Mollenhauer, Klaus & Helmut, 2010, Handbook of Diesel Engines, Verlag, Springer.
- [6] Wijaya, Mochtar, 2002, Dasar-Dasar Mesin Listrik, Jakarta, Djambatan.
- [7] Adiyansa, Sri, 2018, Studi Analisa Efisiensi Konsumsi Energi Listrik pada Kapal Tug Boat Sei Deli DI PT. DOK dan Perkapalan Surabaya, Teknik Elektro UNS, Vol. 7 No. 03 : 219-223.
- [8] Alimuddin, Herudin, & David Mangantar, D, 2014, Analisa Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Kapal Motor Penumpang Nusa Mulia, SETRUM Volume 3, No. 1 : 54 – 60.
- [9] Aryadi, Selamat & Amin, Syamsul, 2015, Analisis Penentuan Tegangan Terminal, Regulasi, Dan Efisiensi Generator Sinkron 3 Fasa Rotor Salient Pole Dengan Metode Blondel (Two Reaction Theory), Singuda ENSIKOM Vol 13, No 36, hal 60 – 65.

- [10] Widagdo, Eko, 2013, Optimisasi Pola Pembebanan Daya Mesin Pembangkit Listrik Diesel SWD 16 TM 410 Terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar, *Jurnal ELKHA* Vol. 5, No 2 : 1 – 7.
- [11] Rokhman T., 2012, menghitung torsi dan daya mesin pada motor bakar, (online), (<https://taufiqurrokhman.wordpress.com>, diakses 27 Januari 2012).
- [12] Liklikwatil, Yakob, et al. "Turbin Magnet Permanen Sebagai Penggerak Alternatif Generator Yang Bebas Energi." *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala* 14.1 (2019): 72-82.