

Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid* (Sel Surya dan Diesel Generator) Pada Kapal Tanker

Dhear P. Putri, Eddy S. Koenhardono, dan Indra R. Kusuma
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: eddy-koen@its.ac.id

Abstrak—Sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) merupakan salah satu alternatif solusi dari dampak negatif sistem pembangkit konvensional pada kapal – kapal di Indonesia. Penggunaan sistem pembangkit listrik *hybrid* ini dapat mendukung pengembangan teknologi kapal ramah lingkungan, ketika isu *global warming* semakin marak. Manfaat penerapan sistem pembangkit listrik *hybrid* adalah pengurangan konsumsi bahan bakar generator sekaligus pengurangan emisi gas buang dari kapal. Pemilihan sistem *hybrid* dengan tenaga surya disebabkan potensi sinar matahari Indonesia yang melimpah. Pada penelitian ini menggunakan metode analisis secara teknis dan ekonomis untuk melakukan perancangan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator). Analisis teknis dan ekonomis dilakukan menggunakan objek penelitian kapal tanker MT. Gunung Geulis dengan membandingkan pembangkit listrik sistem *hybrid* dengan sistem konvensional yang saat ini banyak digunakan pada kapal – kapal di Indonesia. Dari hasil penelitian, penerapan pembangkit listrik sistem *hybrid* pada kapal MT. Gunung Geulis menghasilkan penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 15,5 % per tahun bila dibandingkan dengan penggunaan sistem pembangkit listrik konvensional. Oleh karena itu, akibat kenaikan biaya investasi dan pengurangan biaya operasional pada sistem pembangkit listrik *hybrid* bila dibandingkan dengan sistem konvensional, maka *break event point* dapat tercapai pada tahun ke 3,69 atau setara dengan nilai nominal biaya total sebesar Rp 23.980.000.000,00 atau \$ 1.803.007,52.

Kata Kunci—Diesel Generator, *Hybrid*, Pembangkit Listrik, Sel Surya

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN bahan bakar fosil sebagai sumber energi saat ini masih menjadi prioritas utama. Akibatnya, kondisi ketersediaan bahan bakar fosil di dalam perut bumi akan menjadi semakin cepat menipis. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu penyebab *global warming* dan hujan asam akibat emisi gas yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan. Dengan semakin maraknya isu lingkungan khususnya di bidang maritim, Komite Perlindungan Lingkungan Kelautan (MEPC) sebagai salah satu unit di Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah melakukan revisi terhadap Annex VI MARPOL guna pengurangan kadar emisi oksida belerang (SO_x), NO_x, serta CO₂ di kapal secara bertahap. Revisi Annex VI MARPOL

tersebut dilakukan dalam rangka mensukseskan peraturan IMO TIER III, dimana untuk kapal dengan mesin diesel generator yang dibangun sejak 1 Januari 2016 dan sesudahnya harus memenuhi kadar emisi NO_x sebesar 3,4 g/kWh, sedangkan untuk kapal yang dibangun sebelum tahun 2000 sebesar 17 g/kWh [1].

Bagi semua kapal yang akan memasuki wilayah perairan suatu negara yang telah meratifikasi Annex VI MARPOL, maka diharuskan untuk memenuhi standar sesuai peraturan tersebut. Oleh karena itu, pada saat ini berbagai riset telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal, salah satu diantaranya adalah penggunaan sistem *hybrid* di kapal.

Sistem *hybrid* merupakan konsep penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Salah satu sistem pembangkit listrik *hybrid* yang berpotensi untuk dikembangkan di kapal yang beroperasi di Indonesia adalah kombinasi antara sel surya (*Photovoltaic*) dengan diesel generator. Hal ini dikarenakan letak geografis Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, sehingga wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Potensi sumber energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari[2].

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan suatu teknologi pembangkit dengan prinsip pengkonversian energi foton dari surya diubah menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya (*photovoltaic*). Sel-sel tersebut merupakan lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari *silicon* (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya.

Sel surya atau *photovoltaic* (PV) cell adalah sebuah peralatan yang mengubah energi matahari menjadi listrik oleh efek fotovoltaiik. *Photovoltaic* merupakan kajian bidang teknologi dan riset yang berhubungan dengan aplikasi sel surya sebagai energi surya. *Photovoltaic* berasal dari Bahasa Yunani yang merupakan kombinasi kata *light*, *photo*, dan *voltaiic* dari nama Alessandro Volta [3].

Sistem pembangkit listrik *hybrid* didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolatedgrid*, sehingga

diperoleh sinergi penerapannya dapat menghasilkan keuntungan ekonomis maupun teknis [4].

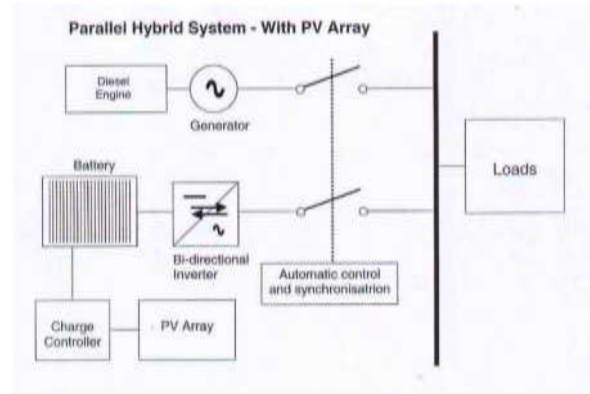
Sel surya pada dasarnya adalah sebuah fotodiode yang dirancang dengan mengacu pada efek fotovoltaik sedemikian rupa, sehingga dapat mengubah energi cahaya seefisien mungkin menjadi energi listrik [5]. Sel surya bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik [3].

Sistem pembangkit listrik *hybrid* PV-diesel adalah kombinasi antara energi surya dengan diesel generator. Sistem *hybrid* tersebut biasa digunakan pada kapal-kapal berukuran besar yang memiliki beban kelistrikan yang relatif besar. Hal tersebut dikarenakan apabila pada kapal berukuran besar hanya menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya (*standalone*), kebutuhan daya listrik di kapal tidak dapat terpenuhi disebabkan keterbatasan ruang dikapal [6].

Komponen sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* dapat dirangkai dalam beberapa jenis rangkaian yaitu: (1) sistem *hybrid* seri, (2) *switched hybrid system*, dan (3) sistem *hybrid* paralel [7].

Pada sistem *hybrid* paralel, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, diesel generator dan baterai dapat menyuplai beban secara bersamaan. Sistem *hybrid* paralel menggunakan inverter dua arah (*bi-directional*) yang dapat berfungsi sebagai inverter (mengubah daya dc menjadi ac) dan sebagai *charger* dan regulator (mengubah daya ac menjadi dc). Saat daya beban lebih rendah dari daya baterai, maka beban disuplai oleh baterai melalui *bi-directional* inverter (yang berfungsi sebagai inverter) sedangkan generator diesel dipadamkan. Pada saat daya beban melebihi daya baterai namun lebih kecil dari daya generator diesel, generator diesel dinyalakan untuk menyuplai beban dan mengisi baterai dengan kelebihan dayanya. Pada kondisi tersebut *bi-directional* inverter berfungsi sebagai regulator dan *charger*. Pada saat daya beban lebih tinggi dari daya generator diesel, generator diesel tetap menyuplai beban sedangkan *bi-directional* inverter kembali berfungsi menjadi inverter lalu bersama-sama menyuplai beban secara paralel.

Beberapa keuntungan penggunaan konfigurasi sistem *hybrid* paralel antara lain: (1) beban kelistrikan dapat terpenuhi secara optimal, (2) meningkatkan efisiensi diesel generator sehingga mengurangi biaya perawatan, dan (3) ukuran generator diesel lebih kecil sehingga dapat mengurangi biaya investasi [7].



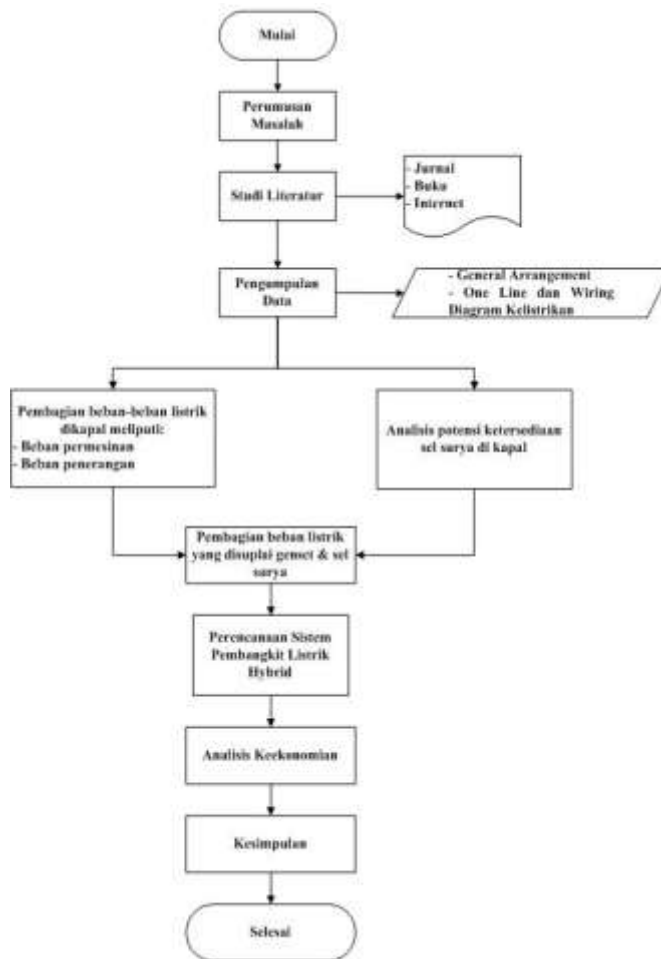
Gambar.1. Sistem *hybrid* paralel [9]

Jika suatu sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* dengan konfigurasi sistem *hybrid* paralel dilengkapi dengan pembangkit listrik energi terbarukan, keandalan dan efisiensi sistem akan meningkat, sehingga ukuran generator-generator makin kecil. Hal ini memungkinkan karena generator diesel berubah fungsi menjadi cadangan, sedangkan suplai utama berasal dari pembangkit energi terbarukan.

Saat ini industri perkapalan sedang fokus untuk mengembangkan teknologi kapal yang ramah lingkungan atau *ecoship*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) yang dapat diaplikasikan pada kapal – kapal khususnya yang beroperasi di perairan Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah yang berkelanjutan guna mencapai hasil akhir penelitian. Langkah pengerjaan digambarkan dalam diagram alur pada Gambar 2.



Gambar.2. Diagram alur pengerjaan skripsi

Dalam penelitian ini dilakukan analisis teknis dan keekonomian untuk merancang sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) pada kapal. Analisis teknis pada penelitian ini diawali dengan menentukan kapal yang dijadikan objek penelitian yaitu kapal tanker MT. Gunung Geulis. Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi luas area yang dapat digunakan untuk peletakan panel surya di kapal. Dengan mengidentifikasi luas area untuk peletakan panel surya, dapat diketahui potensi ketersediaan energi surya di kapal MT. Gunung Geulis. Kemudian dilakukan analisis pembagian beban listrik di kapal yang dapat disuplai oleh panel surya dengan mempertimbangkan ketersediaan energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Langkah selanjutnya dalam merancang sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) di kapal antara lain melakukan pergantian jenis lampu yang digunakan di kapal dari jenis lampu *Fluorescent Lamp* (FL) menjadi lampu *Light Emitting Diode* (LED), melakukan perhitungan dan pemilihan spesifikasi peralatan panel surya, serta melakukan modifikasi *wiring diagram* kelistrikan pada kapal.

Analisis keekonomian pada penelitian ini menggunakan metode perhitungan *Break Even Point* (BEP). Perhitungan keekonomian meliputi perhitungan biaya investasi dan operasional sistem pembangkit listrik *hybrid* di kapal. Biaya

operasional yang dihitung adalah biaya bahan bakar generator, pergantian peralatan serta perawatan instalasi sistem pembangkit listrik *hybrid* dikapal.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Data Kapal

Objek penelitian yang digunakan dalam pengerjaan skripsi ini adalah kapal MT. Gunung Geulis dengan dimensi dan data umum sebagai berikut:

| | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------|
| Panjang Seluruhnya (LOA) | : 243.8 | m |
| Panjang antara Garis Air (LWL) | : 39.50 | m |
| Lebar (B) | : 42 | m |
| Tinggi (H) | : 21.3 | m |
| Sarat Air (T) (desain) | : 12.19 | m |
| DWT | : 107.538 | |
| Kecepatan dinas (vs) | : 15.6 | knots |
| Rute Pelayaran | : Semarang-Lawe- Lawe | |
| Generator | : 3 unit, AC 450 V, | |
| | 3ph, 60 Hz, 680 kW | |

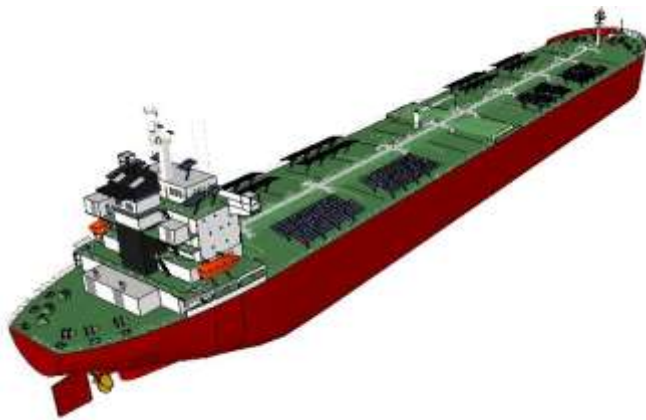
B. Analisis Potensi Ketersediaan Energi Surya pada Kapal MT. Gunung Geulis

Tabel 1. Potensi ketersediaan energi surya pada kapal MT. Gunung Geulis

| Lokasi | Jumlah Panel | Daya Panel (Watt) | Total (Watt-h/ jam) | Total (kWh/ hari) |
|--------------|--------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Wing deck | 57 | 435 | 24795 | 123,95 |
| Cargo area | 350 | 435 | 152250 | 761,250 |
| Total | 407 | | 177045 | 885,2 |

Pada tahap ini dilakukan pengoptimalan luas area di kapal MT. Gunung Geulis yang dapat dijadikan lokasi untuk peletakan panel surya. Hasil analisis potensi ketersediaan energi surya tercantum pada Tabel 1.

Dengan lama waktu penyinaran matahari di Indonesia rata-rata selama 12 jam, lama penyinaran maksimum diasumsikan selama 5 jam per hari, maka daya total yang dapat dihasilkan adalah 885,2 kW per hari. Gambar 3 merupakan model 3D peletakan panel surya untuk sistem pembangkit listrik *hybrid* pada kapal tanker berdasarkan data pada Tabel 1.

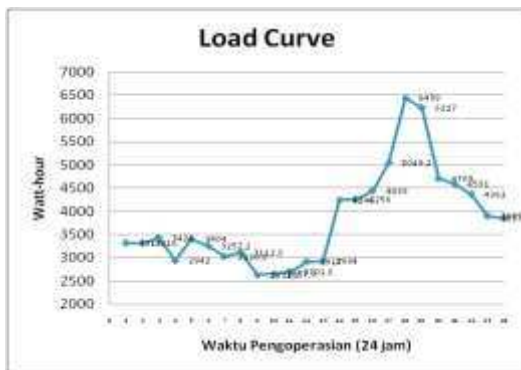


Gambar.3. 3D model peletakan panel surya untuk sistem pembangkit listrik hybrid pada tanker

C. Pergantian Jenis Lampu Penerangan pada Kapal MT. Gunung Geulis

Dalam melakukan perhitungan sistem hybrid untuk menyuplai beban lampu penerangan, terlebih dahulu dilakukan pergantian jenis lampu di kapal. Hal tersebut sesuai pertimbangan bahwa kebutuhan daya lampu penerangan di kapal MT. Gunung Geulis relatif besar yaitu 28 kW, maka pada penelitian ini dilakukan pergantian jenis lampu penerangan dari lampu FL menjadi jenis lampu LED.

Setelah dilakukan pergantian jenis lampu FL menjadi lampu LED, total beban lampu penerangan di kapal MT. Gunung Geulis berkurang menjadi 6,1 kW. Dan dari hasil perhitungan, diketahui bahwa waktu operasional rata-rata seluruh lampu penerangan di kapal MT. Gunung Geulis adalah 7,77 jam per hari dengan beban puncak sebesar 6439 watt pada pukul 18.00 seperti tercantum pada Gambar 4. Total daya beban seluruh lampu penerangan per hari adalah sebesar 90,8 kW.



Gambar.4. Grafik load beban puncak lampu penerangan

D. Pembagian Beban Kelistrikan yang Akan disuplai Sel Surya pada Kapal MT. Gunung Geulis

Dengan mempertimbangkan potensi ketersediaan energi surya pada kapal MT. Gunung Geulis, maka pada penelitian ini beban yang direncanakan untuk disuplai oleh panel surya meliputi lampu penerangan, peralatan navigasi, radio komunikasi, galley and laundry equipment, serta beberapa komponen yang termasuk air conditioner and refrigerator

device pada kondisi operasi seagoing seperti tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban kelistrikan yang akan disuplai sel surya pada kapal MT. Gunung Geulis

| Jenis Beban | Daya yang dibutuhkan (kWh/ hari) |
|--|----------------------------------|
| Lampu Penerangan | 90,8 |
| Peralatan Navkom, Galley Equipment, Air Conditioner System | 566,7 |
| Total | 657,5 |

E. Perancangan Sistem Sel Surya

Total energi yang dibutuhkan untuk mensuplai beban lampu penerangan, peralatan navigasi, radio komunikasi, galley and laundry equipment, serta beberapa air conditioner and refrigerator device adalah sebesar 657,5 kWh/hari. Sedangkan berdasarkan hasil perhitungan sistem sel surya dapat menghasilkan energi sebesar 882,021 kWh/hari. Karena potensi energi sel surya yang melebihi kebutuhan, sisa energi dipergunakan untuk melakukan pengisian baterai.

Tabel 3. Spesifikasi instalasi sistem pembangkit listrik hybrid

| Tipe | Spesifikasi | Jumlah Unit |
|--|------------------------|-------------|
| Panel Surya SunPower E20-435-COM | 435 w | 407 |
| Solar Charge Controller Blue solar 150/100 | 12/24vdc / 145v / 100A | 25 |
| Baterai TR 12V 500AH | 500Ah / 12V | 295 |
| Inverter pwri8k22050 | 10000 w | 3 |

Perancangan sistem sel surya dilakukan dengan membandingkan beberapa spesifikasi panel surya, baterai, solar charger dan inverter untuk kemudian dipilih yang paling optimal. Sehingga dipilih spesifikasi seperti tercantum pada Tabel 3.

F. Perhitungan Biaya Investasi dan Operasional Sistem Pembangkit Listrik Konvensional

Perhitungan biaya investasi sistem pembangkit konvensional meliputi biaya pergantian lampu penerangan jenis FL. Biaya operasional pada sistem konvensional meliputi biaya konsumsi bahan bakar generator serta biaya perawatan dan replacement. Total biaya investasi dan biaya operasional tahun pertama sistem pembangkit listrik konvensional tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya investasi dan biaya operasional tahun pertama sistem pembangkit listrik konvensional

| | |
|-------------------|----------------------------|
| Biaya Investasi | Rp 148.967.209,06 |
| Biaya Operasional | Rp 6.172.903.116,64 |
| Total | Rp 6.321.870.325,70 |

Perhitungan pada Tabel 4 merupakan total *cashflow* tahun pertama sistem pembangkit listrik konvensional Pada penelitian ini perhitungan keekonomian dilakukan hingga tahun ke 25. Total *cashflow* selama 25 tahun ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. *Cashflow* sistem pembangkit listrik konvensional selama 25 tahun

| cash flow sebelum hybrid(Konvensional) | | | |
|--|----|--------------------|------------------|
| 1 | Rp | 6.321.870.325,70 | \$ 474.152,13 |
| 2 | Rp | 12.618.231.504,67 | \$ 946.391,02 |
| 3 | Rp | 19.211.832.197,63 | \$ 1.440.923,44 |
| 4 | Rp | 25.762.566.368,24 | \$ 1.932.240,78 |
| 5 | Rp | 32.615.627.512,67 | \$ 2.446.233,22 |
| 6 | Rp | 39.431.011.343,76 | \$ 2.957.399,79 |
| 7 | Rp | 46.554.015.141,89 | \$ 3.491.638,43 |
| 8 | Rp | 53.644.740.479,76 | \$ 4.023.456,12 |
| 9 | Rp | 61.048.592.614,81 | \$ 4.578.758,92 |
| 10 | Rp | 68.425.783.256,32 | \$ 5.132.062,05 |
| 11 | Rp | 76.121.830.001,09 | \$ 5.709.279,98 |
| 12 | Rp | 83.797.059.144,53 | \$ 6.284.936,56 |
| 13 | Rp | 91.797.105.161,25 | \$ 6.884.955,01 |
| 14 | Rp | 99.782.413.562,08 | \$ 7.483.868,11 |
| 15 | Rp | 108.098.740.421,35 | \$ 8.107.608,22 |
| 16 | Rp | 116.406.655.281,57 | \$ 8.730.717,41 |
| 17 | Rp | 125.052.040.729,42 | \$ 9.379.137,53 |
| 18 | Rp | 133.695.595.350,00 | \$ 10.027.420,34 |
| 19 | Rp | 142.683.333.353,40 | \$ 10.701.517,54 |
| 20 | Rp | 151.676.087.580,65 | \$ 11.375.990,97 |
| 21 | Rp | 161.020.009.182,87 | \$ 12.076.802,61 |
| 22 | Rp | 170.376.070.680,89 | \$ 12.778.524,76 |
| 23 | Rp | 180.090.565.699,30 | \$ 13.507.130,11 |
| 24 | Rp | 189.824.612.081,85 | \$ 14.237.201,84 |
| 25 | Rp | 199.924.651.682,47 | \$ 14.994.723,74 |

G. Perhitungan Biaya Investasi dan Operasional Sistem Pembangkit Listrik Hybrid

Biaya instalasi sistem hybrid seperti panel surya, baterai, inverter, dan solar charge controller termasuk biaya investasi sistem pembangkit listrik *hybrid*. Sementara biaya operasional sistem pembangkit listrik *hybrid* meliputi biaya konsumsi bahan bakar generator serta perawatan dan *replacement* instalasi sistem pembangkit listrik *hybrid*. Total biaya investasi dan biaya operasional sistem pembangkit listrik *hybrid* ditunjukkan Tabel 6.

Tabel 6. Biaya investasi dan biaya operasional tahun pertama sistem pembangkit listrik *hybrid*

| | |
|-------------------|----------------------------|
| Biaya Investasi | Rp 3.956.868.470,80 |
| Biaya Operasional | Rp 5.218.806.436,51 |
| Total | Rp 9.175.674.907,31 |

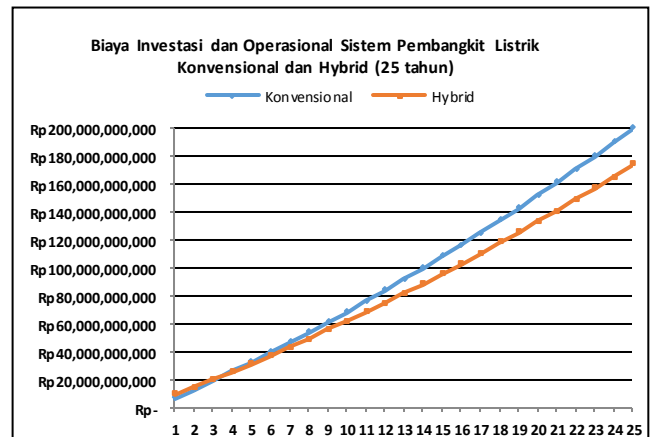
Adapun *cashflow* sistem pembangkit listrik *hybrid* selama 25 tahun ditunjukkan Tabel 7.

Tabel 7. *Cashflow* sistem pembangkit listrik *hybrid* selama 25 tahun

| cash flow setelah hybrid | | | |
|--------------------------|----|--------------------|------------------|
| 1 | Rp | 9.175.674.907,31 | \$ 688.192,82 |
| 2 | Rp | 14.498.857.472,55 | \$ 1.087.441,50 |
| 3 | Rp | 19.957.520.974,10 | \$ 1.496.851,49 |
| 4 | Rp | 25.495.760.114,97 | \$ 1.912.229,81 |
| 5 | Rp | 31.144.764.038,66 | \$ 2.335.915,70 |
| 6 | Rp | 36.939.221.325,83 | \$ 2.770.510,86 |
| 7 | Rp | 42.816.445.008,04 | \$ 3.211.313,66 |
| 8 | Rp | 48.811.213.163,90 | \$ 3.660.932,51 |
| 9 | Rp | 55.814.480.529,12 | \$ 4.186.190,69 |
| 10 | Rp | 62.051.649.053,47 | \$ 4.653.990,03 |
| 11 | Rp | 68.414.016.978,61 | \$ 5.131.179,55 |
| 12 | Rp | 74.935.420.107,25 | \$ 5.620.297,02 |
| 13 | Rp | 81.554.128.547,76 | \$ 6.116.712,56 |
| 14 | Rp | 88.308.795.157,09 | \$ 6.623.325,22 |
| 15 | Rp | 95.225.484.703,60 | \$ 7.142.089,91 |
| 16 | Rp | 102.576.111.955,34 | \$ 7.693.400,73 |
| 17 | Rp | 109.743.725.769,02 | \$ 8.230.985,21 |
| 18 | Rp | 117.943.374.546,42 | \$ 8.845.974,24 |
| 19 | Rp | 125.397.115.256,19 | \$ 9.405.018,77 |
| 20 | Rp | 133.000.366.515,16 | \$ 9.975.276,87 |
| 21 | Rp | 140.784.255.634,60 | \$ 10.559.083,15 |
| 22 | Rp | 148.694.896.905,74 | \$ 11.152.396,08 |
| 23 | Rp | 156.765.399.164,80 | \$ 11.757.698,88 |
| 24 | Rp | 165.027.404.479,49 | \$ 12.377.364,77 |
| 25 | Rp | 174.281.113.711,02 | \$ 13.071.410,31 |

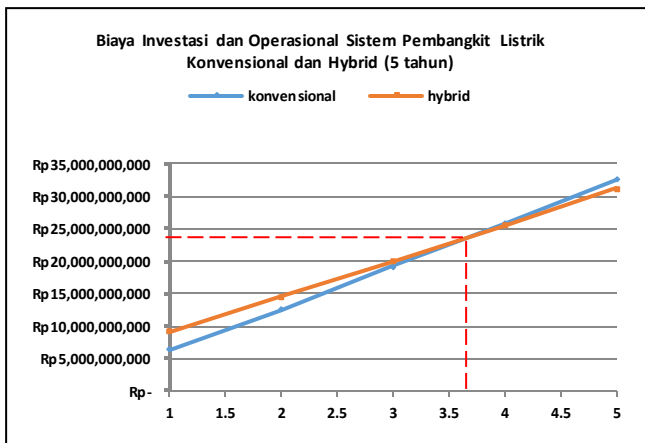
H. Analisis Break Even Point (BEP)

Grafik Perpotongan biaya investasi dan operasional antara sistem konvensional dengan sistem *hybrid* dalam jangka waktu 25 tahun ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar.5. Biaya investasi dan operasional sistem pembangkit listrik konvensional dan hybrid (25 tahun)

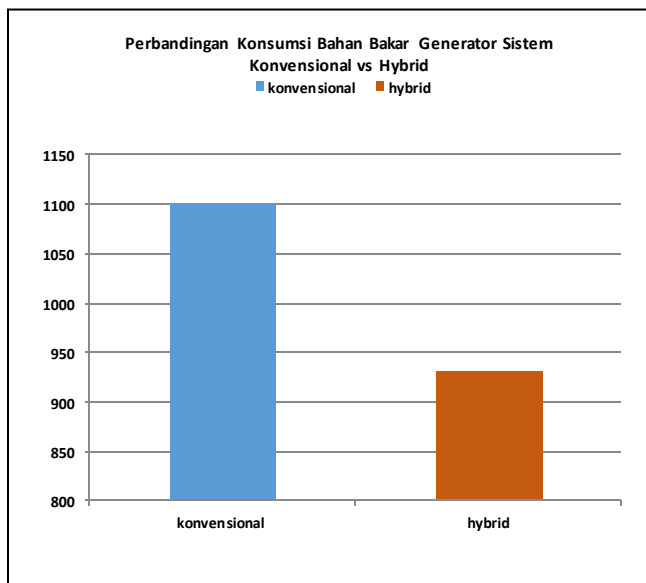
Titik perpotongan biaya investasi dan operasional antara sistem konvensional dengan sistem *hybrid* tampak lebih jelas pada Gambar 6 dimana biaya investasi dan operasional antara sistem konvensional dengan sistem *hybrid* mencapai nominal yang sama yaitu sebesar Rp 23.980.000.000,00 atau \$ 1.803.007,52 pada tahun ke 3,69.



Gambar.6. Biaya investasi dan operasional sistem pembangkit listrik konvensional dan hybrid (5 tahun)

1. Analisis Penghematan Konsumsi Bahan Bakar Generator

Perbandingan konsumsi bahan bakar generator saat menggunakan sistem konvensional dan setelah menggunakan sistem hybrid ditunjukkan dalam Gambar 7. Berdasarkan hasil analisis dari Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan pembangkit listrik sistem hybrid (diesel generator dan panel surya) pada kapal MT. Gunung Geulis dapat menghemat konsumsi bahan bakar generator sebesar 15,5% per tahun.



Gambar.7. Perbandingan konsumsi bahan bakar generator

IV. KESIMPULAN

Beberapa hasil analisis perbandingan penggunaan sistem pembangkit listrik konvensional dan sistem hybrid pada kapal MT. Gunung Geulis diperoleh hasil optimasi area untuk peletakan panel surya di kapal MT. Gunung Geulis di wing deck seluas 123,24 m² untuk 57 panel surya dan di cargo area seluas 756,73 m² sebanyak 350 panel surya. Dengan luas area tersebut, jumlah total panel surya yang bisa dipasang di kapal

MT. Gunung Geulis dapat menghasilkan daya sebesar 882,021 kWh/hari untuk menyuplai beban lampu penerangan sebesar 90,8 kWh/hari dan beban peralatan navigasi, radio komunikasi, galley and laundry equipment, serta beberapa komponen yang termasuk air conditioner and refrigerator device sebesar 566,7 kWh/hari. Penghematan konsumsi bahan bakar pada sistem pembangkit listrik di kapal MT. Gunung Geulis akibat modifikasi menjadi sistem pembangkit listrik hybrid mencapai 15,5 % per tahun. Break Even Point (BEP) penggunaan sistem hybrid pada sistem pembangkit listrik pada MT Gunung Geulis terjadi pada tahun ke 3,69 dengan nilai nominal sebesar Rp 23.980.000.000,00 atau \$ 1.803.007,52 .

Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomis tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem pembangkit listrik hybrid adalah sangat prospektif untuk diterapkan di kapal-kapal. Hal ini dikarenakan lifetime kapal mencapai 20 tahun, sedangkan BEP terjadi kurang dari 4 tahun. Sehingga program ecoship di masa mendatang dapat diwujudkan.

Beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya yaitu untuk melakukan eksperimen dengan tujuan untuk mendukung kesempurnaan data penulisan penelitian. Selain itu pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis risiko terhadap penggunaan sistem pembangkit listrik hybrid (sel surya dan diesel generator) pada kapal tanker.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azzara A., Rutherford D., Wang H. 2014. "Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction". Working Paper ICCT. 4.
- [2] Kementerian ESDM. 2010. Dikutip Januari 6, 2016, dari esdm.go.id. <www.esdm.go.id>
- [3] Mario, P. 2008. "Working principles of dye-sensitised solar cell and future applications". *Photovoltaics Internasional journal* , 47-51.
- [4] Kunaifi. 2010. "Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau". Seminar Nasional Informatika, FTI UPN "Veteran", (hal. 18-27). Yogyakarta.
- [5] Diputra, W. 2008. "Simulator Alogaritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rancangan Modul Surya". Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [6] Kurniawan, A. 2016. "A Review of Solar- Powered Boat Development". *IPTEK, The Journal for Technology and Science*, 27(1).
- [7] Nayar, C. V. 1993. "Novel Wind/Diesel/Battery Hybrid Energy System". *Solar Energy* 51(1) , 65-78.