



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Desain Konseptual *Hybrid Engine System* pada Kapal Tugboat 1636 HP dengan Kombinasi *Diesel Engine* dan *Electric Motor* Yang di Suplai Tenaga Baterai

Timothy Andromeda Saragih<sup>1\*)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Imam Pujo Mulyatno<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Sistem Perpipaan dan Permesinan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*)</sup>e-mail :timothyandromeda31@gmail.com

### Abstrak

*Hybrid Engine System* adalah penggunaan penggerak ganda pada system penggerak yang sudah di temukan sejak tahun 1902 oleh Ferdinand Porsche. Sementara itu beberapa penelitian dan perusahaan telah mengembangkan system ini di kapal, salah satunya Tugboat. Penerapan system ini pada penelitian sebelumnya di kapal, telah terbukti memiliki dampak berkurangnya konsumsi bahan bakar realtime dan *Time Between Overhaul (TBO)* dari sebuah mesin konvensional. Penggunaan Bahan Bakar Minyak pada mesin internal combustion engine (konvensional) perlu diminimalisir penggunaannya untuk efisiensi jangka panjang. Penelitian pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa pengurangan konsumsi bahan bakar mesin utama kapal terhadap penerapan engine hybrid system. Pengerjaan diawali dengan menganalisa hambatan kapal menggunakan software, dengan metode Van Oortmeersen. Data hambatan yang telah didapat akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan daya disetiap mode operasi tugboat. Variasi daya pada setiap mode operasi (*standby*, *cruising*, & *assisting*) digunakan untuk menentukan jumlah konsumsi BBM tugboat. Hasil analisa didapat konsumsi bahan bakar system permesinan hybrid mengurangi konsumsi BBM sebesar 19,06% dibanding system permesinan konvensional.

Kata Kunci : Tugboat, BBM, Hybrid, Konvensional

### 1. PENDAHULUAN

Dalam Penelitian ini, Tugboat yang akan dianalisa adalah Tugboat yang beroperasi di pelabuhan yaitu di PT. Pelabuhan Indonesia I Belawan dan sekitarnya. Tugboat disini digunakan juga untuk menarik tongkang, kapal rusak dan peralatan lainnya.

Pada umumnya diketahui bahwa kapal-kapal yang ada saat ini masing masing memiliki perbedaan kemampuan baik kecepatan, serta *endurance* (lama ketahanan untuk sekali beroperasi, berkaitan juga dengan logistic kapal), jarak dan luas jangkauan (*coverage*) serta biaya operasi yang sangat berbeda pula. Kapal-kapal yang kita ketahui saat ini masih banyak yang menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber energi utama untuk menggerakkannya. Penggunaan bahan bakar minyak pada mesin *internal combustion engine* atau *external*

*combustion engine* menimbulkan banyak masalah yang juga perlu di perhatikan sebagai pertimbangan dalam pengembangan di bidang perkapalan. Banyaknya polusi yang ditimbulkan mesin-mesin tersebut, seperti polusi suara, polusi udara, dan lain sebagainya. Bahkan penyumbang polusi udara terbesar adalah emisi gas buang mesin dengan bahan bakar fosil, hal ini jelas terjadi dalam kurun waktu belakangan ini.[1].

Sistem propulsi hybrid secara ekonomis menguntungkan jika kapal berlayar di bawah 40% dari kecepatan tertinggi dalam jumlah waktu yang signifikan. Selanjutnya, catu daya hibrida bermanfaat bila listrik total memiliki penyebaran yang besar dari waktu ke waktu dan dapat meningkatkan ketersediaan dan mengurangi kebisingan. Tenaga mesin DC berpotensi menurunkan kerugian konversi dan dapat mengoperasikan kapal pada variable kecepatan,

mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi terkait dengan sampai 20%..[2]

Pada penelitian lainnya yang dilakukan sebelumnya didapat bahwa dengan dilakukannya penerapan system hybrid pada kapal, mereduksi penggunaan bahan bakar hingga 20% dibanding system konvensional.[3] Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian lainnya yang kurang signifikan dalam mereduksi penggunaan BBM kapal.

Energi listrik merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Motor penggerak dapat digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu menempuh jarak sejauh 115,38 km dengan mengabaikan beban dan faktor penghambat lainnya serta kecepatan yang stabil. [4] dari penelitian ini kemungkinan dengan kombinasi motor listrik dan mesin diesel akan menghasilkan efisiensi yang baik.

Sistem propulsi diesel atau disebut juga sistem propulsi konvensional memang efisien tetapi membutuhkan biaya operasional yang tinggi dan meningkatkan pencemaran laut yang tinggi. Sistem propulsi listrik menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama propeler. [5] Jadi system hybrid yang mengkolaborasi mesin diesel konvensional dengan mesin listrik DC yang disuplai baterai memungkinkan efisiensi yang lebih baik daripada system konvensional.

*The hibridisasi Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) dan baterai Lithium-ion untuk sistem propulsi kapal pantai berpotensi menawarkan kinerja emisi yang menguntungkan. Studi kasus menunjukkan bahwa sistem propulsi yang diusulkan dapat mencapai setidaknya 65% pengurangan gas rumah kaca. [6]*

Setiap baterai memiliki spesifikasi, kelebihan, dan kekurangan yang berbeda. Banyak pertimbangan dalam memilih aki untuk kendaraan listrik termasuk biaya awal, masa pakai, massa, volume, sensitivitas suhu, akses perawatan dan akses produk. [7]

Konsep penggerak hibrida menawarkan kemungkinan efisiensi yang baik dengan menyesuaikan daya dan kecepatan mencapai konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah. Ini bisa berdampak besar, terutama di kisaran beban parsial. [8]

Pada system hybrid, mesin diesel akan bekerja konstan untuk mode operasi tertentu sehingga komponen mesin akan semakin tahan lama, ini diakibatkan kerja mesin listrik yang fleksibel dengan suplai daya baterai sebagai penyimpanan energi. [9]

Contoh yang baik adalah profil operasional kapal tunda pelabuhan biasa, yang berisi tiga

operasional mode; *Standby*, transit dan *Assisting*. Ketiga mode tersebut sering terjadi tetapi biasanya mode daya tinggi (*Assisting*) hanya terjadi dalam waktu yang sangat singkat, namun ini menentukan total daya yang dipasang sebagai tarikan tonggak yang dibutuhkan adalah aspek terpenting dari desain kapal tunda. [10]

Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis di buat variasi bentuk konfigurasi system hybrid baru dengan adanya komponen penyimpanan daya berupa baterai, pada kapal tunda (Tugboat). Penelitian ini dilakukan dengan percobaan perancangan sistem peralatan yang didapat dari perhitungan manual untuk mendapat nilai efisiensi penggunaan bahan bakar terbaik, yang ditinjau juga dengan teknis yang sesuai. Sehingga akan didapat nilai perbandingan konsumsi bahan bakar minyak antara system permesinan konvensional dengan system permesinan hybrid.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini membutuhkan data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data utama dari kapal seperti gambar dan ukuran utama kapal yang akan diteliti, yang di peroleh dari salah satu galangan kapal di Belawan, Sumatera Utara yakni TB.MD. Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui media internet seperti jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian, media buku pembelajaran, e-book, petunjuk penggunaan software yang digunakan untuk menambah wawasan dan ilmu, yang menjadi referensi dalam pengerjaan, dan sebagai media mencari solusi dari permasalahan yang mungkin dialami saat melakukan penelitian.

Tabel 1. Ukuran utama Kapal Tug Boat TB.MD

No	Ukuran Utama	Dimensi
1	<i>Length Over All</i>	26,00 m
2	<i>Length of WaterLine</i>	23,98 m
3	<i>Draught</i>	3,00 m
4	<i>Breadth</i>	8,00 m
5	<i>Height</i>	3,65 m
6	<i>CB</i>	0,58

Tabel 1 adalah data ukuran utama kapal yang dijadikan objek penelitian.

### 2.2. Variabel Penelitian

Tugboat TB.MD digunakan untuk melakukan manuver atau pergerakan seperti menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan maupun laut lepas. Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis, data hambatan utama yang didapat dengan analisa hambatan *Software* dengan metode Van Oortmeersen, akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan daya kapal dan kebutuhan bahan bakar

di setiap mode operasi. Ada 3 variasi mode operasi yang akan menjadi acuan dalam penelitian ini, variable tersebut adalah mode operasi *standby*, *cruising*, dan *assisting*. Mode *standby* kapal bergerak dengan kecepatan 1-3 knot, pada mode *cruising* kapal bergerak dengan kecepatan 10 knot, dan pada mode *assisting* kapal bergerak dengan kecepatan 3-4 knot.

### 2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada laboratorium system perpipaan dan permesinan kapal, dan laboratorium perencanaan dibantu komputer. Pemodelan dan analisa hambatan model kapal dilakukan dengan *software*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

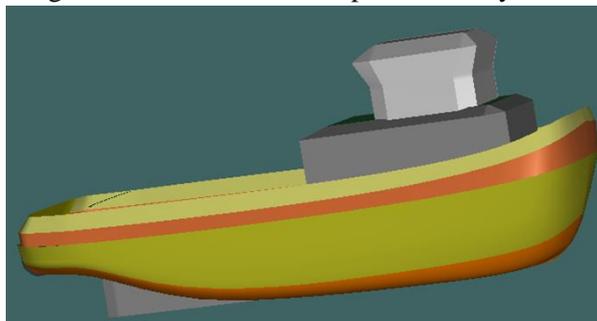
### 3.1. Pemodelan Kapal Pada Software

Pada Penelitian ini Penulis menggunakan *software* sebagai alat untuk menganalisa nilai hambatan kapal di setiap variasi kecepatan kapal, yang akan menjadi acuan untuk perhitungan daya kapal di setiap mode operasi nantinya. Berikut adalah ukuran utama kapal hasil pemodelan pada *software*:

Tabel 2. Data kapal model yang di Analisa *Software*

No	Ukuran Utama	Dimensi
1	<i>Length of WaterLine</i>	25,28 m
2	<i>Draught</i>	3,00 m
3	<i>Breadth</i>	8,00 m
4	<i>CP</i>	0,726

Data pada tabel 2 ditunjukkan hasil ukuran utama kapal hasil pemodelan yang dilakukan penulis, data ini dibutuhkan untuk perbandingan dengan data ukuran utama kapal sebenarnya.



Gambar 1. Model 3 Dimensi kapal TB.MD

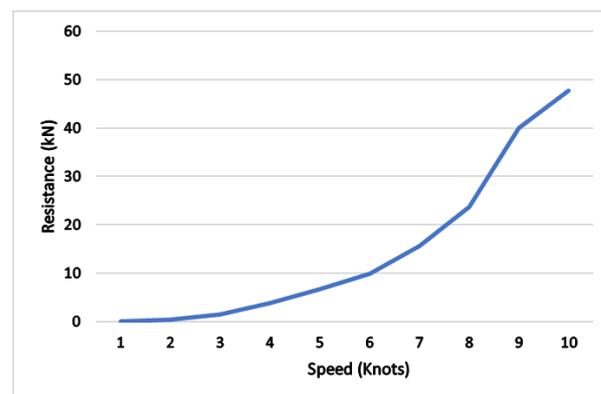
### 3.2. Analisa hambatan dan daya Metode *Van Oortmeersen*

Kemudian dilakukan analisa hambatan dari model kapal yang ditinjau dengan bentuk dan data kapal yang telah di desain sebelumnya. Pada Tugas akhir ini untuk mendapatkan tahanan pada kapal, maka digunakan metode *Van Oortmeersen*. Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan data tahanan pada tiap variasi kecepatan dan juga daya yang diperlukan untuk melawan tahanan terhadap kapal yang terjadi pada kecepatan tertentu juga. Berikut adalah data kapal yang dapat di Analisa metode *Van Oortmeersen* :

Tabel 3. Data hambatan dan daya kapal hasil Analisa metode *Van Oortmeersen*

No	Speed (Knots)	Van Oortmeersen Resist (Kn)
1	1	0,12
2	2	0,45
3	3	1,44
4	4	3,76
5	5	6,68
6	6	9,99
7	7	15,59
8	8	23,63
9	9	40,08
10	10	47,69

Data table 3 adalah hasil analisa hambatan kapal menggunakan metode *Van Oortmeersen*.



Gambar 2. Diagram *Resistance-Speed* metode *Van Oortmeersen*

Gambar tersebut menunjukkan grafik hubungan hambatan-kecepatan hasil analisa dengan metode *Van Oortmeersen*.

### 3.3. Perhitungan kebutuhan daya di setiap mode operasi yang akan dilakukan kapal.

Mode operasi *cruising* adalah kondisi dimana tugboat akan bekerja tanpa beban Tarik sama sekali, sehingga daya hanya akan dibutuhkan untuk menggerakkan kapal untuk melawan hambatan yang diterima kapal pada kecepatan kapal tertentu.

Tabel 4. Perhitungan Daya pada Mode *Cruising*

Vs (m/s)	Rt (kN)	EHP (kNm/s)	SHP (kW)	DHP (kW)	BHP (kW)
3,60	15,59	56,12	73,94	72,46	76,16
4,11	23,63	97,23	128,11	125,55	131,95
4,62	40,08	185,53	244,44	239,55	251,77
5,11	47,69	245,31	323,21	316,74	332,90

Mode operasi *standby* seperti pada tabel 4 adalah kondisi dimana sumber tenaga penggerak yang bekerja memutar *propeller* pada kapal untuk mempertahankan posisi tugboat melawan arus air yang melewati lambung kapal, hal ini akan terjadi pada saat proses lepas-pasang tali pada mode operasi *assitting*, karena kapal sangat dipengaruhi gelombang sehingga kemungkinan kapal akan sangat mudah berpindah posisi.

Tabel 5. Perhitungan Daya pada Mode *Standby*

Vs (m/s)	Rt (kN)	EHP (kNm/s)	SHP (kW)	DHP (kW)	BHP (kW)
1,52	1,44	2,22	2,92	2,86	3,01
2,05	3,76	7,73	10,18	9,98	10,49

Mode operasi *assisting* ini pada tabel 5 adalah kondisi kerja yang dimana tugboat akan bekerja menarik maupun mendorong kapal dengan ukuran yang lebih besar, kapal tersebut akan bersandar dipelabuhan atau di tempat sandar lainnya.

Untuk menentukan besarnya daya yang dibutuhkan tugboat dengan *fixed pitch propeller* tanpa *kurt nozzle* atau *propeller freewheeling*, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{BHP} \times 0,9 \times 1,10 / 100 & \quad (\text{t}) \\ \text{BHP} \times 0,9 \times 1,10 / 100 & \quad (18 \text{ ton}) \\ \text{BHP} & \quad 1818,19 \text{ Hp} (1356,36 \\ & \quad \text{kw}) \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan listrik secara sederhana akan dilakukan untuk menentukan daya *generator set* yang akan digunakan di tugboat. Dari mesin listrik Siemens 1HS6 228-ONB-7MV3 dengan spesifikasi seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Rated output} & \quad 160 \text{ kW/1000 RPM} \\ \text{V} & \quad 600 \text{ Volt} \end{aligned}$$

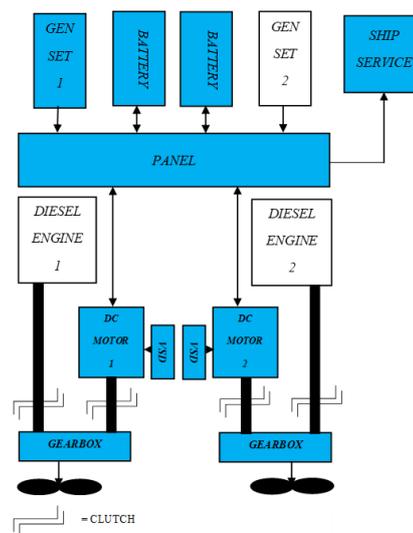
$$\begin{aligned} \text{Rated torque} & \quad 1530 \text{ Nm} \\ \text{I} & \quad 294 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka dengan kebutuhan permesinan diatas, di gunakan baterai Mastervolt MLI Ultra 24/5000 dengan spesifikasi 28 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Battery voltage} & \quad 600 \text{ V} \\ \text{Battery capacity} & \quad 900 \text{ Ah} \\ \text{charge current} & \quad 500 \text{ A} (2,8 \text{ C}) \\ \text{discharge current} & \quad 500 \text{ A} (2,8 \text{ C}) \\ \text{Energy capacity} & \quad 140000 \text{ Wh} \end{aligned}$$

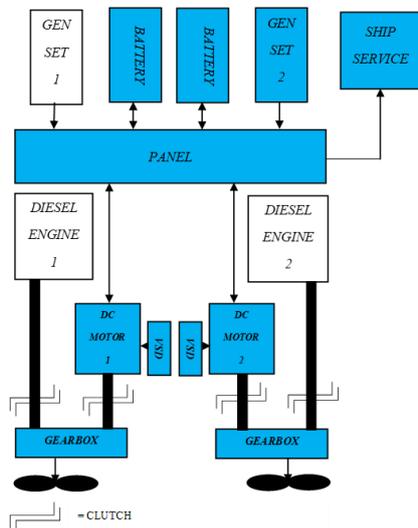
Data tersebut didapat dengan menyusun baterai sebanyak 23 baterai secara seri dan 5 baterai secara parallel. Setelah mendapat data kebutuhan daya tambahan untuk baterai, maka penulis memutuskan untuk tetap menggunakan generator lama yakni Yanmar 4TNE94 40 kVA (32 ekW).

### 3.4. Konfigurasi *Hybrid Propulsion System*



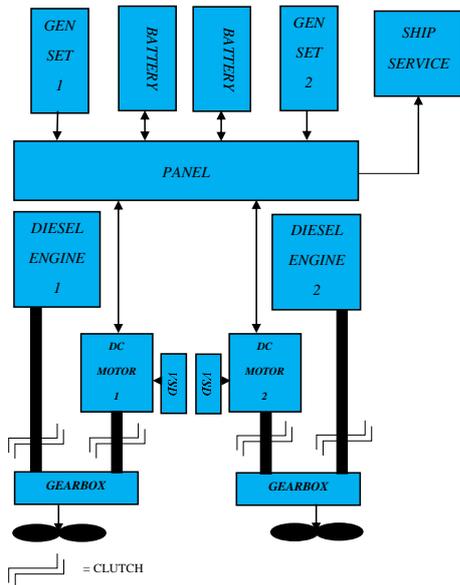
Gambar 3. Skema kerja permesinan pada mode *standby*

Pada mode operasi *Standby* motor listrik (*DC Motor*) akan berperan sebagai penggerak utama kapal, pada mode operasi ini kapal akan bergerak dengan kecepatan rata-rata 1-3 knot saja. Baterai akan menyuplai daya Motor DC ini. Mesin bantu yang bekerja hanya 1, untuk menyuplai kebutuhan listrik di kapal.



Gambar 4. Skema kerja permesinan pada mode *cruising*

Pada mode operasi *Cruising* motor listrik (*DC Motor*) tetap akan berperan sebagai penggerak utama kapal, pada mode operasi ini kapal akan bergerak dengan kecepatan rata-rata 10 knot. Baterai akan menyuplai daya Motor DC ini. Mesin bantu yang bekerja hanya 1, untuk menyuplai kebutuhan listrik di kapal.



Gambar 5. Skema kerja permesinan pada mode *Assisting*

Pada mode operasi *Assisting* mesin diesel akan berperan sebagai penggerak utama kapal, tetapi dapat bantuan langsung dari motor listrik (*DC Motor*). Hal ini akan bergantung pada kapasitas baterai yang tersisa, bila mencukupi mesin listrik dapat membantu mesin diesel sebagai penggerak kapal. Pada mode operasi ini kapal akan bergerak dengan kecepatan rata-rata 3-4 knot saja. Mesin bantu yang bekerja sekaligus 2, untuk

menyuplai kebutuhan listrik di kapal, dan juga untuk mengisi daya baterai apabila diperlukan.

Keterangan gambar :

- Main Engine 1 & 2* = MITSUBISHI S6R2-MPTK 610 KW/818 HP
- Genset 1 & 2* = YANMAR 4TNE94 40 kVA (32 ekW)
- Electro Motor 1 & 2* = SIEMENS 1HS6 228-oNB 160 kW 1000 Rpm 600V 294A

Konfigurasi ini menggunakan 23 baterai yang disusun dengan rangkaian seri menghasilkan 600 Volt tegangan dan 5 baterai disusun parallel yang menghasilkan 900 Ah. Untuk konsumsi arus motor DC yang digunakan maksimal adalah 294 A. Sehingga baterai di prediksi dapat bertahan hingga 3 jam penggunaan maksimum oleh mesin listrik. Penggunaan baterai maksimal adalah 3 jam lamanya setelah itu baterai akan diisi ulang menggunakan arus listrik dari mesin bantu maupun suplai listrik saat kapal sandar di dermaga.

Tabel 6. Sistem kerja mesin pada setiap mode operasi kapal

Komponen Mesin	Standby	Cruising	Assistng
ME 1	Off	Off	On
ME 2	Off	Off	On
Motor listrik 1	On	On	On
Motor Listrik 2	On	On	On
Genset 1	On	Off	On
Genset 2	Off	On	On

Data pada tabel 6 ditunjukkan komponen-komponen utama pada system permesina yang bekerja pada system hybrid.

### 3.5. Perhitungan penggunaan, kebutuhan bahan bakar tiap system permesinan yang dikaji

Untuk mendapat nilai kebutuhan dan penggunaan bahan bakar dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$FO_{mass} = P \times sfoc$$

Dimana,

P : Daya yang digunakan (kW)

sfoc : *specific feul oil consumption* (gr/kWh)

Jika disetiap hitung kondisi kerja yang telah di tentukan diatas, maka kebutuhan bahan bakar pada system konvensional akan di dapat seperti pada table di bawah ini:

Tabel 7. Kebutuhan bahan bakar Mitsubishi S6R2-MPTK

Mode Operasi	Daya (kW)	SFOC (gr/kWh)	Fuel Consumption (gr/h)
Standby	3,013	215	647,8
Cruising	332,9	215	71573,5
Assisting	1356,3	215	291617,4

Data pada tabel 7 ditunjukkan jumlah konsumsi bahan bakar mesin diesel penggerak utama pada tiap mode operasi. Untuk kebutuhan bahan bakar mesin bantu (*auxiliary engine*) maka dapat dihitung melalui tabel di berikut ini :

Tabel 8. Kebutuhan bahan bakar mesin bantu Yanmar 4TNE94

Mode Operasi	Daya (ekW)	SFOC (gr/kWh)	Fuel Consumption (gr/h)
Standby	36,8	270	9936
Cruising	36,8	270	9936
Assisting	73,6	270	19872

Data pada tabel 8 ditunjukkan jumlah konsumsi bahan bakar mesin bantu diesel pada tiap mode operasi.

Tabel 9. Kebutuhan bahan bakar pada system konvensional

Mode Operasi	Fuel Consumption (gr/h)
Standby	10583,8
Cruising	81509,5
Assisting	311489,4

Dari data pada tabel 9 dapat dilihat jumlah total konsumsi bahan bakar mesin semua mesin diesel yang bekerja pada semua mode operasi pada system konvensional. Berikut adalah perhitungan konsumsi penggunaan bahan bakar pada konfigurasi permesinan hybrid :

Tabel 10. Kebutuhan bahan bakar Mitsubishi S6R2-MPTK dengan bantuan mesin listrik

Mode Operasi	Daya (kW)	SFOC (gr/kWh)	Fuel Consumption (gr/h)
Assisting	1080,2	215	232243

Dari data pada tabel 10 dapat dilihat konsumsi bahan bakar mesin diesel utama pada system hybrid di tiap mode operasi. Untuk mesin bantu (*auxiliary engine*) akan tetap bekerja sesuai operasi awalnya, Untuk menentukan penggunaan bahan bakar pada konfigurasi hybrid dapat dilihat melalui table berikut :

Tabel 11. Kebutuhan bahan bakar mesin bantu Yanmar 4TNE94

Mode Operasi	Daya (ekW)	SFOC (gr/kWh)	Fuel Consumption (gr/h)
Standby	36,8	270	9936
Cruising	36,8	270	9936
Assisting	73,6	270	19872

Dari table 11 dapat dilihat konsumsi bahan bakar mesin diesel bantu pada system hybrid di tiap mode operasi yang ada.

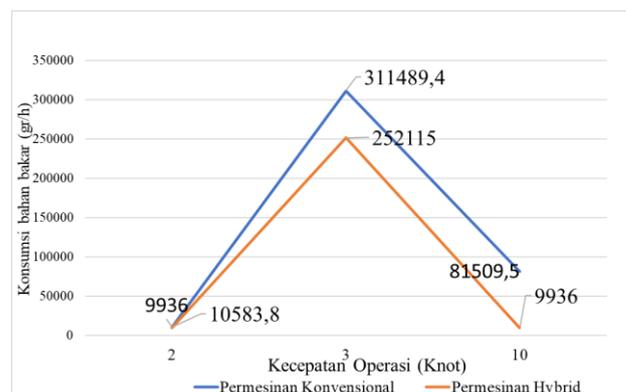
Tabel 12. Kebutuhan bahan bakar pada system Hybrid

Mode Operasi	Fuel Consumption (gr/h)
Standby	9936
Cruising	9936
Assisting	252115

Pada tabel 12 merupakan data jumlah konsumsi bahan bakar total semua mesin diesel pada system hybrid di setiap mode operasi.

### 3.6. Perbandingan penggunaan bahan bakar pada konfigurasi permesinan konvensional dengan konfigurasi permesinan hybrid

Berikut adalah grafik perbandingan penggunaan bahan bakar kedua system yang dikaji:



Gambar 6. Grafik perbandingan konsumsi BBM

Dari grafik diatas dapat dilihat secara nyata bahwa perbandingan konsumsi bahan bakar total pada system konvensional dan system hybrid terlihat perbandingan yang cukup signifikan dimana system hybrid jauh lebih sedikit dalam konsumsi BBM.

### 3.7. Analisa kolaborasi kerja mesin penggerak diesel dan mesin penggerak listrik

Hasil Analisa sederhana ini akan menghasilkan kesimpulan yang memperkuat variasi model permesinan hybrid yang di rencanakan penulis. Sebagai acuan utama perhitungan penulis menggunakan rumus berikut sebagai sumber data perhitungan:

$$BHP = \frac{T \times RPM}{5252}$$

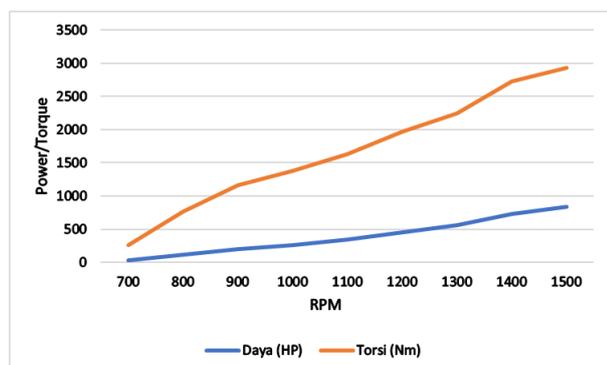
Dimana,

- BHP : daya dalam satuan HP (*Horse Power*)
- T : torsi (Nm)
- RPM : jumlah putaran mesin (RPM)
- 5252 : ketapan (konstanta) untuk daya motor dalam satuan HP

Tabel 13. Besar Torsi Mesin Mitsubishi S6R2-MPTK

Mode Operasi	Daya (HP)	RPM	Torsi (Nm)
Standby	68,7	700	515,4
Cruising	372,1	900	2178,2
Assisting	1818,9	1500	6368,5

Dari tabel 13 dapat dilihat besar torsi mesin diesel pada tiap RPM kerja.



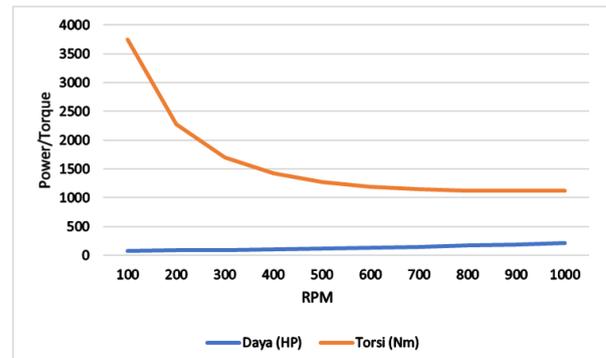
Gambar 7. Performance Curve Mitsubishi S6R2-MPTK

Grafik tersebut menunjukkan performa kerja mesin diesel penggerak utama pada tiap variasi putaran mesin.

Tabel 14. Besar Torsi Mesin Listrik Siemens 1HS6 228-oNB

Mode Operasi	Daya (HP)	RPM	Torsi (Nm)
Standby	152,8	700	1146,38
Cruising	383,2	900	2236,2
Assisting	429,1	1000	2253,74

Dari tabel 14 dapat dilihat besar torsi mesin listrik pada tiap RPM kerja.



Gambar 8. Performance Curve Siemens 1HS6 228-oNB

Grafik tersebut menunjukkan performa kerja mesin listrik penggerak utama pada tiap variasi putaran mesin.

### 3.8. Analisa sederhana perubahan engine room layout pada kapal setelah penerapan konfigurasi permesinan hybrid

Berikut adalah ukuran utama mesin listrik Siemens 1HS6 228-oNB :

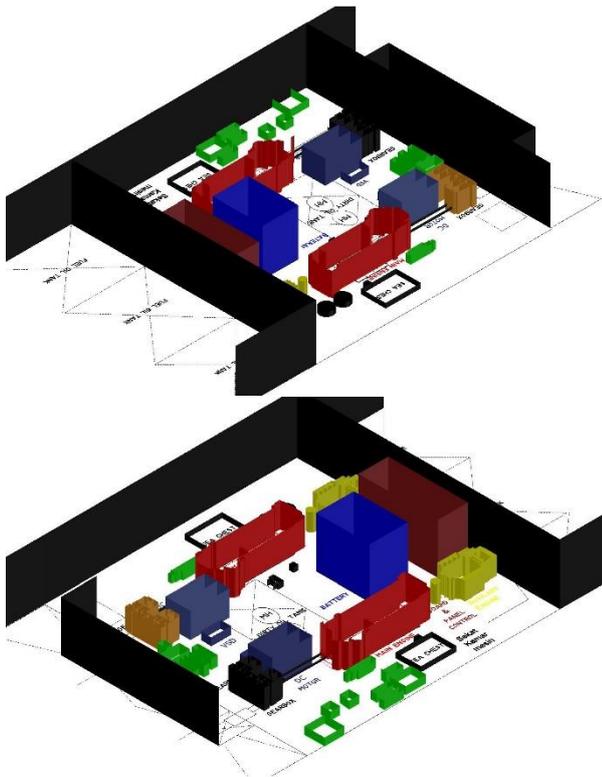
- Siemens 1HS6 228-oNB
- L 1230 mm
- W 705 mm
- H 1070 mm
- Dry Weight 1100 kg

Dimensi dari baterai Mastervolt MLI Ultra 24/5000 adalah bagai berikut :

- L 622 mm
- W 197 mm
- H 355 mm
- Dry Weight 58 kg

Setelah disusun dengan konfigurasi seri dan parallel sebanyak 28 baterai, dimensinya menjadi :

- L 1775 mm
- W 1244 mm
- H 591 mm
- Dry Weight 1624 kg



Gambar 13. Tampak 3 dimensi *Engine Room Layout* kapal konsep baru

Gambar tersebut merupakan bentuk dan instalasi permesinan pada kamar mesin kapal dengan penerapan system hybrid ini, dapat dilihat juga tidak banyak perubahan signifikan yang terjadi pada instalasi kamar mesin.

Setelah dilakukan analisa perubahan posisi komponen di kamar mesin, maka selanjutnya dilakukan analisa perubahan LWT (*light weight tonnage*) dengan menjumlahkan semua berat komponen baru yang terdapat di kamar mesin, berikut adalah perhitungan sederhananya :

Tabel 15. Berat LWT tambahan dari system permesinan hybrid

Nama komponen	Berat (kg)	Jumlah
<i>Electro Motor</i>	1100	2
Baterai	58	28
Total		3824 kg

Tabel 15 menunjukkan berat dan jumlah komponen baru pendukung kerja system hybrid ini.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan diatas, maka dapat disimpulkan :

1. Mendapat konfigurasi *Hybrid engine system* pada tugboat TB.MD dengan 18 ton *bollard pull*, konfigurasi yang dimaksud dan di bahas adalah menggunakan 2 jenis mesin penggerak utama, yakni mesin diesel konvensional dan mesin listrik. Mode operasi yang berbeda beda menjadi acuan dalam penentuan optimalisasi system baru ini.
2. Melalui penerapan konfigurasi permesinan hybrid konsumsi dan pemakaian BBM hampir 20% lebih rendah jika dibanding dengan konfigurasi permesinan konvensional.
3. Dengan penerapan system permesinan hybrid, mesin utama lebih singkat jam kerjanya, sehingga *time between overhaul* juga akan semakin lama.
4. Jam kerja mesin bantu (*auxiliary engine*) tidak berubah signifikan akibat adanya penambahan perangkat penyimpan daya berupa baterai.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak atas doa, bantuan, dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Bimantoro, I. Ariana, and I. Gerianto, "Analisa Penerapan Sistem Hybrid Pada Kapal KPC - 28 Dengan Kombinasi Diesel Engine dan Motor Listrik yang Disuplai Dengan Batterai," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 3, no. 1, pp. 64–69, 2014.
- [2] R. D. Geertsma, R. R. Negenborn, K. Visser, and J. J. Hopman, "Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships : A review of developments," *Applied Energy*, vol. 194, pp. 30–54, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.02.060.
- [3] Ardiwijaya, and I. Noor, "Desain Konseptual Hybrid Propulsion Mesin Diesel Dengan Motor Listrik Pada Tugboat 70 Ton Bollard Pull Untuk Aplikasi Di Pelabuhan," *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 4, No. 2, pp.1-93, 2015.
- [4] Kuswardana. Aditya, "ANALISIS SISTEM MOTOR PENGGERAK PADA MOBIL LISTRIK DENGAN KAPASITAS SATU PENUMPANG," *Digilib UNNES*, pp. 1-52, 2016.
- [5] E. S. Koenhardono, J. Prananda, and E. Danian, "Analysis of Engine Propeller Matching of DC Motor as a Main Propulsion,"

International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, vol. 2, no. 1, pp. 8–15, 2017, <https://doi.org/10.12962/j25481479.v2i1.272>.

- [6] P. Wu and R. Bucknall, “Hybrid fuel cell and battery propulsion system modelling and multi-objective optimisation for a coastal ferry,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 4, pp. 3193–3208, 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.11.152.
- [7] M. T. Afif, I. Ayu, and P. Pratiwi, “ANALISIS PERBANDINGAN BATERAI LITHIUM-ION , LITHIUM-POLYMER , LEAD ACID DAN NICKEL-METAL HYDRIDE PADA PENGGUNAAN MOBIL LISTRIK,” *Jurnal Rekayasa Mesin* , vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015, doi:10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.
- [8] T. Völker, “Hybrid propulsion concepts on ships Harbor Tug Description of harbor tug Load profiles for harbor Tug,” *Scientific Journal of Gdynia Maritime University*, pp. 11-16, 2015, doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-658-10958-5\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-658-10958-5_21).
- [9] J. Aspin and S. Hayman, “The Hybrid Tug Reality – The Business Case for Green Technology in the Tugboat Industry,” *The Netherlands Organised by the ABR Company*, No. 2, pp. 1–10, 2009.
- [10] P. De Vos and M. Krijgsman, “Control of Hybrid Ship Drive Systems Control of Hybrid Ship Drive Systems,” *COMPIT*, no. 15 , 2011.