



SKRIPSI - 141501

**DESAIN KONSEPTUAL HYBRID PROPULSION
MESIN DIESEL DENGAN MOTOR LISTRIK PADA
TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL UNTUK
APLIKASI DIPELABUHAN**

**IMRON NOOR ARDIWIJAYA
NRP 421110075**

**Dosen Pembimbing 1
Indrajaya Gerianto Ir., M.Sc**

**Dosen pembimbing 2
DR. I Made Ariana, ST, MT**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



FINAL PROJECT - 141501

**CONCEPTUAL DESIGN HYBRID PROPULSION
CONVENTIONAL ENGINE AND ELECTRIC
MOTOR ON TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL
FOR HARBOUR APPLICATION**

**IMRON NOOR ARDIWIJAYA
NRP 421110075**

**Supervisor 1
Indrajaya Gerianto Ir., M.Sc**

**Supervisor 2
DR. I Made Ariana, ST, MT**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KONSEPTUAL HYBRID PROPULSION MESIN DIESEL DENGAN MOTOR LISTRIK PADA TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL UNTUK APLIKASI DIPELABUHAN

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Imron Noor Ardiwijaya.

NRP. 4211-100-075

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS :

DR. Ir. Agoes A. Masroeri, M.Eng (

Surabaya, Juli 2015

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KONSEPTUAL HYBRID PROPULSION MESIN DIESEL DENGAN MOTOR LISTRIK PADA TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL UNTUK APLIKASI DIPELABUHAN

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Imron Noor Ardiwijaya
NRP. 4211 100 075

Disetujui Oleh Pembimbing Skripsi :

1. **Indrajaya Gerianto Ir., M.Sc**
2. **DR. I Made Ariana, ST, MT**



Surabaya, Juli 2015

DESAIN KONSEPTUAL HYBRID PROPULSION MESIN DIESEL DENGAN MOTOR LISTRIK PADA TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL UNTUK APLIKASI DIPELABUHAN

Nama Mahasiswa : Imron Noor Ardiwijaya.
NRP : 4211 100 075
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Indrajaya Gerianto Ir., M.Sc
Dosen Pembimbing 2 : DR. I Made Ariana, ST, MT

ABSTRAK

Tugboat Adalah Salah Satu Jenis Kapal Yang Berfungsi Untuk Membantu Menarik Kapal Besar Di Area Pelabuhan. Dalam Menjalankan Kerjanya, Tugboat Beroperasi Pada Mode Operasi Yang Berbeda – Beda. Mode Operasi Kerja Tugboat Tersebut Adalah Sebagai Berikut Mode *Standby*, Mode *Cruising*, Dan Mode *Assisting*. Mode Operasi Tugboat Yang Berbeda – Beda Mengakibatkan Konsumsi Bahan Bakar Tidak Optimal. Salah Satu Alternative Untuk Mengatasi Hal Tersebut Adalah Dengan Menggunakan System Tenaga Penggerak Hybrid Atau *Hybrid Propulsion System*. *Hybrid Propulsion System* Adalah Konfigurasi Permesinan Dengan Dua Sistem Tenaga Penggerak. Sistem Tenaga Penggerak Hybrid Bekerja Pada Setiap Mode Operasi Dari Tugboat Untuk Mengoptimalkan Kerja Dan Konsumsi Bahan Bakar Penggerak Utama. *Hybrid Propulsion System* Tersusun Dari 2 Mesin Diesel Dan 2 Motor Listrik. Dengan Menggunakan System Tenaga Penggerak Hybrid Dapat Menghemat Bahan Bakar Hingga 30 % Dari Permesinan Konvensional.

Kata kunci : *Hybrid propulsion system, konfigurasi permesinan, konsumsi bahan bakar..*

CONCEPTUAL DESIGN HYBRID PROPULSION CONVENTIONAL ENGINE AND ELECTRIC MOTOR ON TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL FOR HARBOUR APPLICATION

Name : Imron Noor Ardiwijaya
NRP : 4211 100 075
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Advisor 1 : Indrajaya Gerianto Ir., M.Sc
Advisor 2 : DR. I Made Ariana, ST, MT

ABSTRACT

Tugboat is one types of vessel that has function to assist pull a big ship in port area. In that's work, tugboat has many differences mode of operation. Operation Mode of tugboat as standby mode, cruising mode, and assisting mode. Cause has differences in mode operation, makes not optimalitation in fuel oil consumption. One alternative to overcome this is to use a hybrid propulsion system. Hybrid propulsion system is machining configuration with two propulsion system. Hybrid propulsion system work in every mode of operation tugboat that give optimalitation work and consumption fuel oil in propulsion system. Hybrid propulsion system consist of 2 diesel mechanical and 2 electricity motor. Hybrid propulsion system give better economical fuel oil consumption until 30 % than konvensional machinery.

Keywords : Hybrid propulsion system, konfigurasi permesinan, power. Fuel oil consumption

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ **DESAIN KONSEPTUAL HYBRID PROPULSION MESIN DIESEL DENGAN MOTOR LISTRIK PADA TUGBOAT 70 TON BOLLARD PULL UNTUK APLIKASI DIPELABUHAN** ” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – FTK - ITS.

Saya menyadari bahwa, tanpa dukungan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberi dukungan, motivasi dan doa restu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak DR. Ir. Agoes A. Masroeri, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan selaku dosen wali.
3. Bapak Indrajaya Gerianto Ir., M.Sc selaku dosen pembimbing 1 yang selalu sabar membimbing dan memberi pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak DR. I Made Ariana, ST, MT selaku dosen pembimbing 2 yang sabar rutin memberikan pengarahan dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Trika Pitana, ST. M.Sc, selaku koordinator tugas akhir ini.
6. Bapak dosen beserta staf dan karyawan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – ITS.

7. Saudara - saudaraku mahasiswa Jurusan Sistem perkapalan, Ampibi 11 angkatan 2011 yang selalu memberikan dukungan kepada saya.
8. Saudara – Saudaraku di kontrakan rumah muslim gang buntu, Eko, Elip, Adnan yang berjuang bersama mengerjakan tugas akhir.
9. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan semuanya yang telah membantu saya.

Semoga TUHAN Yang Maha Esa selalu memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya kepada kita. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Karakteristik Kapal Jenis Tugboat.....	5
2.2. Mode Operasi Tugboat Pelabuhan (Harbour Tug)	6
2.3. Bollard Pull	7
2.4. Karakteristik Mesin Diesel	10
2.5. Karakteristik motor listrik.....	11
2.6. System Propulsi Hybrid	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Perumusan Masalah	15
3.2. Studi Literatur	15
3.3. Perhitungan daya kebutuhan system	16
3.4. Desain Konfigurasi hybrid.....	16
3.5. Pemilihan Komponen Pendukung.....	17
3.6. Prediksi kebutuhan bahan bakar	17

3.7.	Analisa dan kesimpulan	17
BAB IV PEMBAHASAN.....		19
4.1.	Perhitungan daya kebutuhan system.....	19
4.1.1.	Perhitungan tahanan kapal.....	20
4.2.	Perhitungan kebutuhan daya penggerak pada setiap mode operasi tugboat	29
4.2.1.	Perhitungan daya saat bollard pull test	29
4.2.2.	Perhitungan daya saat mode <i>cruising</i>	34
4.2.3.	Perhitungan daya saat mode <i>stanby</i>	37
4.2.4.	Perhitungan daya saat mode <i>assisting</i>	38
4.2.5.	Perhitungan kebutuhan listrik	46
4.4.	Konfigurasi propulsion system	50
4.4.1.	Komponen pendukung hybrid propulsion system ..	51
4.4.2.	Desain konfigurasi Hybrid System	54
4.5.	Perhitungan kebutuhan bahan bakar	60
4.5.1.	Prediksi Kebutuhan bahan bakar konfigurasi permesinan konvensional (mesin diesel).....	60
4.5.2.	Prediksi kebutuhan bahan bakar konfigurasi permesinan hybrid.....	63
BAB V Kesimpulan dan Saran.....		67
5.1.	Kesimpulan	67
5.2.	Saran	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Time Between overhaul MTU engine pada standard load profile macam – macam aplikasi.....	11
Tabel 4. 1 Daya yang dihasilkan pada tiap type propeller Ka series	31
Tabel 4. 2 Kebutuhan daya saat mode <i>Cruising</i>	35
Tabel 4. 3 kebutuhan daya saat mode <i>standby</i>	37
Tabel 4. 4 Nilai konstan α dan β pada kecepatan kapal yang berbeda pada pembebanan yang sama.	41
Tabel 4. 5 Nilai Kt pada variasi nilai j dan kecepatan.....	42
Tabel 4. 6 Nilai Kt KQ dan η_0 pada diagram open water test.....	43
Tabel 4. 7 Perhitungan daya kondisi servise asissting	45
Tabel 4. 8 kebutuhan daya listrik pada tiap komponen	46
Tabel 4. 9 Kebutuhan daya pada tiap mode operasi	47
Tabel 4. 10 Load factor pada genset caterpillar C 4.4 119 kVA @60HZ pada tiap mode operasi	48
Tabel 4. 11 Kebutuhan listrik pada motor listrik pada hybrid propulsion.....	48
Tabel 4. 12 Kebutuhan listrik hybrid propulsion sistem.	49
Tabel 4. 13 Load factor generator pada setiap mode Hybrid propulsion.....	49
Tabel 4. 14 Konfigruasi permesinan hybrid pada tugboat.....	56
Tabel 4. 15 SFOC caterpillar 3516 C bHp 3384.7 @1800 Rpm.	61
Tabel 4. 16 Kebutuhan bahan bakar mesin diesel pada tiap mode operasi	62
Tabel 4. 17 Kebutuhan bahan bakar pada genset pada konfigurasi permesinan konvensional	62
Tabel 4. 18 kebutuhan bahan bakar total pada konfigurasi permesinan konvensional.	63
Tabel 4. 19 Engine performance pada generator set C 18 Acert 563 kVA	64
Tabel 4. 20 Load factor genset pada tiap mode operasi	65
Tabel 4. 21 Perhitungan kebutuhan bahan bakar tiap mode operasi pada genset	65

DAFTAR SIMBOL

L_{pp}	Length Perpendicular
B	Breadth
H	Depth
T	Draft
V_s	Velocity
C_b	Coefficient Block
C_p	Coefficient Perismatic
C_m	Coefficient Midship
C_w	Coefficient Waterplane
Δ	Displacement
WSA	Wetted Surface Area
ρ	density of water
∇	Volume displacement
g	gravity
Fn	Froude Number
R_t	Resistance
S	Wetted Surface
R_w	Wave – making resistance
n_{pro}	Rotation Propeller
D_{pro}	Diameter Propeller
w	wake fraction
T	Thrust
K_T	Coefficient Thrust
K_Q	Coefficient Torque
J	Advance Ratio
BHP_{mcr}	Brake Horse Power Maksimum continuous rating
BHP_{scr}	Brake Horse Power Servise Continous rating
DHP	Delivered Horse Power
P	power
$SFOC$	Spesific Fuel Oil Consumption
FC	Fuel Consumption
t	thrust deduction

V_a	Advance Velocity
η_s	Efficiency of shaft
η_H	Efficiency of hull
η_g	Efficiency of gear reduction
η_R	Efficiency Rotative
η_D	Efficiency of Propulsive
η_0	Efficiency of open water test

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gambar persiapan tugboat untuk melakukan bollard test, tali towing hook di kaitkan tugboat dengan bollard yang ada di dermaga	8
Gambar 2. 2 Gambar tugboat menguji kemampuan daya tarik dari tugboat tersebut.	8
Gambar 2. 3 Motor listrik sumber tenaga gerak.....	11
Gambar 2. 4 Gambar rangkaian konfigurasi hybrid propulsion yang direncanakan.	14
Gambar 3. 1 Gambar pemodelan system permesinan hybrid.....	16
Gambar 3. 2 Gambar Diagram Alir Proses Penelitian	18
Gambar 4. 1 Diagram open water test Kaplan Ka 4 – 70 (22) dengan variasi kecepatan.....	44
Gambar 4. 2 konfigurasi permesinan tugboat pada umumnya	50
Gambar 4. 3 motor listrik sebagai sumber tenaga gerak lain	51
Gambar 4. 4 Variable Speed Drive (VSD), pengatur kecepatan putaran motor listrik.....	52
Gambar 4. 5 <i>gearbox / reduction gear</i> dengan <i>double input single output (Power Take Off System)</i>	53
Gambar 4. 6 konfigurasi penambahan sumber tenaga gerak lain.	54
Gambar 4. 7 konfigurasi hybrid propulsion system motor listrik dengan motor diesel.	55
Gambar 4. 8 kondisi tugboat saat mode operasi stanby	57
Gambar 4. 9 Kondisi tugboat saat mode operasi free running	58
Gambar 4. 10 Kondisi tugboat saat mode operasi <i>assisting</i>	59
Gambar 4. 11 Grafik SFOC Caterpillar 3516 C 3384.7 bHp @1800 Rpm.....	61
Gambar 4. 12 Grafik SFOC Caterpillar genset C 18 563 kVA ...	64
Gambar 4. 13 Perbandingan konsumsi bahan bakar	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Harbour tug adalah kapal jenis tug boat yang beroperasi di pelabuhan yang bertugas untuk membantu kapal-kapal yang akan berlabuh ke dermaga untuk melaksanakan kegiatan bongkar muat. Mode operasi dari tugboat dapat terdiri dari *standby*, *assist*, *cruising* atau *free running*. *Standby* adalah operasional tugboat dalam menjaga posisi tugboat dengan kondisi tugboat berada di dekat kapal yang akan ditarik. *Assist* adalah operasional tugboat yang sedang membantu kapal lain dengan menarik / mendorong untuk merapat ke dermaga, sedangkan *cruising* adalah operasional tugboat dari pelabuhan menuju ke kapal yg mau di tarik ke dermaga.

Dalam setiap moda operasinya tugboat tersebut memerlukan daya yang berbeda. Dalam kondisi assist daya yang diperlukan adalah 100 % dari daya seluruh mesin karena kondisi ini sedang menarik kapal. Sedangkan dalam kondisi cruising atau keadaan free running tugboat menggunakan daya sekitar 10-30 % dari daya total mesin penggerak utama. Dan dalam kondisi *standby* menggunakan daya 10 – 20 % dari daya untuk menjaga posisi tugboat tersebut. Dalam waktu satu bulan kerja operasi tugboat tidak selalu dalam kondisi 100 % daya mesin utama.

Karakteristik dari mesin adalah jika mesin sering bekerja pada daya kurang dari 75 % daya keseluruhan, *Time Between Overhaul* (TBO) akan semakin cepat. Semakin cepat dan pendeknya TBO dari suatu mesin akan merugikan dari pemilik kapal karena akan mengurangi dari operasional dari kapal.

Dari *operasional cycle* pada setiap mode operasional tugboat tersebut, perlu di desain sebuah propulsi system yang

menghasilkan kerja kapal pada kondisi yang optimal. Konfigurasi propulsi yang umum pada tugboat adalah menggunakan mesin diesel untuk menggerakkan propeller. Konfigurasi ini memiliki kelemahan yaitu pada pemakaian dari daya mesin yang bekerja pada mode operasi *standby* dan *cruising* karena dalam mode operasi tersebut tugboat bekerja pada daya 10 – 30 % daya. Alternative desain yang bisa digunakan untuk saat ini adalah *system hybrid propulsion*.

Dalam kondisi Hybrid, mode operasi *cruising* dan *standby* pada kapal akan menggunakan system propulsi lain dari mesin diesel yaitu motor listrik. System hybrid yang dibicarakan adalah hybrid propulsi yang dimana terdapat dua sumber tenaga gerak yang bekerja pada tiap mode operasi kerjanya. Dalam mode operasi *cruising* dan *standby*, tugboat menggunakan motor listrik karena tidak membutuhkan daya yang besar, dan ketika bekerja pada kondisi *assisting*, tugboat membutuhkan daya yang besar, sehingga menggunakan daya yang berasal dari mesin penggerak utama. Sehingga daya yang digunakan pada setiap mode operasi tugboat akan lebih optimal dalam kondisi kerjanya.

1.2. Perumusan Masalah Penelitian

Permasalahan pokok pada tugas akhir ini adalah bagaimana membentuk system hybrid propulsion mesin diesel dan motor listrik pada tugboat 70 ton *bollard pull* untuk tugboat untuk dipelabuhan, detail permasalahan yang akan di analisa adalah :

- a. Bagaimana menentukan konfigurasi desain hybrid propulsi mesin diesel dengan motor listrik pada tugboat 70 ton bollard pull
- b. Bagaimana pemilihan komponen komponen pendukung system hybrid.
- c. Bagaimana kebutuhan daya mesin diesel dan motor listrik pada setiap mode operasi tugboat pada system hybrid.

- d. Bagaimana prediksi bahan bakar perbandingan konsumsi bahan bakar system hybrid dan system konvensional?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menegaskan dan lebih menfokuskan permasalahan yang akan di analisa dalam penelitian tugas akhir ini, maka permasalahan-permasalahan yang akan dibahas hanya :

- Tugboat yang digunakan adalah jenis kapal harbourtug.
- Pembuatan konfigurasi *hybrid propulsion system* pada tugboat.
- Analisa yang dilakukan pada kebutuhan daya setiap propulsi untuk setiap mode operasi kapal.
- Analisa pada kebutuhan bahan bakar pada konfigurasi hybrid dan konfigurasi permesinan konvensional pada setiap mode operasi tugboat.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini di antaranya :

1. Untuk mendapatkan konfigurasi desain hybrid yang optimal pada setiap mode operasi kerja tugboat
2. Mendapatkan pemilihan komponen yang tepat pendukung system hybrid.
3. Dapat mendesain hybrid propulsion system untuk tugboat 70 ton bollard pull.
4. Mendapatkan hybrid propulsion system yang hemat bahan bakar.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui manfaat system pada tugboat

2. Mendapatkan gambaran tentang hybrid propulsion system pada pada tugboat.
3. Memperoleh system hybrid yang dapat mengoptimalkan penggunaan daya pada setiap mode operasi kerja tugboat
4. Mendapatkan system hybrid propulsion yang hemat bahan bakar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Kapal Jenis Tugboat.

Tugboat adalah jenis kapal yang digunakan untuk membantu menarik ataupun mendorong kapal lain. Baik kapal – kapal besar yang akan bersandar kepelabuhan maupun kapal – kapal yang tidak mempunyai penggerak sampai bangunan lepas pantai. Sesuai dengan tenaga pendorongnya, fungsi tugboat pada umumnya adalah

- a) Menarik atau mendorong kapal – kapal yang berukuran besar yang kesulitan bersandar di dermaga. Contoh tanker, kapal induk maupun kapal – kapal yang tidak memiliki penggerak sendiri. Contoh kapal tongkang, Serta memindahkan bangunan lepas pantai.
- b) Membantu melaksanakan *mooring* dan *unmooring* kapal – kapal niaga.
- c) Membantu memadamkan api jika terjadi kebakaran dipelabuhan maupun dikapal karena tugboat yang dilengkapi dengan pompa air.

Sesuai dengan daerah pelayarannya tugboat dapat digolongkan menjadi :

- a) Kapal jenis tugboat pelayaran laut besar (*Ocean Going Tugboat*) merupakan tugboat yang daerah pelayarannya di laut lepas. Biasanya tugboat jenis ini digunakan untuk menyuplai bahan bakar dari hasil kilang minyak (*Anchor Handling Supply Vessel*)

- b) Kapal jenis tugboat Pelabuhan (Harbour Tug) merupakan tugboat yang daerah pelayarannya beroperasi dipelabuhan. Fungsi kapal ini yaitu menarik ataupun mendorong kapal dari laut untuk merapat ke pelabuhan dan sebaliknya.
- c) Kapal jenis tugboat Perairan Dangkal dan Sungai (*River Tug*) Merupakan tugboat yang daerah pelayarannya beroperasi pada perairan dangkal dan sekalipun memasuki daerah sungai yang mendekati hulu.

Tugboat dirancang untuk dapat melakukan bermacam pekerjaan seperti menarik, mendorong, menggandeng dan menambatkan kapal – kapal dan alat apung yang mempunyai bobot besar. Sehingga pada tugboat tidak diperhitungkan pada kecepatannya melainkan menitikberatkan pada kemampuan daya untuk bollard pull. Pada tugboat ini juga dilengkapi dengan peralatan tarik seperti *towing winch*, *towing pins*, *capstan*. Tugboat juga dilengkapi dengan pompa pemadam kebakaran.

2.2. Mode Operasi Tugboat Pelabuhan (Harbour Tug)

Mode Operasi tugboat dalam kondisi kerjanya memiliki berbagai macam kondisi kerja dan berbagai macam daya yang digunakan dalam setiap mode operasinya. Macam – macam mode operasi tugboat sebagai berikut :

- a. Mode operasi *standby*
Mode operasi *standby* adalah mode operasi tugboat yang berada di laut lepas kondisi dimana kapal menggunakan daya dari penggerak untuk mempertahankan posisinya disaat tugboat sudah dekat dengan kapal yang akan ditarik dan menunggu perintah untuk menarik tali dari kapal yang akan dipandu. Mesin bekerja pada 10-15% daya total

mesin utama. Kondisi ini tugboat bekerja pada kecepatan 1-2 knot dalam menjaga posisinya.

b. Mode operasi *freerunning*

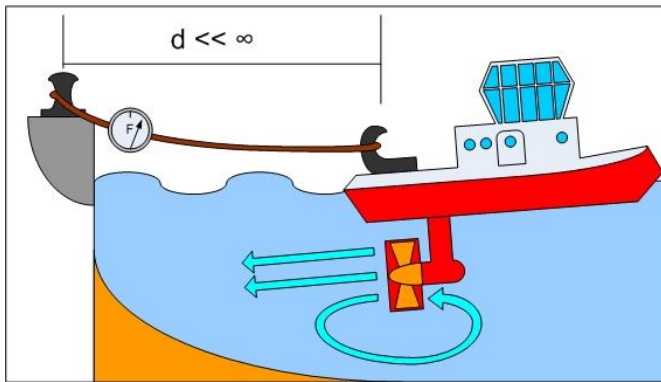
Mode operasi ini adalah kondisi kerja dimana tugboat bekerja tanpa ada beban atau bekerja saat tugboat berlayar dari pelabuhan ke laut lepas untuk menjemput kapal yang akan ditarik menuju ke pelabuhan. Pada kondisi ini tugboat bekerja pada kecepatan 7-12 knot. Daya mesin yang digunakan pada mode ini 25-35 % dari daya total mesin utama yang ada di tugboat.

c. Mode operasi menarik atau *assisting*

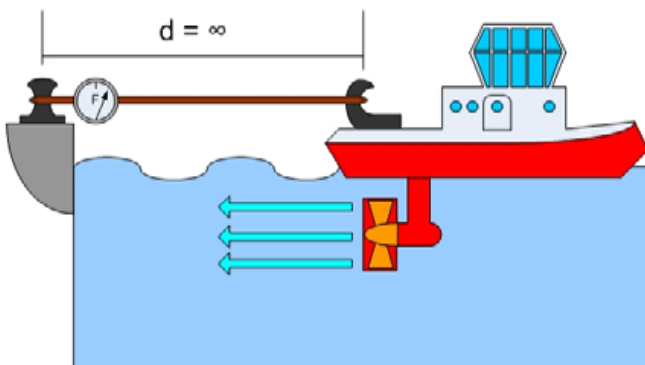
Kondisi dimana tugboat sedang menarik kapal besar yang akan merapat kepelabuhan dimana kondisi tugboat bekerja pada kecepatan 2-5 knot. Kondisi ini tugboat bekerja pada keadaan mesin *full throthlle* atau kondisi mesin bekerja penuh.

2.3. Bollard Pull

Bollard Pull adalah kemampuan dari daya tarik beban statis tugboat menarik suatu beban. Bollard pull dihasilkan dari daya mesin yang dikombinasikan dengan thrust propeller sehingga menghasilkan daya dorong pada tugboat. Bollard pull di dapatkan pada saat pengujian tugboat yang dikaitkan dengan tali pada *towing hook* tugboat di ikatkan pada bollard yang tertanam pada dermaga. Daya Tarik tugboat di uji sampai berapa ton kemampuan daya tariknya. Bollard pull di hasilkan oleh daya mesin yang di salurkan melalui *thrust propeller* sehingga mendapatkan torsi yang diinginkan.



Gambar 2. 1 Gambar persiapan tugboat untuk melakukan bollard test, tali *towing hook* di kaitkan tugboat dengan bollard yang ada di dermaga



Gambar 2. 2 Gambar tugboat menguji kemampuan daya tarik dari tugboat tersebut.

Dalam perhitungan menentukan bollard pull tugboat terdapat beberapa rumus pendekatan yang dapat digunakan. Berikut merupakan rumus pendekatan untuk perhitungan bollard pull :

- Tugboat dengan menggunakan *fixed pitch propeller (Freewheeling)*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,10 / 100 = (t) \quad [\text{II.1}]$$

- Tugboat dengan menggunakan *fixed pitch propeller* dengan *kort-nozzle*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,20 / 100 = (t) \quad [\text{II.2}]$$

- Tugboat dengan menggunakan *controllable pitch propeller (freewheeling)*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,25 / 100 = (t) \quad [\text{II.3}]$$

- Tugboat dengan menggunakan *controllable pitch propeller* dengan *kort-nozzle*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,40 / 100 = (t) \quad [\text{II.4}]$$

Persamaan ini digunakan untuk memperkirakan konversi dari BHP ke “t” pada bollard pull efektif.

Dimana

BHP : Maksimun *Brake Horse Power* pada mesin (HP)

t : beban daya tarik (ton)

2.4. Karakteristik Mesin Diesel

Motor diesel dikategorikan dalam mesin pembakaran dalam. Prinsip kerja motor diesel adalah merubah energy kimia menjadi energy mekanis. Motor diesel disebut dengan motor penyalaaan kompresi karena penyalaaan bahan bakarnya di akibatkan oleh suhu, kompresi udara dalam ruang bakar. Pada motor diesel uap di hisap oleh torak dan dimasukan ke dalam ruang bakar yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan mendorong torak yang dihubungkan denga poros engkol menggunakan batang torak. Sehingga torak dapat bergerak bolak – balik. Gerak bolak balik torak akan di menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crank shaft*) dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol juga berubah menjadi gerak bolak balik torak pada langkah kompresi.

Karakteristik mesin adalah dalam kondisi kerjanya, mesin sering bekerja pada kondisi dibawah 75 % dari daya total mesin akan menyebabkan waktu perbaikan mesin (*time between overhaul*) akan semakin pendek. Jika perbaikan pada mesin semakin pendek akan membuat operasional mesin akan semakin pendek dan menyebabkan kerugian pada pemilik karena berkurangnya jam operasional dari mesin tersebut.

Salah satu *Time Between Overhaul* yang ada pada salah satu mesin MTU seri 4000 dengan standard *load profile* untuk macam macam aplikasi.

Tabel 2.1 *Time Between overhaul* MTU engine pada standard load profile macam – macam aplikasi.

Engine Type	Aplication	Standard Load Profile	TBO Hours
V4000M60	1A	100 % power @ 10% time 80 % power @ 50% time 60% power @ 20% time <15% power @ 20%time	24000
V4000M70	1B	100% power @ 75 %time <15% power @ 25%time	15000
V4000M90	1DS	100% power @ 10 % time 70% power @ 70 % time <10% power @ 20 %time	9000

2.5. Karakteristik motor listrik



Gambar 2. 3 Motor listrik sumber tenaga gerak

Motor listrik adalah motor yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya, dimana arus rotor motor yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus rotor. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fase dan motor induksi 1 fase. Motor induksi 3 fase dioperasikan pada system tenaga 3 fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industry dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1 fase dioperasikan pada system tenaga 1 fase dan banyak digunakan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, pompa air, dan sebagainya karena motor induksi 1 fase mempunyai daya keluaran yang rendah.

Motor induksi ac adalah motor yang paling sering digunakan sebab motor ini relative sederhana dan dapat dibuat dengan lebih murah dibandingkan dengan yang lain. Aplikasi motor ac digunakan untuk keperluan kecepatan konstan. Untuk karakteristik motor listrik dc mampu menghasilkan torsi tinggi pada kecepatan rendah, pengaturan kecepatan bagus pada seluruh rentang, kemampuan mengatasi beban yang berlebih dengan baik, namun secara fisik motor listrik dc lebih besar dibandingkan dengan motor ac pada daya yang sama.

2.6. System Propulsi Hybrid

Memperhatikan tentang kelangsungan bahan bakar fosil yang digunakan pada system tenaga penggerak kapal menyebabkan mendorong pemerintah untuk menegakan peraturan yang lebih ketat untuk tentang emisi. Peraturan yang lebih ketat ini memaksa pemilik kapal dan desainer kapal untuk mengevaluasi kembali desain dari propulsi kapal dan system powering. Salah satunya solusi yang bisa dilakukan adalah menerapkan teknologi hybrid system penggerak.

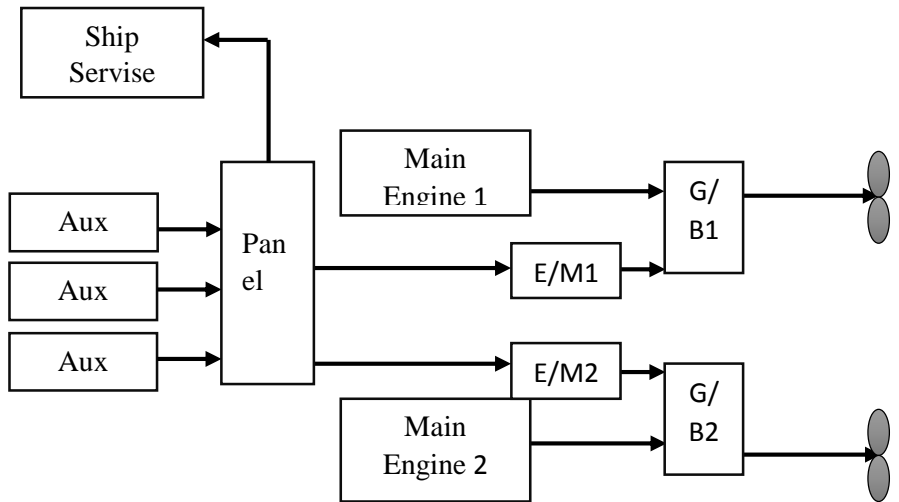
Metode penelitian mengenai teknologi Hybrid yang menggabungkan penggerak utama (diesel engine) dan penyimpanan (baterai) telah berhasil digunakan dalam kendaraan industry otomotif [mohammed et al, 2009] dan telah terbukti pengurangan emisi CO₂ [Alvares et al, 2008].

Berbagai konfigurasi rancangan kamar mesin dari tugboat yang menjadi penelitian dari Klien Woud. Dimana menunjukkan tugboat yang mempunyai 2 propeller yang digerakkan langsung oleh 2 mesin diesel. Sedangkan konsumsi beban elektrikal di supply 2 generator yang dirangkai secara parallel. Dengan konfigurasi seperti ini kurang efektif dimana kebutuhan bahan bakar menjadi besar. Sehingga pada laju kebutuhan bahan bakar menjadi besar dan emisi yang besar dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Kelebihan system hybrid ini adalah dalam hal efisiensi bahan bakar. Dalam suatu system hybrid yang ideal, system akan secara otomatis menentukan sumber tenaga yang paling efisien untuk beban yang ada. Saat tugboat dengan kondisi beban daya besar maka sumber tenaga yang dapat bekerja adalah dari mesin diesel dan saat daya rendah menggunakan motor listrik.

Pada saat fungsi hybrid dijalankan, mesin diesel akan dalam kondisi off, untuk menggerakkan propellernya digerakkan sumber daya dari motor listrik. Saat kondisi kapal bekerja pada kondisi berbeban besar motor listrik *off* kemudian mesin diesel bekerja pada kondisi daya besar.

Pada kondisi dua sumber tenaga yang akan dihybrid, dalam hal ini adalah mesin diesel dan motor listrik, putaran yang dihasilkan dari kedua sumber gerak tersebut harus memiliki hasil putaran yang sama untuk mengoptimalkan hasil *thrust* dari setiap sumber tenaga gerak.



Gambar 2. 4 Gambar rangkaian konfigurasi *hybrid propulsion* yang direncanakan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam tugas akhir ini, untuk menyelesaikan penelitian ini dibuat sebuah metode dan prosedur bagaimana penelitian ini dilakukan, agar tugas akhir ini sesuai dengan yang di inginkan dan waktu yang telah di tentukan

1. Perumusan masalah
2. Studi literatur
3. Perhitungan daya kebutuhan system
4. Desain konfigurasi hybrid
5. Pemilihan komponen pendukung
6. Prediksi kebutuhan bahan bakar
7. Analisa dan kesimpulan

3.1. Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah yang ada dan nanti dilakukan suatu studi analisa untuk penyelesaian masalah tersebut dalam tugas akhir ini. Masalah yang ada saat ini adalah terkait kebutuhan bahan bakar didunia ini yang semakin menipis sehingga diperlukannya sebuah desain untuk mengurangi konsumsi bahan bakar.

3.2. Studi Literatur

Studi literatur (kajian pustaka) dilakukan dengan melakukan pengumpulan referensi – referensi baik jurnal, paper atau dari internet mengenai hybrid propulsion system dengan tujuan untuk merangkum materi – materi dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan tugas akhir ini.

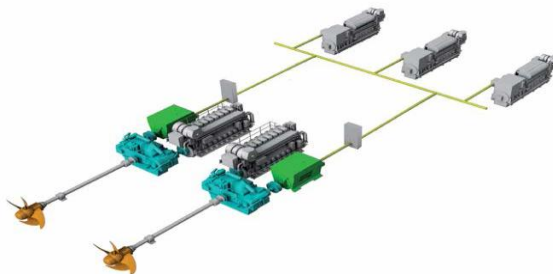
3.3. Perhitungan daya kebutuhan system

Perhitungan daya kebutuhan system adalah menghitung kebutuhan daya yang ada pada system kapal tersebut. Perhitungan tersebut meliputi

- a) Menghitung nilai tahanan pada tugboat
- b) Menghitung kebutuhan daya listrik pada kondisi operasional tugboat
- c) Menghitung kebutuhan daya penggerak pada setiap mode operasional tugboat.

3.4. Desain Konfigurasi hybrid

Motor listrik dan mesin diesel merupakan sumber energi gerak yang bekerja secara independent, sehingga perlu dibuat desain konfigurasi hybrid agar sesuai dengan mode operasionalnya. Desain konfigurasi hybrid adalah pemodelan hybrid propulsion system yang akan di buat untuk menentukan konfigurasi yang tepat untuk tugboat sesuai dengan mode operasinya. Konfigurasi yang dibuat adalah dengan perpaduan mesin diesel dan motor listrik yang sumber listrik ini berasal dari generator.



Gambar 3. 1 Gambar pemodelan *system permesinan hybrid*

3.5. Pemilihan Komponen Pendukung

Komponen pendukung adalah beberapa item yang digunakan dalam *hybrid propulsion system* yang menunjang agar system hybrid tersebut bisa bekerja pada tugboat dengan baik pada setiap mode operasionalnya. Pemilihan komponen pendukung ini meliputi

- a) Pemilihan mesin diesel
- b) Pemilihan motor listrik yang akan digunakan
- c) Pemilihan gearbox
- d) Pemilihan generator

Komponen pendukung telah di dapatkan kemudian dilakukan perhitungan engine propeller matching untuk mendapatkan hasil yang optimal pada system konfigurasi hybrid tersebut

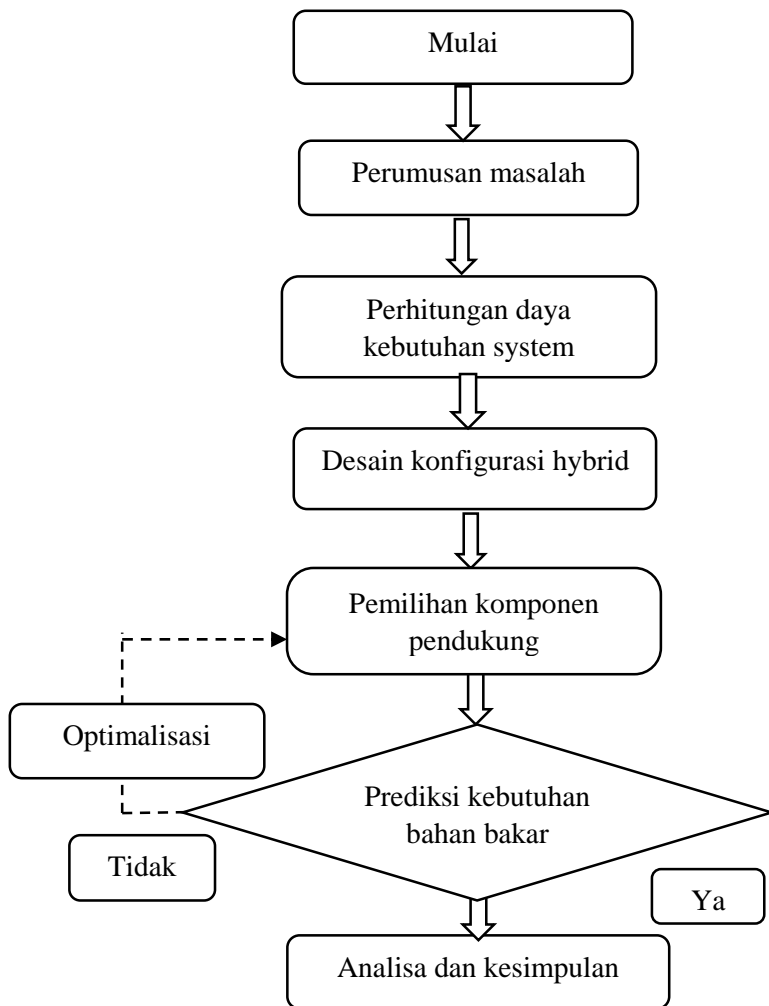
3.6. Prediksi kebutuhan bahan bakar

Pada bagian ini dilakukan perhitungan bahan bakar yang dibutuhkan pada setiap kondisi mode operasi tugboat. Dilakukan perbandingan antara system hybrid dengan system konvensional (hanya menggunakan mesin diesel). Prediksi kebutuhan bahan bakar untuk mendapatkan hybrid propulsion system ini yang hemat bahan bakar dari system konvensional. Kinerja mesin juga semakin optimal pada setiap mode operasinya.

3.7. Analisa dan kesimpulan

Analisa ini dilakukan pada kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada setiap kondisi operasinya dan mendapatkan hybrid propulsion system yang hemat bahan bakar. Analisa pada kinerja mesin yang bekerja di titik optimal untuk menambah panjang nilai dari *time between overhaul* pada suatu mesin sehingga tugboat bisa beroperasi pada jam kerja yang lebih lama.

Kesimpulan ini di dapatkan model konfigurasi hybrid propulsion system pada tugboat yang hemat bahan bakar dan membuat kinerja mesin yang selalu bekerja pada kondisi optimal.



Gambar 3. 2 Gambar Diagram Alir Proses Penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan daya kebutuhan system

Dalam perancangan pembuatan tugboat, ditentukan ukuran kapal yang akan direncanakan. Beberapa ukuran yang diperlukan dalam pembuatan kapal sebagai berikut :

Ukuran utama kapal

L	=	24.47	m	
B	=	11.33	m	
H	=	6.70	m	
T	=	5.35	m	
V _{sea}	=	10.0	knots	= 5.144 m/s
C _b	=	0.5300	(block coefficient)	
C _p	=	0.6000	(prismatic coefficient)	
C _m	=	0.5500	(midship coefficient)	
C _w	=	0.5500	(waterplane coefficient)	
Δ	=	805.78	ton	
WSA	=	235.90	m ²	
ρ	=	1025	kg/m ³	= 1.025 ton/m ³
∇	=	786.13	m ³	
g	=	9.81	m/s ²	
F _n	=	$\frac{v}{\sqrt{g \times L}}$		
F _n	=	$\frac{5.144}{\sqrt{9.81 \times 24.47}}$		
	=	0.332		

4.1.1. Perhitungan tahanan kapal.

Untuk perhitungan tahanan kapal digunakan metode Holtrop. (Lewis, Edward V., Principles of Naval Architecture, Volume II Resistance, Propulsion, and Vibration, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, NJ, 1988.)

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F (1+k) + C_A] + \frac{R_W}{W} W \quad [IV.1]$$

ρ	= Massa Jenis Air laut (1.025 kg / m ³)
V	= Kecepatan kapal (m / s)
S	= Luas Permukaan basah (m ²)
C_f	= koefisien gaya gesek
K	= koefisien bentuk tonjolan lambung
C_A	= koefisien koreksi model kapal
R_W	= Tahanan gelombang (kN)
W	= berat displacement (kN)

a. Perhitungan (R_W / W)

R_W adalah tahanan gelombang yang melalui lambung kapal. Untuk menentukan besarnya nilai koefisien tahanan gelombang diperoleh sesuai dengan rumus pada *principles of naval Architecture, vol. II. 92 – 94* sebagai berikut :

$$R_W / W = C_1 \times C_2 \times C_3 \times e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos(\lambda \times Fn^{-2})}$$

Pada persamaan ini, C_1 , C_2 , C_3 , λ dan m adalah koefisien pada bentuk lambung kapal.

a.1 Perhitungan Koefisien C1

$$C_1 = 2223105C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90-iE)^{(-1.3757)} \quad \text{[IV.2]}$$

dengan :

$$C_4 = B / L \quad \text{untuk } 0.11 \leq B / L \leq 0.25$$

$$C_4 = 0.5 - 0.0625 L/B, \quad \text{untuk } B / L \geq 0.25$$

Dimana

$$\begin{aligned} B / L &= 11.33 \text{ m} / 24.47 \text{ m} \\ &= 0.463 \end{aligned}$$

Maka untuk ($B/L \geq 0.25$)

Maka mencari nilai koefisien $C_4 = 0.5 - 0.0625 L/B$,

yaitu :

$$\begin{aligned} C_4 &= 0.5 - 0.0625 (11.33\text{m} / 24.47\text{m}) \\ &= 0.471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mencari nilai } (T/B)^{1.0796} & \\ &= (T / B)^{1.0796} \\ &= (5.35 \text{ m} / 11.33 \text{ m})^{1.0796} \\ &= 0.445 \end{aligned}$$

iE adalah sudut masuk air yang mengenai lambung pada garis air. untuk Mencari nilai iE

$$iE = 125.67 (B/L) - 162.25 Cp^2 + 234.32 Cp^3 + 0.1551(LCB + (6.8(Ta-Tf)/T))^3$$

$$\begin{aligned} iE &= 125.67 (11.33 \text{ m} / 24.47 \text{ m}) - 162.25 (0.6)^2 + \\ &234.32 (0.60)^3 + 0.1551(1.098\text{m} + (6.8)^3) \\ &= 50.596 \text{ degree} \\ &\quad \text{(a half angle of entrance of the load} \\ &\quad \text{waterline)} \end{aligned}$$

Dari persamaan [IV.2] dimasukan nilai – nilai tersebut.
Sehingga :

$$\begin{aligned} C_1 &= 2223105C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90-iE)^{(-1.3757)} \\ C_1 &= 2223105C_4^{3.7861} \times (0.445)^{1.0796} \times (90-50.596)^{(-1.3757)} \\ &= 342.29 \end{aligned}$$

a.2 Perhitungan Koefisien C_2

$$\begin{aligned} C_2 &= \text{koefisien pengaruh } \textit{bulbous bow} \\ C_2 &= 1.00000 \quad (\text{untuk kapal tanpa } \textit{bulbous bow}) \end{aligned}$$

a.3 Perhitungan Koefisien C_3

$$\begin{aligned} C_3 &= \text{koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan} \\ C_3 &= 1 - 0,8 \times A_T / B \times T \times C_m \end{aligned}$$

dimana ;

$$\begin{aligned} A_T &= \text{Immersed area of the transom at zero speed} = 0 \\ A_T &= 0 \quad \text{m}^2 \\ C_3 &= 1 \end{aligned}$$

a.4 Perhitungan Koefisien C_5

C_5 = koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (C_p)
dimana :

$$\begin{aligned} C_p &= 0.600 \\ \text{Untuk } (C_p \leq 0.8), \text{ maka } C_5 \text{ dihitung sebagai berikut :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_5 &= 8.0798C_p - 13.8673C_p^2 + 6.9844C_p^3 \\ C_5 &= 8.0798(0.600) - 13.8673(0.600)^2 + \\ &\quad 6.9844(0.600)^3 \\ &= 1.364 \end{aligned}$$

a.5 Perhitungan Koefisien C_6

$C_6 =$ koefisien pengaruh terhadap harga L^3 / ∇

dimana :

$$\begin{aligned} L^3 / \nabla &= (24.47 \text{ m})^3 / 786.13 \text{ m}^3 \\ &= 18.638 \end{aligned}$$

Untuk ($L^3/V \leq 512$), maka nilai koefisien C_6 adalah :

$$C_6 = -1.69385$$

a.6 Perhitungan Koefisien m_1

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.01404 (L/T) - 1.7525 (\nabla^{1/3}/L) - 4.7932 (B/L) - C_5 \\ &= 0.01404 \times (24.47 \text{ m} / 5.35 \text{ m}) - 1.7525 ((786.13^{1/3}) / 24.47 \text{ m}) - 4.7932 \times 0.463 - 1.211 \\ &= -4.180 \end{aligned}$$

a.7 Perhitungan Koefisien m_2

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times Fn^{(-3.29)}} \\ &= -1.694 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times 0.203^{(-3.29)}} \\ &= -0.18862 \end{aligned}$$

a.8 Perhitungan Koefisien λ

$\lambda =$ koefisien pengaruh lambung kapal terhadap harga L / B

dimana :

$$\begin{aligned} L / B &= 24.47 \text{ m} / 11.33 \text{ m} \\ &= 2.160 \end{aligned}$$

Untuk ($L / B < 12$), maka λ adalah :

$$\begin{aligned} \lambda &= 1.446C_p - 0.03 L/B \\ &= (1.446 \times 0.600) - (0.03 \times 2.160) \\ &= 0.815 \end{aligned}$$

a.9 Perhitungan W

Nilai W adalah gaya keatas yang ditimbulkan oleh fluida. Untuk menentukan nilai W dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
W &= \rho g \nabla \\
&= 1.025 \text{ kg / m}^3 \times 9.81 \text{ m / s}^2 \times 786.13 \text{ m}^3 \\
&= 7904.72 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Sehingga perhitungan nilai R_w / W dengan nilai *Froude number* = 0.334, maka :

$$\begin{aligned}
R_w / W &= C_1 \times C_2 \times C_3 \times e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos(\lambda Fn^{-2})} \\
&= 4.53 \times 0.00281 \times 1 \times e^{-2.286 \times (0.219^{0.9}) + (-0.00435) \cos(0.914 \times (0.219^{-2}))} \\
&= 0.00433
\end{aligned}$$

maka, nilai tahanan gelombang (R_w) adalah :

$$\begin{aligned}
R_w / W &= 0.00433 \\
R_w / 7904.72 \text{ kN} &= 0.00433 \\
R_w &= 0.00433 \times 7904.72 \text{ kN} \\
&= 34.247 \text{ kN}
\end{aligned}$$

b. Perhitungan (1 + k)

Perhitungan koefisien faktor bentuk (1+k). dalam buku *principles of naval architecture*, vol. II halaman 91. Rumusan baku untuk perhitungan koefisien bentuk (1+k) yaitu :

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \text{ Sapp/Stot}$$

Dimana

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.4871c \left(\frac{B}{L}\right)^{1.0681} \left(\frac{T}{L}\right)^{0.4611} \left(\frac{L}{LR}\right)^{0.1216} \left(\frac{L^3}{V}\right)^{0.3649} (1 - C_p)^{-0.6042}$$

dimana :

- c = koefisien bentuk *afterbody*
- c = 1 + 0.011 c_{stern} >> C_{stern} = 0
- = 1 for *normal section shape*
- c_{stern} = -25 for *pram with gondola*
- c_{stern} = -10 for *V-shaped sections*

c stern = 0 for normal section shape

c stern = 10 for U-shaped sections with Hogner stern

b.1 Perhitungan L_R/L

L_R (the length of the run) adalah panjang gaya gesek lambung kapal dengan air saat berjalan. Dengan nilai L_{CB} 2.0 – 2.8 % L_{pp} to afterpeak from a midship. Jika nilai L_R tidak diketahui maka menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}L_R/L &= 1 - C_p + 0.06 C_p L_{CB} / (4C_p - 1) \\ &= 1 - 0.6 + 0.06 (0.6 \times 0.611) / (4(1.098) - 1) \\ &= 0.317\end{aligned}$$

b.2 Perhitungan Koefisien $1+k_1$

Sehingga, harga $1+k_1$ adalah :

$$\begin{aligned}1+k_1 &= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} \\ &\quad (L^3 / V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)} \\ &= 0.93 + 0.4871 \times 1 (11.33\text{m} / 24.47\text{m})^{1.0681} \times (\\ &\quad 5.35\text{m} / 24.47\text{m})^{0.4611} \times (1 / 0.317)^{0.1216} \times (\\ &\quad 24.47^3\text{m}^3 / 786.13 \text{ m}^3)^{0.3649} \times (1-0.600)^{(-0.6042)} \\ &= 1.5476\end{aligned}$$

b.3 Perhitungan Koefisien $1+k_2$

Koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air.

$$1+k_2 = 2.80 \text{ (for spade - type rudder of twin screw ships)}$$

$$= 1.4 \text{ (for bilge keels)}$$

$$\begin{aligned}(1+k_2)_{\text{eff}} &= \sum S_i (1 + k_2)_i / \sum S_i \\ &= \sum S_{\text{kemudi}} (1+k_2 \text{ rudder of twin screw}) + S_{\text{bilge keels}} \\ &\quad (1+k_2 \text{ bilge keels}) / \sum (S_{\text{kemudi}} + S_{\text{bilge keels}}) \\ &= \sum (7.010\text{m}^2 \times 2.80) + (16.978\text{m}^2 \times 1.4) / \sum \\ &\quad (7.010\text{m}^2 + 16.978\text{m}^2) \\ &= 1.809\end{aligned}$$

b.4 Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 WSA &= L(2T+B)C_m^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_b - 0.2863C_m - \\
 &\quad 0.003467 (B/T) + 0.3696 C_{wp}) + 2.38 (A_{BT} / C_b) \\
 &= 24.47\text{m} \times (2 \times 5.35\text{m} + 11.33\text{m}) \times 0.550^{0.5} \times \\
 &\quad (0.4530 + 0.4425 (0.600) - 0.2863(0.55) - 0.003467 \\
 &\quad (11.33\text{m} / 5.35\text{m}) + 0.3696 \times 0.550) + 2.38 (0 / \\
 &\quad 0.530) \\
 &= 290.25 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{BT} &= \text{cross sectional area of bulb in FP} \\
 &= 0 \text{ (tidak memakai bulbosbow) }
 \end{aligned}$$

b.5 Perhitungan Luas Permukaan basah tonjolan pada kapal

$$\begin{aligned}
 S_{\text{kemudi}} &= \text{luasan daun kemudi} \\
 &= C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L T) / 100)
 \end{aligned}$$

dimana :

$$C_1 = 1.7 \text{ factor for the ship type tugboat}$$

$$C_2 = 0.9 \text{ factor for rudder type semi-spade rudders}$$

$$C_3 = 1.0 \text{ factor for the rudder profile NACA profile and plate rudder}$$

$$C_4 = 1.0 \text{ factor for the rudder arrangement rudder in the propeller jet}$$

(BKI, Vol II section 14)

$$\begin{aligned}
 S_{\text{kemudi}} &= C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L T) / 100) \\
 &= 1.7 \times 0.9 \times 1.0 \times 1.0 \times ((1.75\text{m} \times 24.47\text{m} \times 5.35) \\
 &\quad / 100) \\
 &= 7.010\text{m}^2 \text{ (dikali 2 karena yang tercelup} \\
 &\quad \text{kanan dan kiri)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{bilge} &= \text{luasan } bilge \text{ keels} \\
 &= 0.6 C_b L (0.18 / (C_b - 0.2)) \\
 &= 0.6 \times 0.53 \times 24.47 \text{m} (0.18 / 0.53 - 0.2) \\
 &= 16.978 \text{ m}^2 \quad (\text{dikali 4 karena yang tercelup} \\
 &\quad \text{kanan dan kiri, atas dan bawah})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{app} &= S_{kemudi} + S_{bilge} \\
 &= 7.010 \text{m}^2 + 16.978 \text{m}^2 \\
 &= 23.99 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maka, total luas permukaan basah kapal adalah :

$$\begin{aligned}
 S_{total} &= WSA + S_{app} \\
 &= 290.2 \text{ m}^2 + 23.99 \text{ m}^2 \\
 &= 314.233 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

b.6 Perhitungan Koefisien 1+k

$$\begin{aligned}
 1+k &= (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \times S_{app}/S_{tot} \\
 &= 1.5476 + [1.809 - 1.5476] \times (23.99 \text{m}^2 / \\
 &\quad 314.23 \text{m}^2) \\
 &= 1.57
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Koefisien Gesek, C_F

Untuk perhitungan harga koefisien gesek ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berdasarkan ITTC 1957, yaitu :

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2$$

dimana untuk mencari nilai R_n dengan persamaan berikut

:

$$\begin{aligned}
 R_n &= V_s \times L / \nu \\
 \nu &= \text{viskositas kinematis} \\
 &= 1.1883 \times 10^{-6} \text{ m} / \text{s}^2 \\
 &= V_s \times L / \nu
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (5.14 \text{ m/s} \times 24.47 \text{ m}) / 1.1883 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2 \\
 &= 105,936,587
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_F &= 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \\
 &= 0.075 / [\log (105936587.4) - 2]^2 \\
 &= 0.00207
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan *model-ship correlation allowance*, C_A

$$\begin{aligned}
 C_A &= 0.006 (L + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\
 \text{dimana :} \\
 T / L &= (5.35 \text{ m} / 24.47 \text{ m}) \\
 &= 0.219
 \end{aligned}$$

Untuk ($T / L > 0.04$), maka C_A adalah :

$$\begin{aligned}
 C_A &= 0.006 (L + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\
 &= 0.006 (24.47 \text{ m} + 100)^{-0.16} - 0.00205 \\
 &= 0.000722943
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan hambatan total

$$\begin{aligned}
 R_T &= \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F (1+k) + C_A] + \frac{R_W}{W} W \\
 &= 0.5 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (5.14 \text{ m/s})^2 \times 314.23 \text{ m}^2 \times [(0.002 \\
 &\quad \times 1.57) + 0.00072] + (0.00433 \times 7904.72) \\
 &= 51.131 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Koreksi untuk jalur pelayaran di Asia Tenggara sebesar 15% - 20% (ITTC 1957)

$$\begin{aligned}
 &= 51.131 + (15 \% \times 51.131) \\
 &= 58.80102622 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

4.2. Perhitungan kebutuhan daya penggerak pada setiap mode operasi tugboat

Perhitungan daya penggerak ini dihitung pada setiap mode operasi kerja dari tugboat. Dalam mendesain tugboat, hal yang sangat dipertimbangkan adalah daya tarik yang di hasilkan dengan konfigurasi permesinan yang ada. Mode operasi tugboat ada beberapa yaitu *standby*, *cruising*, dan *assisting*. Pada setiap mode operasinya daya yang dibutuhkan berbeda – beda, sehingga konfigurasi hybrid ini disesuaikan dengan mode operasi dari tugboat tersebut.

4.2.1. Perhitungan daya saat *bollard pull test*

Bollard Pull adalah kemampuan dari daya tarik beban statis tugboat menarik suatu beban. *Bollard pull* dihasilkan dari daya mesin yang dikombinasikan dengan thrust propeller sehingga menghasilkan daya dorong pada tugboat. *Bollard pull* di dapatkan pada saat pengujian tugboat yang dikaitkan dengan tali pada *towing hook* kapal di ikatkan pada bollard yang tertanam pada dermaga

Untuk menghitung daya mesin dapat dihitung saat bollard test dengan hasil thrust yang di dapatkan dari grafik diagram *open water test* Kaplan series (*Ka – series*) pada saat *bollard pull test*. Berikut data dari tugboat yang digunakan dalam perhitungan bollard test :

Bollard pull test = 70 ton
Vs = 0 Knot
N propeller = 272.72 Rpm
D propeller = 2400 mm
w = 0.04709

untuk mendapatkan *tourque* yang dibutuhkan saat bollard test, dicari nilai koefisien *thrust* (*Kt*). Pertama

adalah menghitung dari nilai *thrust* yang dihasilkan oleh propeller, dengan rumus :

$$T = R_t / 1-t \quad [IV.7]$$

Dimana bollard pull saat pembebanan 70 ton

$$\begin{aligned} R_t &= 70 \text{ ton} \\ &= 70 \text{ ton} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\ &= 686.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

t adalah nilai tambahan tahanan kapal karena thrust yang mengenai bagian propeller.

$$\begin{aligned} t &= 0.325 C_b - 0.1885 D / \sqrt{B T} \quad [IV.8] \\ &= 0.325 \times 0.53 - 0.1885 \times 2.4 / \sqrt{11.35 \times 5.35} \\ &= 0.128708 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} T &= R_t (\text{ kN }) / 1-t \\ &= 686.7 / 1 - 0.128708 \\ &= 788.1399 \text{ kN} \\ &= 788.1399 / 2 \\ &= 394.0699 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dibagi 2 karena untuk menghitung pembebanan pada 1 propeller. Nilai *K_t* diperoleh dengan rumus :

$$K_t = T / \rho \times n^2 \times D^4 \quad [IV.9]$$

$$\begin{aligned} K_t &= 394.0699 / 1.025 \times 272.72^2 \times 2.4^4 \\ &= 0.56084 \end{aligned}$$

Nilai *K_t* tersebut untuk mencari nilai *P/D* dan *K_q* yang ada di diagram open water test Kaplan series.

Pada open water test diagram Ka 4-70 (19A) diperoleh :

$$\text{Nilai P/D} = 1.0375$$

$$\text{Nilai } 10 Kq = 0.463$$

Diperoleh nilai Q dengan persamaan sebagai berikut :

$$Kq = Q / \rho \times n^2 \times D^5 \quad [\text{IV.10}]$$

$$\begin{aligned} Q &= Kq \times \rho \times n^2 \times D^5 \\ &= 0.0463 \times 1.025 \times 272.72^2 \times 2.4^5 \\ &= 73.629 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diperoleh nilai DHP

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= Q \times 2 \pi \times n \quad [\text{IV.11}] \\ &= 73.629 \times 2 (22/7) \times 272.72 \\ &= 2039.986 \text{ kW} \end{aligned}$$

DHP pada pembebanan 1 propeller dengan daya 2039.986 kW dengan propeller Kaplan Ka 4 – 70 (19A).

Tabel 4. 1 Daya yang dihasilkan pada tiap type propeller Ka series

Type Propeller	P/D	10 KQ	KQ	Q	DHP
				$Q = KQ \times \rho \times n^2 \times D^5$	$DHP = Q \times 2\pi \times n$
Ka 4 - 70 (19A)	1.0375	0.463	0.0463	73.629	2039.986
Ka 4 - 70 (22)	1.0122	0.453	0.0453	71.961	1993.769
Ka 4 - 70 (24)	1.0375	0.471	0.0471	74.916	2075.632
Ka 4 - 70 (37)	1.0506	0.475	0.0475	75.488	2091.477
Ka 5 - 75 (19a)	1.0186	0.461	0.0461	73.232	2028.979
Ka 4 - 55 (19a)	1.0625	0.488	0.0488	77.601	2150.014
Ka 3 - 65 (19a)	1.055	0.475	0.0475	75.567	2093.678

DHP (kW)	SHP (kW)	BHPSCR (kW)	BHPMCR
2 Propeller	= DHP / η_s	= SHP / η_g	= BHPSCR x 85%
4079.965	4163.23	4248.194	4997.875
3987.538	4068.917	4151.956	4884.655
4151.265	4235.985	4322.434	5085.217
4182.954	4268.321	4355.43	5124.035
4057.959	4140.775	4225.28	4970.918
4300.028	4387.784	4477.331	5267.448
4187.356	4272.812	4360.013	5129.427

Dari hasil perhitungan, daya yang dibutuhkan saat keadaan bollard test di dapatkan beberapa nilai daya, sehingga :

- Dipilih propeller Ka Series Ka 4 – 70 (22) dengan *thrust* dari propeller daya BHP yang dibutuhkan sebesar 4884.655 kW (6547.1794 Hp) untuk 70 ton bollard pull.

Sehingga dipilih mesin diesel untuk memenuhi daya tersebut dengan mesin diesel 2 X 3385 Hp Cater Pillar 3516C 1800 Rpm.

Dalam perhitungan mencari nilai dari bollard pull tugboat terdapat beberapa rumus pendekatan yang dapat digunakan. Berikut merupakan rumus pendekatan untuk perhitungan bollard pull :

- Kapal tugboat dengan menggunakan *fixed pitch propeller (Freewheeling)*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,10 / 100 = (t) \quad [\text{IV.3}]$$

- Kapal tugboat dengan menggunakan *fixed pitch propeller dengan kort-nozzle*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,20 / 100 = (t) \quad [\text{IV.4}]$$

- Kapal tugboat dengan menggunakan *controllable pitch propeller (freewheeling)*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,25 / 100 = (t) \quad [\text{IV.5}]$$

- Kapal tugboat dengan menggunakan *controllable pitch propeller dengan kort-nozzle*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,40 / 100 = (t) \quad [\text{IV.6}]$$

(*Capt. P. Zahalka, Assosiation of Hanseatic Marin Underwriter, GL 2010*)

Persamaan ini digunakan untuk memperkirakan konversi dari BHP ke “t” pada bollard pull efektif.

Dimana

BHP : *Maksimun Brake Horse Power* pada mesin (HP)

t : beban daya tarik (ton)

dengan rumus pendekatan, dapat dihitung daya mesin berdasarkan bollard pull yang dihasilkan. Rumus untuk menghitung kebutuhan daya saat bollard pull dengan menggunakan *fixed pitch propeller* dengan nozzle ada sebagai berikut :

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,20 / 100 = (t)$$

Dari perhitungan daya di atas. Dapat dilihat hasil *bollard test* berdasarkan daya yang dihasilkan dengan rumus pendekatan di atas sehingga dapat diperoleh

$$\text{BHP} \times 0.9 \times 1.2 / 100 = (t)$$

$$6574.794 \text{ (Hp)} \times 0.9 \times 1.2 / 100 = 70.716$$

$$\text{BHP} = 6481.481 \text{ Hp}$$

$$= 4835.185 \text{ kW}$$

4.2.2. Perhitungan daya saat mode *cruising*

Kondisi *cruising* adalah kondisi dimana tugboat bekerja dengan tanpa beban tarik, sehingga daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal melawan tahanan kapal pada kecepatan kapal tersebut. Daya yang diperlukan pada kecepatan tertentu dari nilai tahanan yang dihasilkan.

Nilai EHP (*effektive Horse Power*) adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu. Sehingga pada kecepatan 10 knot / 5.144 m / s , di dapatkan :

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= R_t \times V_s && [\text{IV.12}] \\ &= 58.80 \times 5.144 \\ &= 299.10 \text{ kN m/s} \end{aligned}$$

Menghitung nilai DHP (*Delivered Horse Power*) adalah daya yang dihantarkan perporosan ke propeller untuk menghasilkan daya dorong.

$$\text{DHP} = \text{EHP} / \eta_D \quad [\text{IV.13}]$$

Dimana :

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_o \quad [\text{IV.14}]$$

$$\eta_H = \text{Hull efisiensi}$$

$$\begin{aligned}
&= (1 - t) / (1 - w) \\
&= (1 - 0.1287) / (1 - 0.0470) \\
&= 0.9141
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_R &= \text{Efisiensi rotative} \\
&= 0.98 \quad (\text{ref: Ship Resistance and Propulsion,} \\
&\quad \text{Modul 7, hal.2})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_o &= \text{Efisiensi open water test} \\
&= 0.50 \leq \eta_o \leq 0.699 \quad (\text{ref: Principles of Naval} \\
&\quad \text{Architecture, vol II, 153})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_D &= 0.9141 \times 0.98 \times 0.6 \\
&= 0.537
\end{aligned}$$

Tabel 4. 2 Kebutuhan daya saat mode *Cruising*.

Vs (knot)	Vs (m/s)	Rt (kN)	EHP (kNm/s)
			= Rt x Vs
7	3.600	10.514	37.85
8	4.115	16.026	65.95
9	4.629	28.929	133.93
10	5.144	58.145	299.10
11	5.658	122.43	692.72
12	6.172	244.1	1507.05

DHP (kW)	SHP (kW)	BHP _{SCR} (kW)
= EHP / η_D	= DHP / η_s	= SHP / η_g
70.50	71.941	73.409
122.81	125.32	127.882
249.40	254.49	259.688
556.98	568.352	579.951
1290.11	1316.44	1343.30
2806.42	2863.68	2922.14

Dalam kondisi *cruising* ini, penggerak yang akan digunakan adalah motor listrik, sehingga dipilih motor listrik untuk memenuhi daya pada kecepatan *service* 10 knot dengan daya 579 kW. Dipilih 2 X motor listrik siemens 1PQ8 dengan daya *rated output* 335 kW 1800Rpm @60 Hz. 690 V i *rated* 285A, η *rated* 95.9 %. sehingga daya yang diperlukan untuk memutar satu motor listrik tersebut adalah

$$P_{\text{input}} = P_{\text{output}} / \eta_{\text{rated}}$$

Dimana :

$$P = \text{Daya (Watt)}$$

η_{rated} = efisiensi dari motor listrik

$$P_{\text{input}} = P_{\text{output}} / \eta_{\text{rated}}$$

$$P = 335 \text{ kW} / 95.5 \%$$

$$= 351.8 \text{ kW}$$

Pinput untuk 2 motor listrik adalah $2 \times 351.8 \text{ kW} = 703.6 \text{ kW}$

4.2.3. Perhitungan daya saat mode *standby*

Kondisi *standby* adalah kondisi dimana sumber tenaga gerak bekerja memutar propeller untuk mempertahankan posisi tugboat melawan arus air yang melwati badan kapal. Kondisi ini bekerja pada kecepatan 1 – 3 knot.

Untuk mencari *efektif horse power* yang dibutuhkan pada setiap kondisi kerjanya, dihitung dari pembebanan dari tahanan kapal terhadap kecepatan.

Tabel 4. 3 kebutuhan daya saat mode *standby*

Vs (knot)	Vs (m/s)	Rt (kN)	EHP (kNm/s)
			= Rt x Vs
1	0.514	0.263	0.135
2	1.028	0.954	0.981
3	1.543	2.031	3.134

DHP (kW)	SHP (kW)	BHP _{SCR} (kW)
= EHP / η_D	= DHP / η_s	= SHP / η_g
0.2745	0.2801	0.387
1.9923	2.0326	2.813
6.3613	6.4911	8.984

Pada mode operasi *standby*, menghitung kebutuhan daya untuk motor listrik adalah

$$P = \sqrt{3} V I \text{Cos}\phi$$

Dimana :

P = Daya motor (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$P_{\text{out}} = 8.984\text{kW} = 8984 \text{ watt}$, sehingga nilai arusnya adalah

$$P = \sqrt{3} V I \text{Cos}\phi$$

$$8984\text{W} = \sqrt{3} \times 690\text{V} \times I \times 0.87$$

$$8984\text{W} = 1038.52\text{V} I$$

$$I = 8984 / 1038.52$$

$$I = 8.65 \text{ A}$$

Kebutuhan daya listrik yang masuk (P_{in}) ke dalam motor listrik, dengan nilai efisiensi yang telah diketahui η_{rated} 85.9 % adalah sebesar :

$$\eta_{\text{rated}} = (P_{\text{in}} / P_{\text{out}}) \times 100 \%$$

$$95.9 = (P_{\text{in}} / 8.984) \times 100 \%$$

$$P_{\text{in}} = 8.984\text{kW} / 0.59$$

$$P_{\text{in}} = 10.56 \text{ kW}$$

4.2.4. Perhitungan daya saat mode *assisting*

Mode *assisting* ini adalah kondisi kerja dimana tugboat bekerja menarik maupun mendorong kapal besar yang akan bersandar dipelabuhan. Tugboat akan bekerja menggunakan daya yang dihasilkan oleh mesin utama. Saat Mode *assisting* ini, sangat dibutuhkan torsi yang besar.

Perhitungan torsi yang dibutuhkan pada tugboat dengan kondisi berbeban, dimana pada saat ditarik mempunyai tahanan pada kecepatan tertentu, sehingga beban daya adalah

$$f = \text{beban} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

pembebanan pada 70 ton

$$\begin{aligned} f &= 70 \times 9.81 \\ &= 686.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai tersebut dibagi 2 untuk perhitungan pada pembenanan 1 propeller. Sehingga

$$\begin{aligned} f &= 686.7 / 2 \\ &= 343.35 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai pembebanan tersebut digunakan untuk mencari konstanta α , yaitu konstanta yang dikalikan dengan kuadrat kecepatan kapal sehingga sebanding dengan tahanan total kapal. Sehingga mendapatkan persamaan :

$$R_t = \alpha / (V_s)^2$$

Dari rumus

$$V_a = V_s (1 - w)$$

$$T = T (1 - t)$$

Maka :

$$T (1-t) = \alpha (V_a / 1 - w)$$

$$T = \alpha (V_a)^2 / (1 - t)(1 - w)^2$$

Dari karakteristik propeller, besarnya gaya dorong propeller yaitu :

$$T = K_t \times \alpha \times n^2 \times D^2$$

Persamaan T disubstitusikan sehingga :

$$\begin{aligned} K_t \times \rho \times n^2 \times D^4 &= \alpha (V_a)^2 / (1 - t)(1 - w)^2 \\ K_t &= [\alpha / (1 - t)(1 - w)^2 \rho D^2] \times (V_a)^2 / n \\ &\quad \times D^4 \end{aligned}$$

Dimana

Rt = tahanan total saat pembebanan (kN)

Vs = kecepatan kapal (m/s)

$$Rt = \alpha / (Vs)^2$$

$$343.35 = \alpha / (1.470 \text{ m/s})^2$$

$$\alpha = 343.35 / 1.02$$

$$= 324.39$$

Dari konstanta α didapatkan nilai konstanta β ,

$$\beta = \alpha / (1-t) \times (1-w)^2 \rho D^2$$

dimana :

t = *thrust deduction*

w = *wave fraction*

ρ = masa jenis air

D = Diameter propeller (m)

$$\beta = \alpha / (1-t) \times (1-w)^2 \rho D^2$$

$$\beta = 324.39 / (1- 0.128) \times (1-0.047)^2 \times 1.025^2 \times 2.4^2$$

$$\beta = 69.499$$

dari persamaan diatas dimasukan dengan persamaan β , maka :

$$Kt = \beta (Va / n \times D)^2$$

$$\text{Karena } J = Va / n \times D$$

$$\text{Maka } Kt = \beta \times J^2$$

dimana fungsi konstanta β untuk mendapatkan nilai dari Kt. Sehingga dapat diperoleh fungsi dari karakteristik dari propeller.

Tabel 4. 4 Nilai konstan α dan β pada kecepatan kapal yang berbeda pada pembebanan yang sama.

V_s (knot)	V_s (m/s)	f (kN)	α	β
2	1.0288	323.41	324.39	69.449
3	1.5432	343.35	144.17	30.866
4	2.0576	366.31	81.09	17.362
5	2.572	378.55	51.90	11.112
6	3.0864	382.74	36.043	7.71
7	3.6008	392.13	26.48	5.66

Membuat kurva hubungan $K_t J$ dengan bervariasi 0-1.
 Dari persamaan di atas dan bervariasi kecepatan 2 – 7 knot.

$$K_t = \beta \times J^2$$

dapat diperoleh nilai K_t pada kecepatan 2 knot dengan nilai $\beta = 69.44$ maka :

$$\begin{aligned} K_t &= \beta \times J^2 \\ K_t &= 69.44 \times (0.1)^2 \\ &= 0.32 \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Nilai Kt pada variasi nilai j dan kecepatan

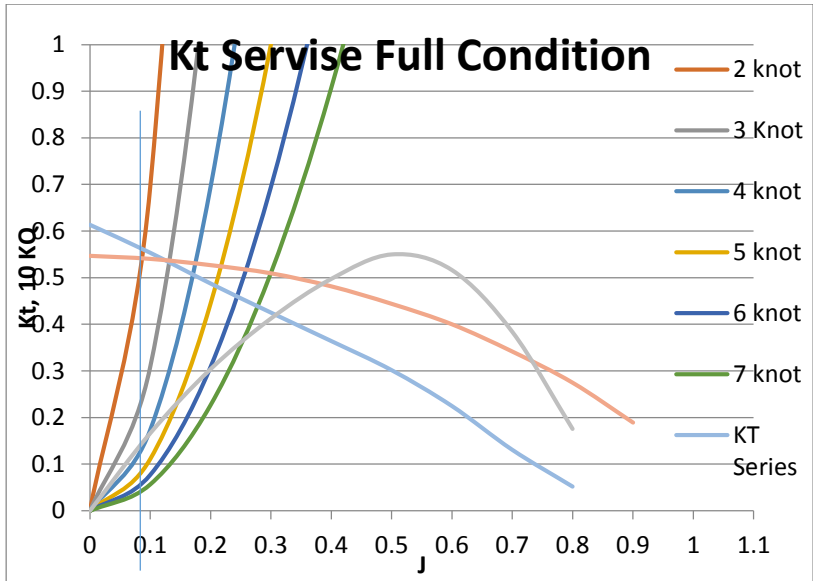
		Kt servise					
J	J ²	Kecepatan (knot)					
		2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.01	0.694	0.309	0.174	0.111	0.077	0.057
0.2	0.04	2.778	1.235	0.694	0.444	0.309	0.227
0.3	0.09	6.250	2.778	1.563	1.000	0.694	0.510
0.4	0.16	11.112	4.939	2.778	1.778	1.235	0.907
0.5	0.25	17.362	7.717	4.341	2.778	1.929	1.417
0.6	0.36	25.002	11.112	6.250	4.000	2.778	2.041
0.7	0.49	34.030	15.124	8.507	5.445	3.781	2.778
0.8	0.64	44.447	19.754	11.112	7.112	4.939	3.628
0.9	0.81	56.254	25.002	14.063	9.001	6.250	4.592
1	1	69.449	30.866	17.362	11.112	7.717	5.669

Pada pemilihan propeller saat keadaan *bollard test* yaitu dengan $T = 394.0688$. maka dii dapatkan pada nilai $Kt = 0.59356$ pada nilai $P / D 1.1002$ pada *open water test diagram Kaplan Ka 4 – 70 (22)* sehingga di dapatkan :

Tabel 4. 6 Nilai Kt KQ dan η_o pada diagram *open water test*

P/Db	1.1002	0	0
J	KT	10KQ	η_o
0	0.613663	0.54721	0
0.1	0.553663	0.540707	0.166483
0.2	0.487653	0.527212	0.303966
0.3	0.425144	0.509715	0.412453
0.4	0.364138	0.481709	0.497461
0.5	0.301633	0.444204	0.549972
0.6	0.224621	0.400198	0.516569
0.7	0.130641	0.341701	0.384262
0.8	0.051603	0.274693	0.175851
0.9	0	0.189198	0
1	0	0	0

dari persamaan di atas, tahanan kapal dikonversikan ke dalam bentuk fungsi dari karakteristik propeller yaitu Kt dan J yang kemudian diplotkan ke dalam *open water test diagram* untuk menentukan operating point dari propeller. Berikut diagram open water test pada *open water test diagram* Kaplan Ka 4 – 70 (22)



Gambar 4. 1 Diagram *open water test* Kaplan Ka 4 – 70 (22) dengan variasi kecepatan.

Dari diagram *open water test*, ditarik garis *vertical* ke atas di dapatkan titik operasi Kq dan efisiensi dari propeller. Dan bila ditarik kebawah di dapatkan titik operasi J dari propeller. Sehingga pada Kt *service* kecepatan 2 knot di dapatkan :

$$\text{Nilai } j = 0.098$$

$$10 \text{ KQ} = 0.53$$

Di dapatkan putaran propeller akan bekerja pada

$$J = V_a / n D$$

$$N = V_a / (J \times D)$$

$$n = 0.98 / (0.098 \times 2.4)$$

$$n = 4.168 \text{ Rps}$$

Tabel 4. 7 Perhitungan daya kondisi *service assisting*

Vs	Vs	Va	d	j	n	n
		(m/s)	m		(m/s)	(Rpm)
2	1.028	0.980	2.4	0.098	4.168154	250.0893
3	1.543	1.470	2.4	0.14	4.376562	262.5937
4	2.057	1.960	2.4	0.18	4.538657	272.3194
5	2.572	2.450	2.4	0.21	4.862847	291.7708
6	3.086	2.941	2.4	0.25	4.901749	294.105
7	3.600	3.431	2.4	0.29	4.92992	295.7952

10KQ	Q	DHP (kW)	SHP (kW)	BHPscr (kW)
	= $KQ \times \rho \times n^2 \times D^5$	= $Q \times 2 \pi \times n$	= DHP / η_s	= SHP / η_g
0.53	75.15251	1968.983	2009.166	2050.169
0.52	81.29233	2236.337	2281.977	2328.548
0.51	85.74424	2446.172	2496.093	2547.034
0.508	98.04488	2996.885	3058.046	3120.455
0.505	99.03157	3051.261	3113.532	3177.073
0.501	99.37968	3079.585	3142.433	3206.565

Dalam kondisi assisting tugboat akan bekerja dalam kondisi BHPscr dengan daya 2328 kW pada kondisi berbeban maksimal dengan kecepatan 3 knot.

4.2.5. Perhitungan kebutuhan listrik

Perhitungan kebutuhan daya listrik ini digunakan untuk menentukan daya genset yang nantinya akan digunakan pada tugboat. Daya listrik ini untuk memenuhi seluruh komponen yang ada pada tugboat. Berikut kebutuhan daya listrik pada tiap komponen yang ada pada tugboat.

Tabel 4. 8 kebutuhan daya listrik pada tiap komponen

	equipment	Power (kW)
1	<i>Deck Crane</i>	6
2	<i>Anchor Winch</i>	7
3	<i>fifi Pump</i>	40
4	<i>Fuel oil system</i>	25
5	<i>Lubricating Oil system</i>	10
6	<i>Nav./Comm Equipment</i>	10
7	<i>Compressed Air System</i>	4
8	<i>Cooling system</i>	22
9	<i>General servise</i>	7

Tabel 4. 9 Kebutuhan daya pada tiap mode operasi

	<i>Equipment</i>	<i>Power (kW)</i>	<i>Stanby</i>	<i>cruissing</i>	<i>assisting</i>
1	<i>Deck Crane</i>	6	-	-	
2	<i>Anchor Winch</i>	7	7	-	
3	<i>fifi Pump</i>	40	-	-	
4	<i>Fuel oil system</i>	25	25	25	25
5	<i>Lubricating Oil system</i>	10	10	10	10
6	<i>Nav./Comm Equipment</i>	10	10	10	10
7	<i>Compressed Air System</i>	4		-	-
8	<i>Cooling system</i>	22	22	22	22
9	<i>General servise</i>	7	7	7	7
total			81	74	74

Untuk memenuhi kebutuhan listrik pada tiap mode operasinya, menggunakan genset 1 x caterpillar C 4.4 *Marine generator set* 119 kVA (95 ekW) 230/240 60Hz.

Perhitungan load factor pada pembebanan pada *generator set* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Load Factor} &= \frac{\text{Pembebanan Daya}}{\text{Daya Genset x jumlah genset}} \times 100 \% \\
 &= \frac{81}{95} \times 100 \% \\
 &= 0.852 \times 100 \% \\
 &= 85.2 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Load factor pada genset caterpillar C 4.4 119 kVA @60HZ pada tiap mode operasi

	Mode operasi	Power (kW)	Load Factor
			caterpillar C 18 Acert 450 ekW
1	<i>standby</i>	81	85.2 %
2	<i>cruissing</i>	74	77.8 %
3	<i>asissting</i>	74	77.8 %

Pada konfigurasi mode hybrid, motor listrik bekerja memperoleh daya listrik dari genset. Sehingga perhitungan kebutuhan genset untuk memberikan energy listrik pada system propulsinya terdapat pada tabel 4.11 :

Tabel 4. 11 Kebutuhan listrik pada motor listrik pada hybrid propulsion

	<i>equipment</i>	<i>Standby</i> (kW)	<i>Cruising</i> (kW)
1	Motor listrik 1	10.56	351.8
2	Motor listrik 2	10.56	351.8
	total	21.13	703.6

Karakteristik motor listrik AC adalah daya yang dibutuhkan memutar motor listrik AC tetap pada pembebanan yang berbeda, dan mengatur putaran motor listrik ini di atur *Variable Speed Drive*.

Tabel 4. 12 Kebutuhan listrik hybrid propulsi sistem.

	<i>equipment</i>	<i>Stanby</i>	<i>Cruising</i>
1	Motor listrik	21.13	703.6
2	<i>Ship servise</i>	81	74
	total	102.13	777.6

Maka menggunakan genset 2 x caterpillar C 18 *Acert Marine generator set* 560 kVA (450 ekW) 230/240 50Hz.

Perhitungan load factor pada pembebanan pada generator set adalah sebagai berikut :

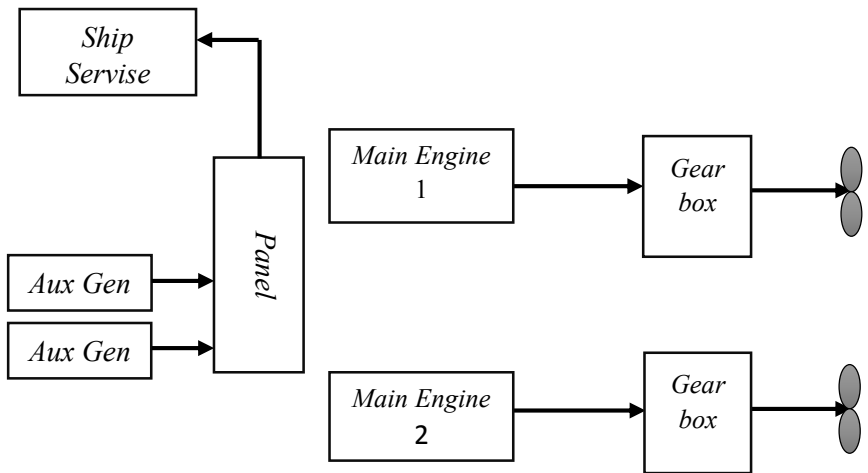
$$\begin{aligned}
 \text{Load Factor} &= \frac{\text{Pembebanan Daya}}{\text{Daya Genset x jumlah genset}} \times 100 \% \\
 &= \frac{777.6}{450 \times 2} \times 100 \% \\
 &= \frac{777.6}{900} \times 100 \% \\
 &= 0.864 \times 100 \% \\
 &= 86.4 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 13 Load factor generator pada setiap mode Hybrid propulsi

	Mode operasi	<i>Power</i> (kW)	Load Factor Generator set Caterpillar C.18 450ekW	
			1 genset	2 genset
1	<i>standby</i>	102.13	22.6 %	
2	<i>Cruising</i>	777.6		86.4 %

4.4. Konfigurasi propulsion system

Konfigurasi pembentukan hybrid system menggunakan 2 sumber tenaga yang berasal dari mesin diesel dengan motor listrik.. System ini menggunakan system PTO (*power take off*) dimana sumber tenaga bekerja secara satu persatu sesuai dengan mode operasinya. Berikut konfigurasi umum yang ada pada tugboat



Gambar 4. 2 konfigurasi permesinan tugboat pada umumnya

System ini adalah system dimana pada semua mode operasinya tugboat bekerja menggunakan mesin utama sebagai penggerakannya. Ada beberapa macam mode operasi kerja tugboat. Yaitu *assisting, cruising, standby*

Pada setiap mode operasinya tugboat, permesinan bekerja pada pembebanan yang berbeda beda. Tugboat bekerja pada dengan melihat dari daya yang dihasilkan untuk menarik maupun mendorong kapal, sehingga tidak memerlukan kecepatan yang cepat.

Dari setiap kondisi kerja dari tugboat, terlihat bahwa kondisi mesin bekerja tidak dalam kondisi *full throttle* sehingga menyebabkan mesin akan mempercepat dalam kondisi *over haul*. Untuk menanggulangi hal tersebut dibentuk alternative lain untuk mencegah hal tersebut. Salah satunya adalah dengan penambahan sumber tenaga gerak yang lain yang disebut *Hybrid Propulsion System*.

Sumber tenaga gerak yang bisa digunakan adalah penambahan motor listrik untuk sumber tenaga tersebut. Dari system konfigurasi tersebut di berikan sumber tenaga baru dari motor listrik untuk mendapatkan konfigurasi *hybrid propulsion system*.

4.4.1. Komponen pendukung *hybrid propulsion system*

Hybrid propulsion system dapat bekerja baik dengan pendukung komponen lain. Dengan penambahan motor listrik pada system propulsi kapal menunjukan perlunya ada penambahan komponen untuk menunjang system tersebut agar dapat bekerja. Motor listrik adalah sumber tenaga gerak yang berasal dari tenaga listrik yang berasal dari generator kemudian di salurkan ke motor listrik sehingga menjadi sumber tenaga gerak baru di dalam konfigurasi system tersebut.



Gambar 4. 3 motor listrik sebagai sumber tenaga gerak lain

Motor listrik ini digunakan sebagai sumber tenaga gerak pada tugboat dimana digunakan saat kondisi kapal tidak berbeban atau pada penggunaan daya kecil untuk menggerakkan propeller pada kapal.



Gambar 4. 4 *Variable Speed Drive* (VSD), pengatur kecepatan putaran motor listrik

Untuk mengatur putaran motor listrik dibutuhkan alat *Variable Speed Drive* (VSD). Ini digunakan untuk mengatur putaran motor listrik, yang berfungsi menyesuaikan putaran motor listrik pada setiap kondisi kecepatan kapal. Pengaturan putaran motor listrik untuk mempertimbangkan kondisi kerja putaran motor listrik yang tidak selalu sama pada setiap kondisi kerja. Diperlukan variasi putaran motor listrik untuk mengoptimalkan kerja motor listrik di setiap putaran yang dihasilkan. *Variable Speed Drive* ini akan mengatur putaran dari motor listrik pada kecepatan dibawah 1800 Rpm.



Gambar 4. 5 *gearbox / reduction gear dengan double input single output (Power Take Off System)*

Pemilihan gearbox dengan *power take off* system adalah dengan masuknya dua sumber tenaga gerak untuk menghasilkan satu hasil keluaran, dengan cara kerja sumber tenaga gerak bekerja secara bergantian / bekerja secara *independent* masing – masing sumber tenaga gerak.

Power take off system ini adalah dengan system sumber tenaga gerak bekerja secara bergantian saat dibutuhkan, dalam hal ini adalah motor listrik dan mesin diesel. Ini dilakukan karena dengan mempertimbangkan beberapa hal pada karakteristik kerja masing – masing sumber tenaga gerak yang berbeda sehingga sumber tenaga bekerja pada masing – masing mode yang dibutuhkan.

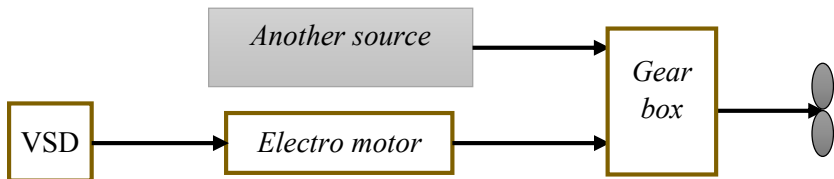
4.4.2. Desain konfigurasi Hybrid System

Desain konfigurasi system adalah pemodelan pembentukan system untuk menjadi suatu *hybrid propulsion system*. Beberapa hal lain juga dipertimbangkan dalam pemodelan ini system, komponen pendukung bekerja dengan baik dan juga penggunaan bahan bakar yang lebih hemat.

Desain konfigurasi ini menggunakan *power take off system* dimana menggunakan dua sumber tenaga kerja yang bekerja secara masing – masing untuk menghasilkan gerak pada *propeller* pada setiap kondisi kerja pada tugboat.

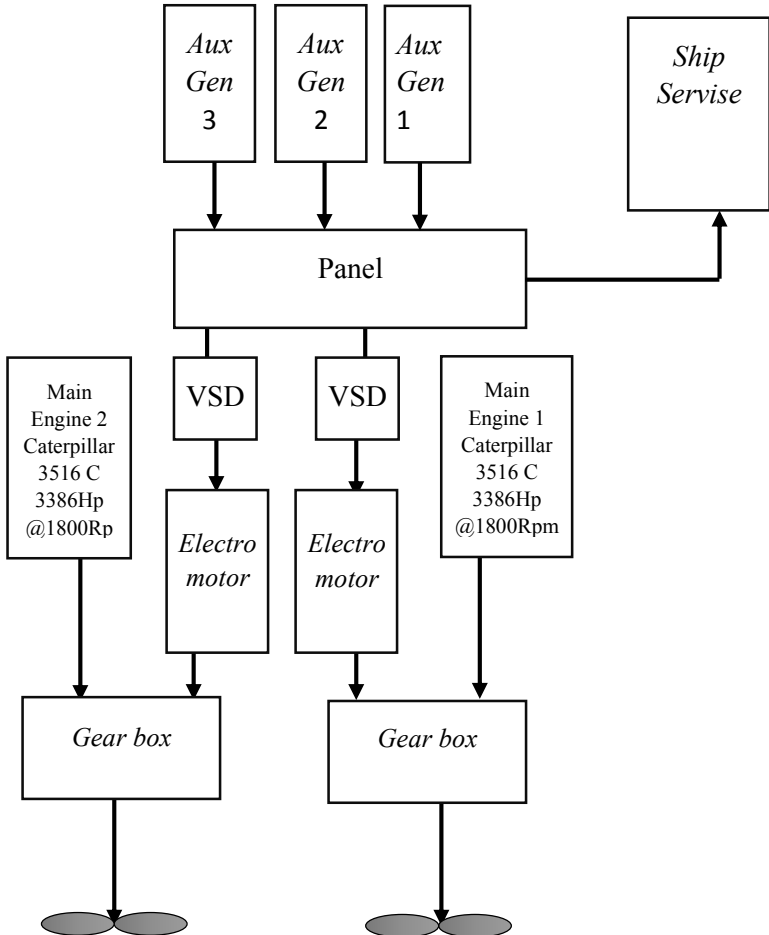
Desain konfigurasi yang dibentuk adalah berupa penambahan motor listrik pada desain permesinan yang umum pada tugboat. Dan juga penambahan komponen pendukung untuk membantu agar system hybrid ini bisa bekerja seperti *variable speed drive* untuk mengatur putaran pada motor listriknya.

Konfigurasi hybrid ini adalah dengan penambahan motor listrik dan komponen pendukung untuk menjadi hybrid propulsi.



Gambar 4. 6 konfigurasi penambahan sumber tenaga gerak lain.

Konfigurasi sumber tenaga gerak lain dalam hal ini motor listrik ditambahkan pada konfigurasi permesinan yang umum pada kapal – tugboat. Sehingga menghasilkan system konfigurasi hybrid dengan dua sumber tenaga.



Gambar 4. 7 konfigurasi *hybrid propulsion system* motor listrik dengan motor diesel.

Keterangan :

Auxiliary 1 & 2 = caterpillar C18 Acert marine genset 560 kVA (450 ekW) 230/240 50Hz.

Electro motor = 2 x Siemens 1PQ8 335 kW 1800 Rpm @60HZ

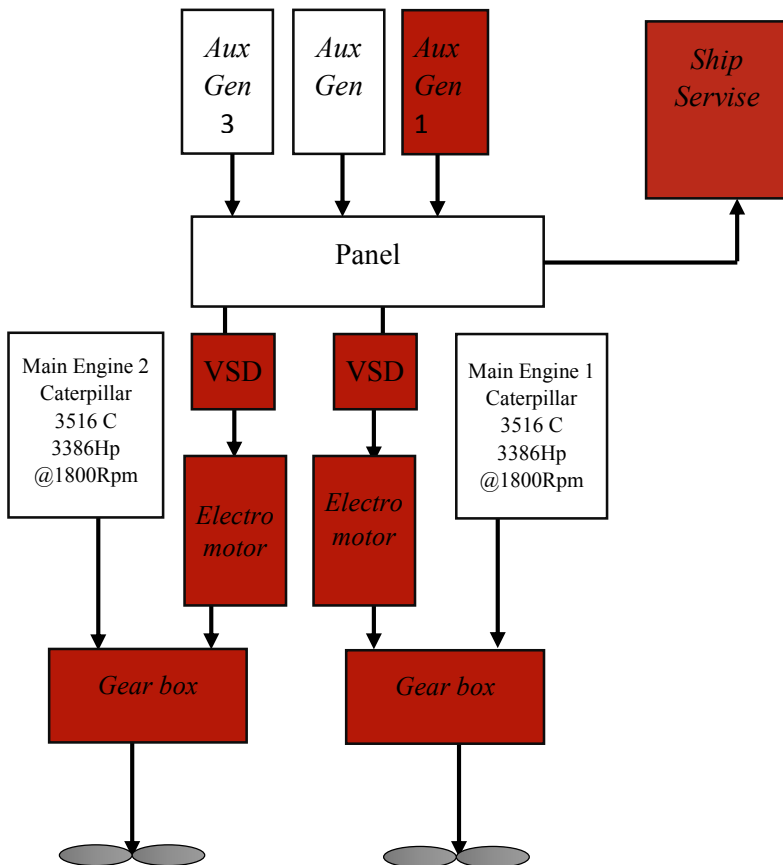
Dalam kondisi kerjanya, tugboat memiliki beberapa kondisi kerja yang berbeda – beda. Berikut ini adalah komponen – komponen yang bekerja sesuai dengan kondisi kerjanya.

Tabel 4. 14 Konfigruasi permesinan hybrid pada tugboat

Device	Mode Operasi Tugboat		
	<i>Standby</i>	<i>Cruissing</i>	<i>Asissting</i>
<i>1. Main Engine 1</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>On</i>
<i>2. Main Engine 2</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>On</i>
<i>3. Electro motor 1</i>	<i>On</i>	<i>On</i>	<i>Off</i>
<i>4. Electro motor 2</i>	<i>On</i>	<i>On</i>	<i>Off</i>
<i>5. Genset 1</i>	<i>On</i>	<i>On</i>	<i>On</i>
<i>6. Genset 2</i>	<i>Off</i>	<i>On</i>	<i>Off</i>
<i>7. Genset 3</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>

Konfigurasi permesinan pada tugboat tersebut untuk menunjukkan komponen yang bekerja saat mode operasinya. Sumber energy gerak bekerja pada kondisi masing – masing kerjanya

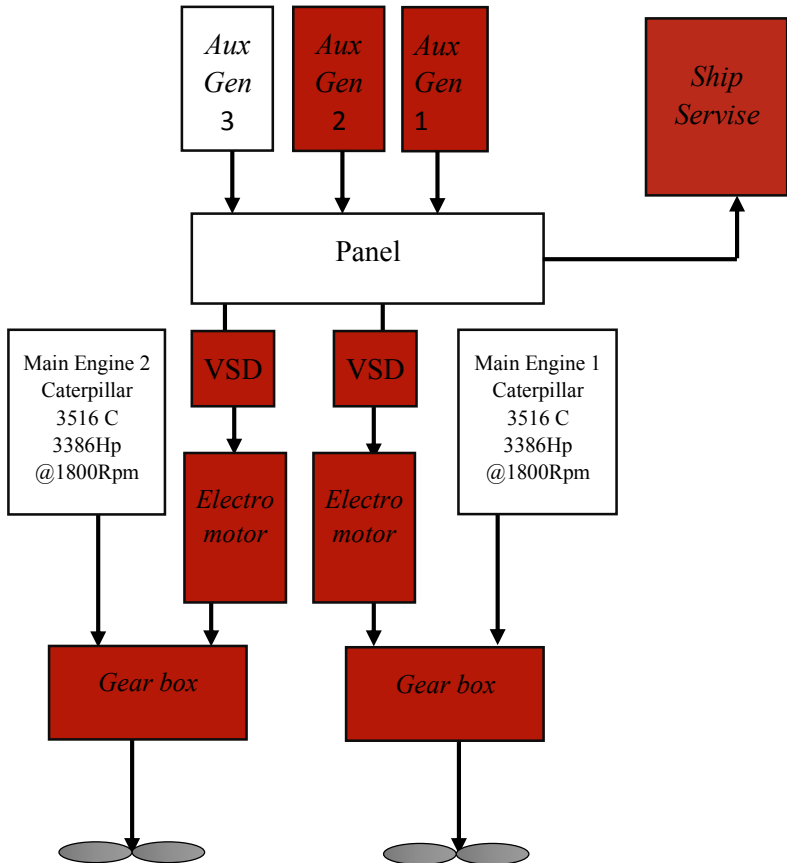
a. Kondisi standby



Gambar 4. 8 kondisi tugboat saat mode operasi *standby*

Standby adalah dimana kondisi tugboat bekerja dengan penggerak untuk mempertahankan posisinya saat berada ditengah laut untuk mempersiapkan bekerja menarik kapal. Kondisi kapal bekerja pada kecepatan 1-2 knot.

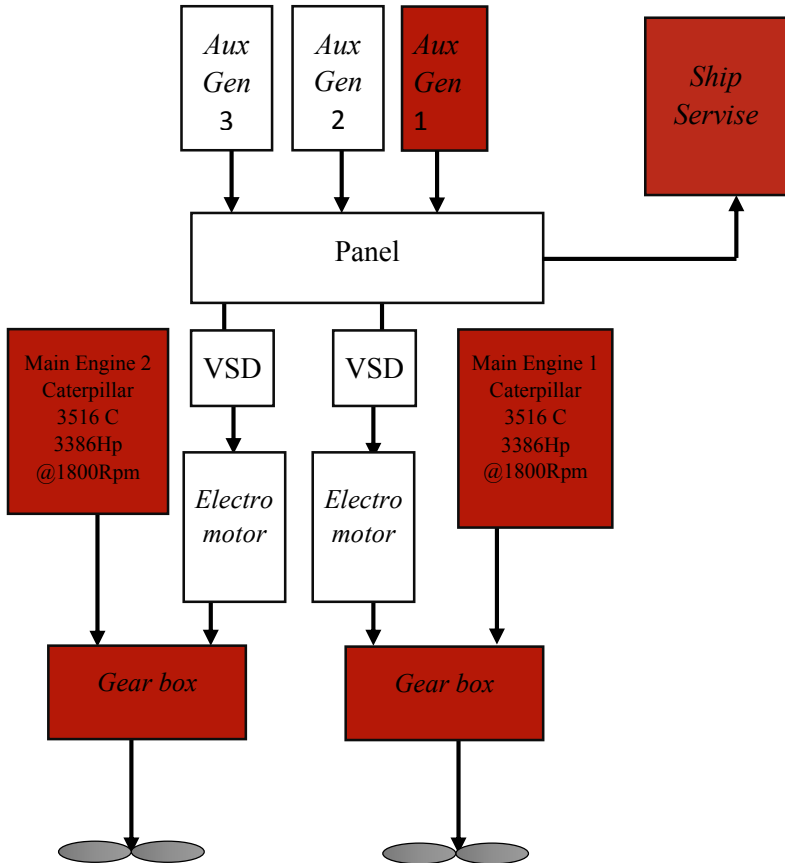
b. Kondisi *free running*



Gambar 4. 9 Kondisi tugboat saat mode operasi *free running*

Kondisi *free running* adalah kondisi dimana saat tugboat bekerja tanpa beban, tugboat bekerja dari pelabuhan menuju kapal yang akan ditarik ke pelabuhan. kapal bekerja pada kecepatan 7 – 12 knot.

c. **Kondisi assisting**



Gambar 4. 10 Kondisi tugboat saat mode operasi *assisting*.

Kondisi tugboat saat mode operasi *assisting* adalah kondisi dimana tugboat sedang menarik maupun mendorong kapal yang akan bersandar dipelabuhan. Mode operasi ini membutuhkan daya yang besar, sehingga menggunakan

sumber tenaga gerak dari mesin diesel untuk mendapatkan torsi yang besar untuk dapat menarik kapal tersebut.

4.5. Perhitungan kebutuhan bahan bakar

Perhitungan kebutuhan bahan bakar untuk mengetahui jumlah kebutuhan bahan bakar dari tugboat tersebut untuk selang waktu tertentu pada semua mode operasi tugboat tersebut. Konsumsi bahan bakar pada mesin diesel dapat digambarkan dalam beberapa cara berdasarkan aplikasinya. Pada putaran yang konstan, total konsumsi bahan bakar bervariasi secara linier dengan besarnya beban pada mesin diesel.

Prediksi kebutuhan bahan bakar ini untuk mengetahui kebutuhan bakar pada konfigurasi permesinan konvensional dan kebutuhan bakar pada konfigurasi hybrid pada semua mode operasi dari tugboat. Perhitungan bahan bakar ini meliputi semua kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada semua mode operasi tugboat, meliputi perhitungan kebutuhan bahan bakar pada mesin diesel dan dari *auxiliary engine* pada semua mode operasi tugboat.

4.5.1. Prediksi Kebutuhan bahan bakar konfigurasi permesinan konvensional (mesin diesel)

Prediksi kebutuhan bahan bakar pada konfigurasi permesinan konvensional adalah perhitungan konsumsi bahan bakar dari mesin diesel pada semua kondisi kerjanya. Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar pada mesin adalah menggunakan rumus sebagai berikut :

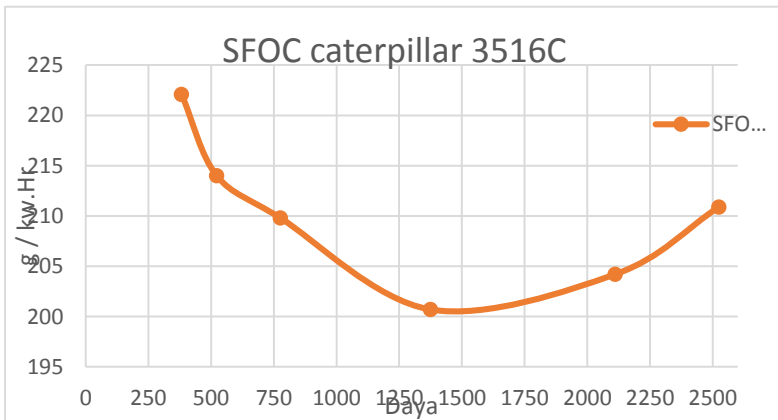
$$FO_{\text{mass}} = P \times \text{sfoc}$$

Dimana :

P = daya yang digunakan (kW)
SFOC = *Specific fuel oil consumption* (g / kW.hr)

Tabel 4. 15 SFOC caterpillar 3516 C bHp 3384.7 @1800 Rpm

Rpm	bHP	bkW	g/bkW.hr
1800	3384.7	2525	210.9
1500	2830.9	2111	204.2
1300	1842.6	1374	200.7
1100	1040.6	776	209.8
900	700	522	214
700	512.3	382	222.1



Gambar 4. 11 Grafik SFOC Caterpillar 3516 C 3384.7 bHp @1800 Rpm

Pada mode operasi assisting pada *full condition* menarik, kebutuhan bahan bakarnya adalah

$$\begin{aligned}
 FC &= P \times \text{SFOC} \\
 &= 2328 \text{ kW} \times 207 \text{ gr/kWh} \\
 &= 481896 \text{ gr / hr}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 16 Kebutuhan bahan bakar mesin diesel pada tiap mode operasi

mode operation	(Vs)	Daya	SFOC	<i>Fuel consumption</i> (gr / hr)
	(knot)	(kW)	(g/kWh)	FC = P x sfoc
<i>Standby</i>	2	11	225.1	2821.1
<i>Cruissing</i>	10	350	220	86240
<i>Assisting</i>	3	2328	207	481896

Tabel 4. 17 Kebutuhan bahan bakar pada genset pada konfigurasi permesinan konvensional

	Mode operasi	<i>Power</i> (kW)	Load Factor
			caterpillar C 18 Acert 450 ekW
1	<i>standby</i>	81	85.2 %
2	<i>cruissing</i>	74	77.8 %
3	<i>asissting</i>	74	77.8 %

<i>mode operation</i>	(Vs)	Daya	SFOC	<i>Fuel consumption</i> (gr / hr)
	(knot)	(kW)	(g/kWh)	FO = P x sfoc
<i>Standby</i>	2	81	222.3	18087.3
<i>Cruissing</i>	10	74	223.3	16524.2
<i>Assisting</i>	3	74	223.3	16524.2

Sehingga di dapatkan jumlah total konsumsi bahan bakar mesin diesel dan generator set pada konfigurasi permesinan konvensional adalah :

Tabel 4. 18 kebutuhan bahan bakar total pada konfigurasi permesinan konvensional.

mode operation	<i>Total Fuel Consumption</i> (gr / hr)
<i>Standby (2 ME + 1 Aux)</i>	24251.4
<i>Cruissing (2 ME + 1 Aux)</i>	189004.2
<i>Asissting (2 ME + 1 Aux)</i>	980316.2

4.5.2. Prediksi kebutuhan bahan bakar konfigurasi permesinan hybrid.

Perhitungan prediksi kebutuhan bahan bakar pada konfigurasi hybrid ini dihitung pada saat mode operasi kapal cruising dan stanby, karena saat mode assisting kondisi main engine off sehingga yang bekerja sebagai penggerak adalah motor listrik yang listriknya berasal dari generator.

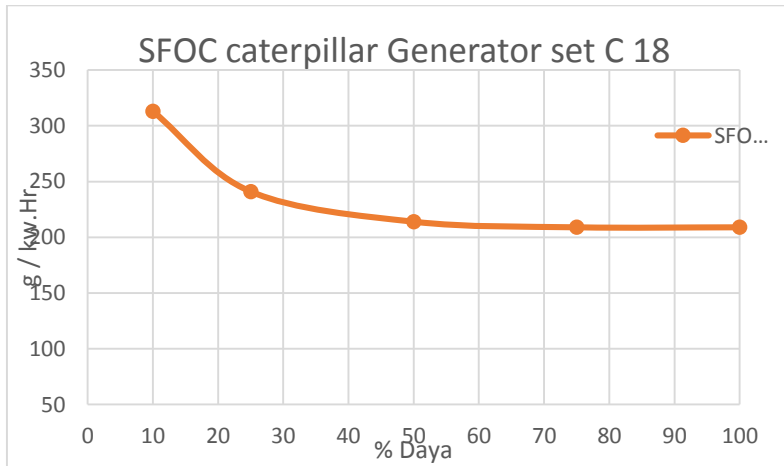
Perhitungan kebutuhan bahan bakar pada generator menggunakan persamaan berikut :

$$FC = P \times SFOC$$

Perhitungan kebutuhan bahan bakar ini sama dengan perhitungan kebutuhan pada main engine. Dan dihitung pada kebutuhan bahan bakar tiap mil perjamnya. Untuk SFOC pada generator Caterpillar C 18 560 kVA ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 19 Engine performance pada generator set C 18 Acert 563 kVA

% Load	ekW	bHP	bkW	g/bkW.hr
100	450	660	492	209
75	338	495	369	209
50	225	330	246	214
25	113	165	123	241
10	45	66	49	313



Gambar 4. 12 Grafik SFOC Caterpillar genset C 18 563 kVA

Pada mode operasi *standby*, kebutuhan bahan bakarnya pada tiap gensetnya adalah

$$P = 784.6 \text{ kW} / 2$$

$$P_1 \text{ genset} = 392.3$$

$$\begin{aligned}
 FC &= P \times \text{SFOC} \\
 &= 392.3 \text{ kW} \times 209 \text{ gr/kWh} \\
 &= 81990.7 \text{ gr / hr}
 \end{aligned}$$

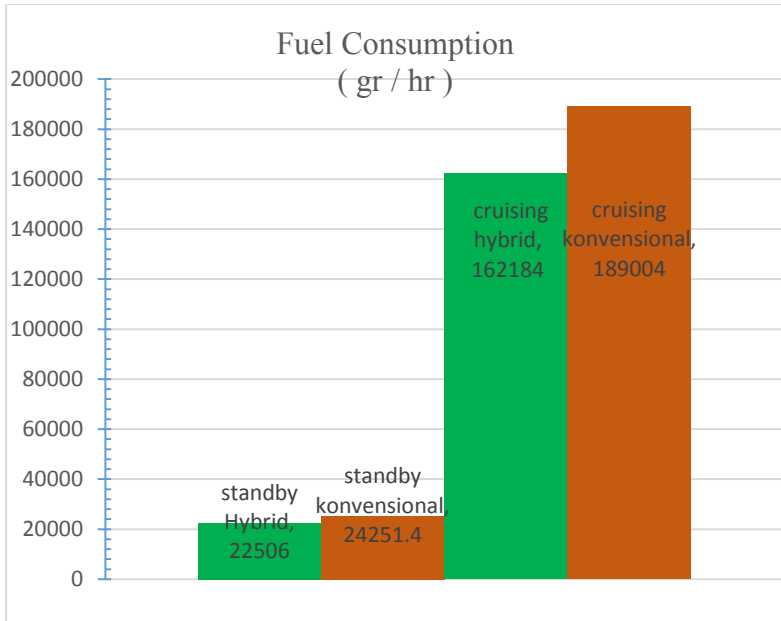
Tabel 4. 20 Load factor genset pada tiap mode operasi

	Mode operasi	Power (kW)	Load Factor caterpillar C.18 450 ekW	
			1 genset	2 genset
1	<i>standby</i>	102.13	22.6 %	
2	<i>Cruising</i>	777.6		86.4 %

Tabel 4. 21 Perhitungan kebutuhan bahan bakar tiap mode operasi pada genset

mode operation	(Load)	Daya	SFOC	Fuel consumption (gr / hr)
	(%)	(kW)	(g/kWh)	FC = P x sfoc
<i>Standby</i>	22.6	102.13	223.3	22506
<i>Cruissing</i>	86.4	388.8	209	81092.2

mode operation	Total Fuel Consumption (gr / hr)
<i>Standby (1 Aux)</i>	22506
<i>Cruissing (2 Aux)</i>	162184.4
<i>Asissting (2 ME + 1 Aux)</i>	980316.2



Gambar 4. 13 Perbandingan konsumsi bahan bakar

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

berdasarkan dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Mendapatkan konfigurasi permesinan baru pada tugboat 70 ton *bollard pull*, dengan konfigurasi permesinan 2 sumber tenaga gerak yaitu konfigurasi 2 mesin diesel dengan 2 motor listrik untuk mode operasi tugboat yang berbeda – beda.
2. Melalui konfigurasi permesinan hybrid motor listrik dan mesin diesel didapatkan suatu system propulsi yang hemat bahan bakar hingga 30 %.
3. Frekuensi dari *maintenance* mesin diesel akan semakin lebih kecil, *time between overhaul* dari mesin menjadi semakin lebih lama karena mesin bekerja selalu di atas 75 % dari daya.

5.2. Saran

1. Sebaiknya pada penelitian berikutnya dilakukan dengan metode permodelan konfigurasi permesinan hybrid yang berbeda.
2. Sebaiknya diadakan penelitian selanjutnya mengenai penggunaan variasi motor listrik dengan daya input yang berbeda.
3. Sebaiknya pada penelitian berikutnya mengenai pemilihan sumber energy listrik seperti baterai pada system konfigurasinya.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Adji, s, W., (2005). Review Tentang Daya Motor Penggerak Kapal. *Engine propeller Matching*. 1 - 31

Alvarez, R., Schlienger, P., Weilenmann, M., (2010). *Effect of hybrid sytem battery performance on determining hybrid electric vehicles in real-world conditions. Energy Policy* doi:10.1016.

Dedes, Eleftherios K., Hudson, Dominic A., Turnock, Stephen R., (2011). *Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping. Elsevier. International Journal of Energy Policy* 40, 204-218.

Edward V. Lewis, *Principles of Naval Architecture, Second Revision*, Volume 2, November, 1988

Grimmelius, H., De Vos P., Krijgsman, M., Van Deursen, E., (2011). *Control of Hybrid Ship Drive System*. Compit. Netherland

Jason Aspin, Susan Hayman, 2009. *“The Hybrid Tug Reality – The Business Case for Green Technology in the Tugboat Industry”* Amsterdam, The Netherlands Organised by the ABR Company

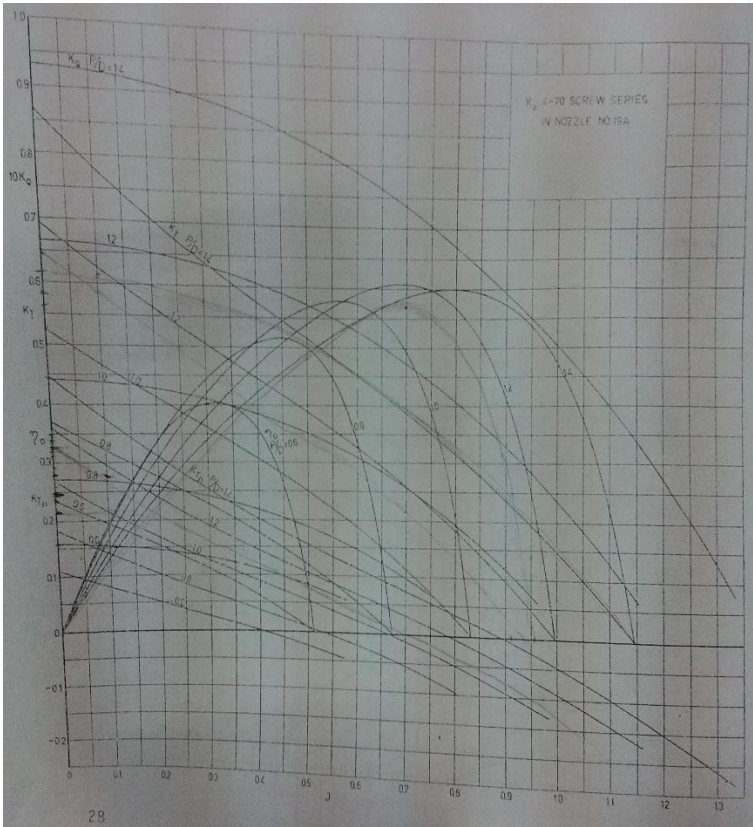
Jayaram, Varalakshmi., Khan, yusuf., J. Wayne Miller., William A welch., Johnson, kent., (2010). *Evaluating Emission Benefits of a Hybrid Tugboat*. University of California, Riverside of Engineering – center for environmental research and Technology.

Klein Woud, H., Stapersma, D., (2002). *Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems*. IMarEST publications, London.

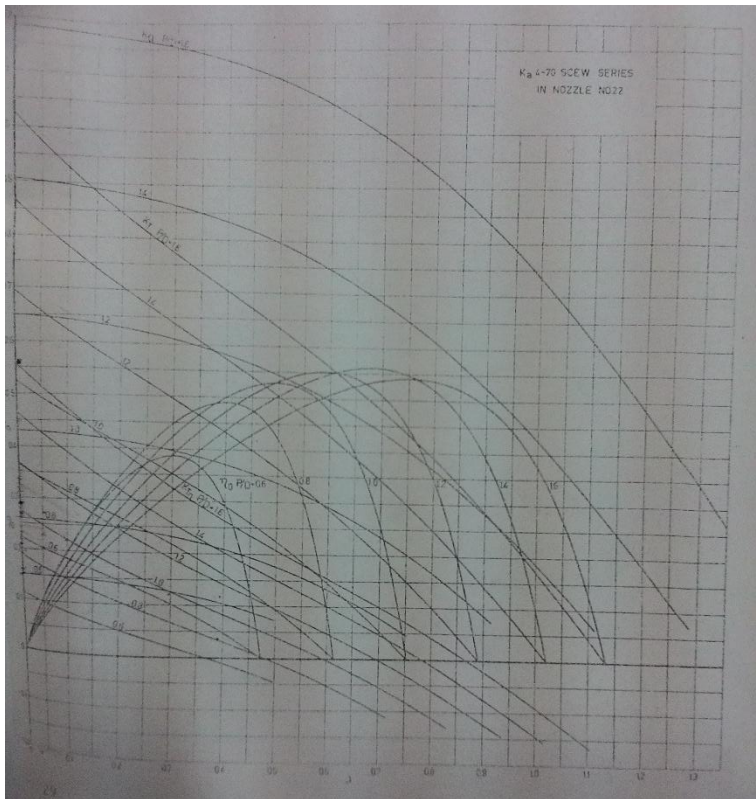
Simon Sortland. 01.2008 “*Hybrid propulsion system for AHTS anchor handling tug supply vessels*”. Wärtsilä Technical Journal

Thorsten Völker.2009. “*Hybrid Propulsion Concepts On Ships*” University of Applied Sciences Bremerhaven Germany

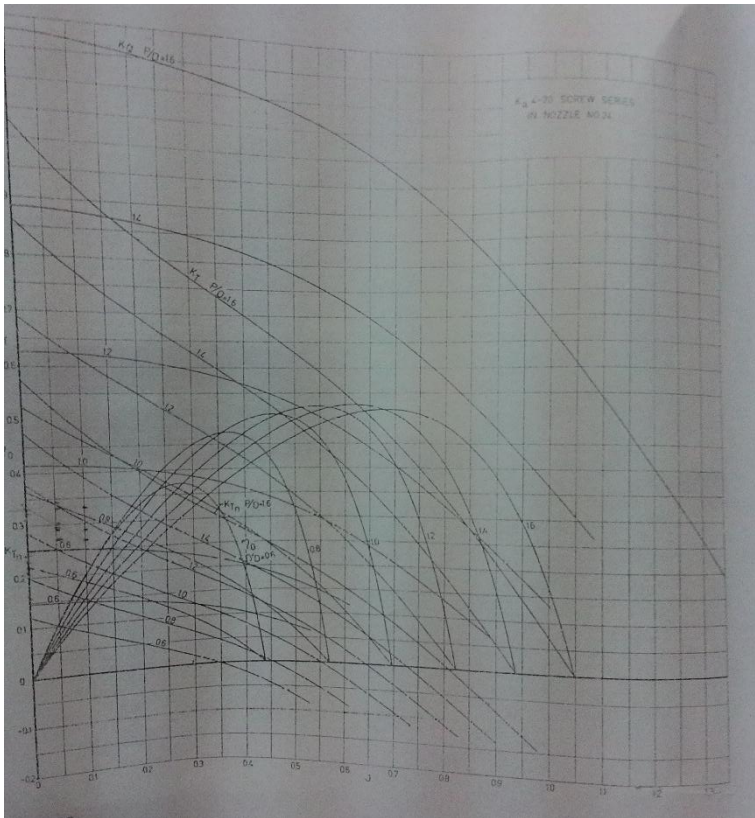
Lampiran



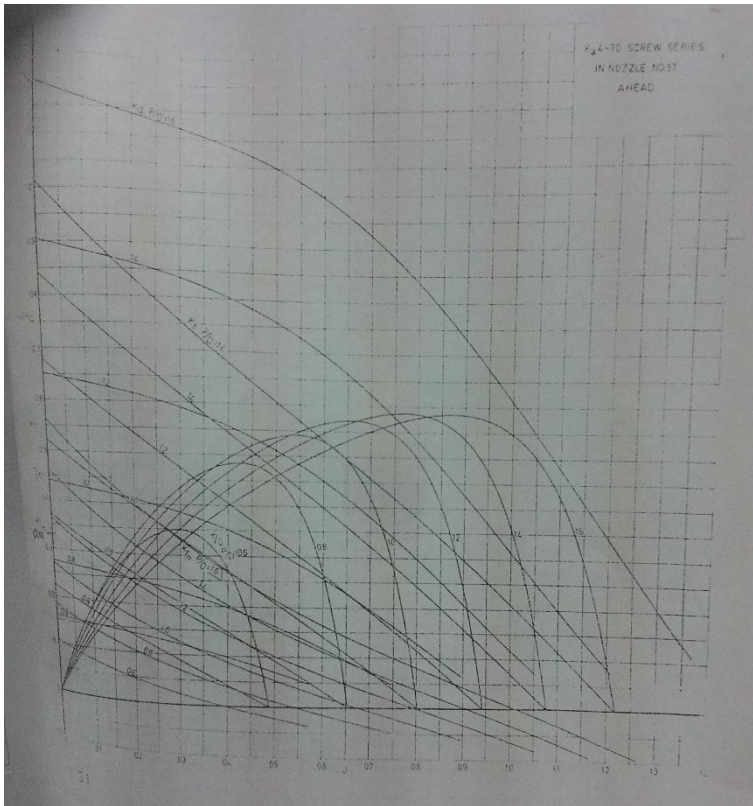
Open water test Kaplan series Ka 4 – 70 (19A)



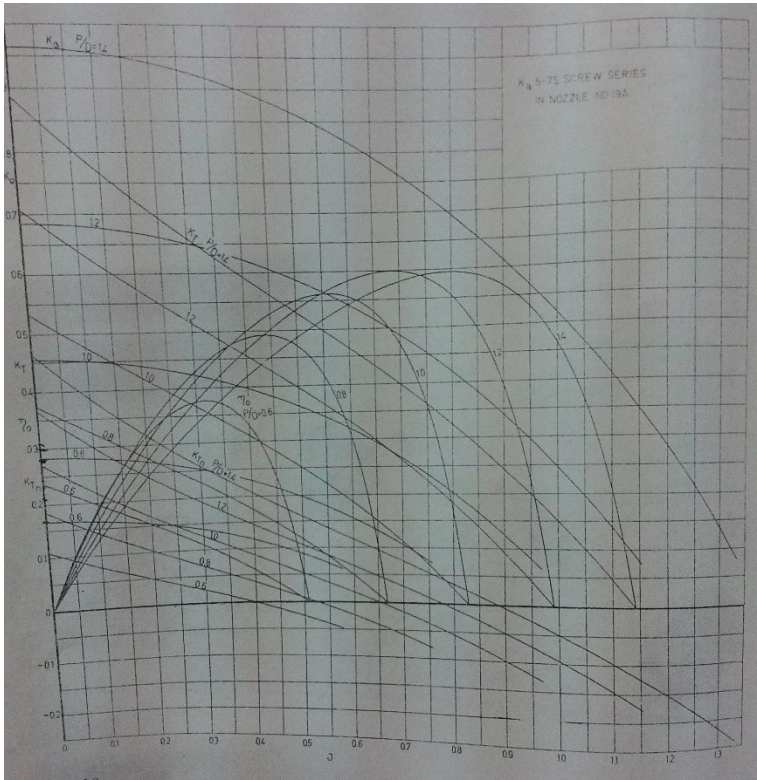
Open water test Kaplan series Ka 4 – 70 (22)



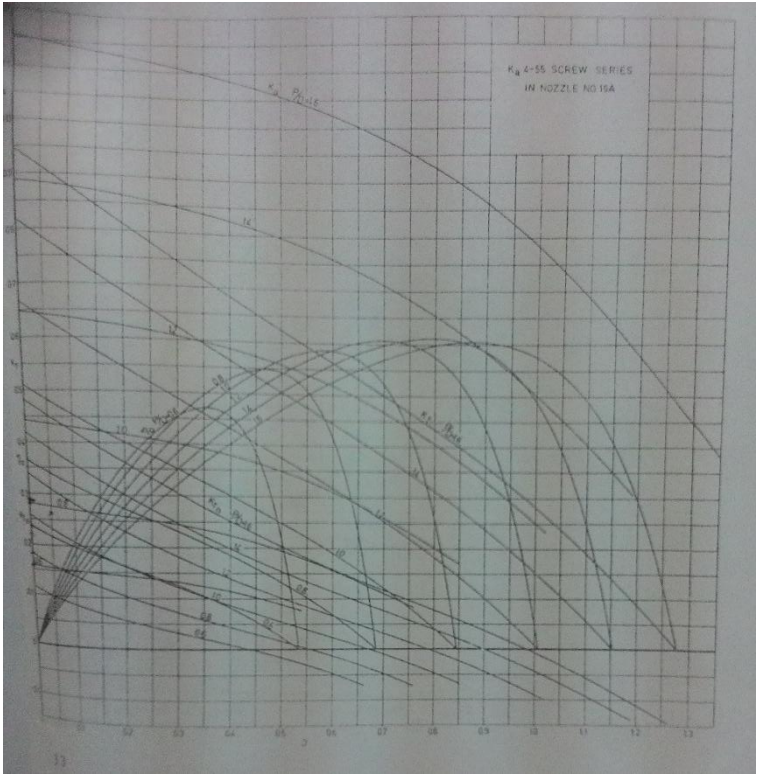
Open water test Kaplan series Ka 4 – 70 (24)



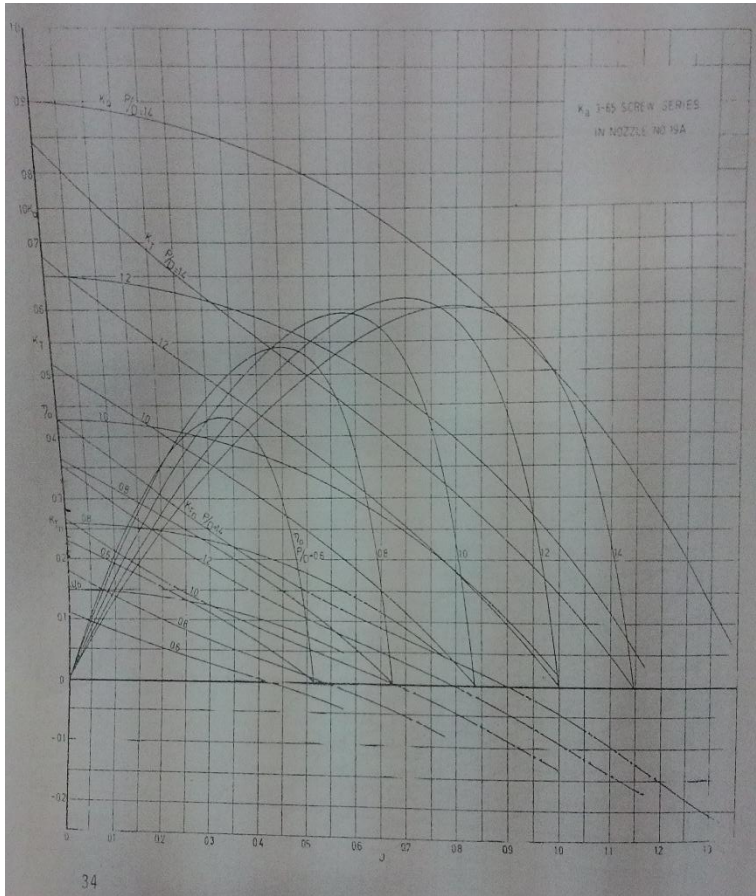
Open water test Kaplan series Ka 4 – 70 (37)



Open water test Kaplan series Ka 5 – 75 (19a)



Open water test Kaplan series Ka 4 – 55 (19a)



Open water test Kaplan series Ka 3 – 65 (19a)

BIODATA PENULIS



Penulis, Imron Noor Ardiwijaya lahir di kota Cilacap pada tanggal 22 januari 1993 merupakan anak terakhir dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Aisyiyah 5 Gumilir Cilacap, SD Negeri 6 Gumilir, SMP Negeri 5 Cilacap, SMA Negeri 1 Cilacap. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, penulis mengikuti SNMPTN tulis dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS dan terdaftar dengan NRP 4211100075.

Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil Bidang Study Marine Power Plant (MPP). Selain mengikuti perkuliahan, penulis juga tercatat sebagai member di Laboratorium Marine Power Plan. penulis juga aktif di beberapa kegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) sebagai pengurus.

Email : imronnoor.ardiwijaya@yahoo.com
(08562630791)