



TUGAS AKHIR – ME184834

**PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA
KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRID
BERBASIS ETAP 16.0.0.**

Herry Eka Prasetyo

04211640000007

Dosen Pembimbing :

Indra Ranu Kusuma, S.T.,M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – ME184834

**PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA
KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRID
BERBASIS ETAP 16.0.0.**

Herry Eka Prasetyo

04211640000007

Dosen Pembimbing :

Indra Ranu Kusuma, S.T.,.M.Sc.

NIP. 1979 0327 2003 12 1001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME184834

**THE SIMULATION OF DIRECT CURRENT (DC)
DISTRIBUTION SYSTEM IN TRIMARAN HYBRID
PASSANGER SHIP BY ETAP 16.0.0**

Herry Eka Prasetyo

04211640000007

Supervisor :

Indra Ranu Kusuma, S.T.,.M.Sc.

NIP. 1979 0327 2003 12 1001

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL
TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRID BERBASIS ETAP
16.0.0.**

SKRIPSI

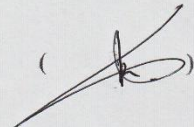
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation Sistem* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HERRY EKA PRASETIYO
NRP. 0421164000007

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :
1. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc
NIP. 197903272003121001



SURABAYA
JANUARI 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL
TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRID BERBASIS ETAP
16.0.0.**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation Sistem (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HERRY EKA PRASETIYO
NRP. 0421164000007

Disetujui oleh :

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D
NIP. 19790319 2008 01 1008

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYRID BERBASIS ETAP 16.0.0.

Nama Mahasiswa : Herry Eka Prasetyo
NRP : 0421164000007
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.

Abstrak

Penelitian ini mencoba untuk mensimulasikan sistem kelistrikan pada kapal trimaran berteknologi hybrid dengan memanfaatkan energi terbarukan. Dua dari sekian banyak energi terbarukan yaitu energi angin dan energi matahari adalah salah satu energi yang dapat dioptimalkan penggunaannya sebagai pembangkit listrik di kapal. Penerapan sistem *hybrid* dapat menjadi pilihan penggunaan energi terbarukan di kapal. Sistem *hybrid* merupakan sebuah konsep dengan menggabungkan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban sistem kelistrikan. Sistem *hybrid* yang dikombinasikan dari 4 jenis pembangkit yaitu *wind turbine*, *photovoltaic*, *battery* dan *diesel generator*. Dalam beberapa kurun waktu ke depan prospek pemanfaatan pembangkit listrik *hybrid* pada kapal akan sangat besar terutama kapal penumpang yang menjadi transportasi utama penghubung antar pulau di Indonesia. Sudah banyak penelitian mengenai pengaplikasian sistem *hybrid* pada kapal. Akan tetapi dalam pengaplikasiannya masih berdasarkan sistem distribusi AC, karena dalam penerapan sistem AC cukup rumit seperti memerlukan trafomator yang berakibat pada berkurangnya kemampuan kapal dalam mengangkut cargo. Maka peneliti mencoba memodelkan sisten distribusi DC pada kapal. dalam kasus ini adalah *trimaran passanger ship*. Serta menganalisa kestabilitas tegangan sebagai standard dalam pemodelan yang mengacu pada IEEE dan BKI Vol IV. IEEE.

Kata Kunci : *Hybrid, Kapal Penumpang Trimaran, Pembangkit Listrik, Stabilitas Tegangan*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THE SIMULATION OF DIRECT CURRENT (DC) DISTRIBUTION SYSTEM IN TRIMARAN HYBRID PASSANGER SHIP BY ETAP 16.0.0.

Name : Herry Eka Prasetyo
NRP : 0421164000007
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Advisor : Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc.

Abstrack

This study tries to simulate the electrical system on hybrid technology trimaran ships by utilizing renewable energy. Two of the many renewable energy namely wind energy and solar energy is one of the energy that can be optimized for use as a power plant on board. The application of hybrid systems can be the choice of using renewable energy on ships. Hybrid system is a concept by combining two or more different energy sources to meet the electrical system load requirements. The hybrid system is combined from 4 types of generators namely wind turbine, photovoltaic, battery and diesel generator. In the next few years the prospect of utilizing hybrid power plants on ships will be very large, especially passenger ships which are the main transportation links between islands in Indonesia. There have been many studies regarding the application of hybrid systems on ships. However, the application is still based on the AC distribution system, because the application of the AC system is quite complicated, such as requiring a transformer which results in a reduced ability of ships to transport cargo. Then the researchers tried to model the DC distribution system on the ship. in this case trimaran passanger ship. And analyze stress stability as a standard in modeling that refers to IEEE and BKI Vol IV. IEEE

Keyword : *Hybrid, Trimaran Passenger Ship, Power Plant, Voltage Stability*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanallahu wa Ta'ala, yang selalu memberikan kesehatan dan melimpahkan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul “Pemodelan Sistem Distribusi Arus Searah Pada Kapal Trimaran Bertenaga Listrik Hybrid berbasis ETAP 16.0.0.”. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan bantuan, semangat, dan doa dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak (Agung) dan Ibu (Sumiyati). Serta adik saya Shelly yang selalu mendoakan dan selalu memberikan dukungan dan semangat tanpa kenal lelah disetiap kondisi penulis.
2. Bapak Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi ilmu, motivasi dan bimbingan yang luar biasa kepada penulis layaknya orang tua sendiri selama proses pengerjaan.
3. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Ir. Amiadji, M.M., M.Sc. selaku dosen wali yang memberikan pembelajaran hidup yang berarti bagi penulis selama hamper 4 tahun belajar di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
6. Seluruh grader dan teman-teman di *Laboratorium Marine Electrical and Automation System*.
7. Teman-teman Voyage'16 yang selalu memberi dukungan dan doanya.
8. Sahabat-sahabat saya Rangga, Wishnu, Wafi, dan keluarga 5 cm (Syaffa', Karina, Hafidz, Saifudin, Fitria), yang selalu menghibur penulis ketika pulang ke rumah.
9. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belum mencapai kata sempurna. Oleh sebab itu saran dan kritik yang membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bangsa Indonesia.

Surabaya, 29 Januari 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN I	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN II	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	xi
Abstrack	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Green-Port</i>	5
2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hybrida	7
2.3 Prinsip Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC	8
2.4 Komponen Sistem Distribusi Pembangkit Tenaga Listrik DC	9
2.5 Pemodelan Sistem Distribusi Tenaga Listrik DC.....	10
2.6. ETAP	13
2.7. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin (<i>Wind Turbine</i>)	14
2.7.1. Jenis-jenis Turbin Angin	15
2.7.2. Prinsip Kerja Turbin Angin	16
2.7.3. Perhitungan Kapasitas Turbin Angin	17
2.8. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya (<i>Photovoltaic</i>).....	19
2.8.1. Cara Kerja Panel Surya	19
2.8.2. Komponen Panel Surya.....	20
2.8.3. Perhitungan Kapasitas Panel Surya	21
2.9. Tegangan Jatuh (<i>Drop Voltage</i>).....	21
2.9.1. Penyebab Tegangan Jatuh.....	22
2.9.2. Standard Tegangan Jatuh	23
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Deskripsi Tahapan Penelitian	26
3.2 Studi Literatur	26
3.3 Pengumpulan Data	26
3.4 Proses	26

3.5	Pemodelan	27
3.6	Hasil dan Pembahasan	27
3.7	Kesimpulan dan Saran	27
BAB IV DATA PENELITIAN		29
4.1	Dimensi Utama Kapal	29
4.2	Electrical Load Calculation	30
4.3	Pemilihan Generator	38
4.4	Penentuan Panel Surya (<i>Photovoltaic</i>)	40
4.5	Penentuan Turbin Angin (<i>Wind Turbine</i>)	42
4.6	Langkah Langkah Simulasi Elektrikal	44
4.6.1.	Pembuatan <i>New Project</i>	44
4.6.2.	<i>Setting</i> Generator	45
4.6.3.	<i>Cable</i> Editor	46
4.6.4.	Fuse	47
4.6.5.	Circuit Breaker	47
4.6.6.	Bus	48
4.6.7.	Statistic Load	49
4.6.8.	AC-DC Converter	49
4.6.9.	DC-AC Inverter	50
4.6.10.	DC Circuit Breaker	50
4.6.11.	DC-DC Converter	51
4.6.12.	Battery	51
4.6.13.	PV Array	52
4.6.14.	Wind Turbine	52
4.7.	Perhitungan Komponen	53
4.7.1	Generator	53
4.7.2	<i>Machinery Part</i>	53
4.7.3	General Service Machinery Part	54
4.7.4	<i>Refrigeration & Ventilation Part</i>	54
4.7.5	Electrical Part	55
4.7.6	Pengaman MPPT DC (Maximum Power Point Tracking)	55
4.7.7	Pengaman Inverter (DC to AC)	55
4.7.8	Pengaman Rectifier (AC to DC)	56
4.8.	Simulasi Percobaan	57
4.8.1.	Single Line Diagram	57
4.8.2.	Load Flow	58
4.9.	Analisa Tegangan Jatuh	59
4.9.1.	Perhitungan Tegangan Jatuh	59
4.9.2.	Presentasi Tegangan Jatuh Dengan Variasi Beban	62
4.9.3.	Analisa Hasil Nilai Tegangan Jatuh (<i>Drop Voltage</i>)	63

BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71
BIOGRAFI PENULIS	83

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC .	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 One line diagram di kapal (a) Distribusi AC (b) Distribusi DC	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Kapal dengan Sistem Terpusat (a) dan Sistem terdistribusi (b)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 Komponen Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hibrida.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5 Variable-speed control dari sebuah diesel generator	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 Block diagram overview of a hybrid electric ship with dc distribution	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Ship and propeller speeds.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 Excitation voltages and dc bus voltage	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Tampilan Electrical Transient Analysis Program	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10 Turbin Angin Sumbu Horizontal	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11 Turbin Angin Sumbu Horizontal	16
Gambar 2. 12 Skema Dasar Sel Surya	20
Gambar 2. 13 Standar tegangan jatuh berdasarkan BKI ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Kapal Feri Trimaran.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 General Arrangement Trimaran Passenger Ship	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 3 New Project	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4 User New Project	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Sheet New Project.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6 Generator info (Kiri) dan Rating Gnerator (Kanan)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 7 Impedance/Model	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 8 Cable Editor Info (Kiri) dan Impedance (Kanan) ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 9 Fuse Editor Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 10 Circuit Breaker Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 11 Bus Editor Info (Kiri) dan Rating (Kanan).....	48

Gambar 4. 12 Static Load Editor Info (Kiri) dan Loading (Kanan).....	49
Gambar 4. 13 AC – DC Converter Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 14 DC-AC Inverter Info (Kiri) dan Rating (Kanan) ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 15 DC Circuit Breaker Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 16 DC-DC Converter Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	51
Gambar 4. 17 Battery Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	51
Gambar 4. 18 PV Array Info (Kiri) dan Rating (Kanan)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 19 Wind Turbin Tools.....	52
Gambar 4. 20 Single Line Diagram	57
Gambar 4. 21 Single Line Diagram dan hasil simulasi load flow	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 22 Grafik $V_s - V_r$ pada setiap beban	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 23 Grafik Nilai Drop Voltage Pada Motor FW Pump	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 24 Grafik Nilai Drop Voltage Pada Motor Steering Gear.....	64
Gambar 4. 25 Grafik Nilai Drop Voltage Pada Main Motor Propulsuion	65
Gambar 4. 26 Grafik Nilai Drop Voltage Pada 3 Motor	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai friction coefficient α	17
Tabel 2. 2 Standar drop voltage pada IEC.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1 Principle Dimention.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2 Tabel Load Factor	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Daftar beban listrik pada kapal trimaran.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Daftar peralatan listrik pada machinery part.....	36
Tabel 4. 5 Daftar peralatan listrik pada hull part	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 6 Daftar peralatan listrik pada electrical part ...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 7 Kebutuhan Beban Listrik Kapal Trimaran....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 8 Proses Pemilihan Generator	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 9 Generator Terpilih AVK DIG 161 n/6L	40
Tabel 4. 10 Jumlah beban yang dibutuhkan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 11 Pilihan Panel Surya.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 12 Panel Surya Terpilih	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 13 Spesifikasi Turbin Angin	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 14 Perhitungan Tegangan Jatuh	59
Tabel 4. 15 Hasil nilai drop voltage pada setiap variasi Beban....	Error! Bookmark not defined.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sepuluh tahun terakhir ini telah terjadi peningkatan perhatian terhadap dampak dari bisnis kepelabuhanan yang mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Saat ini pelabuhan di seluruh dunia sedang menghadapi hambatan terkait dengan menurunnya kualitas lingkungan, namun pelabuhan juga dituntut untuk terus beroperasi menjalankan aktivitasnya untuk melayani jasa perdagangan dunia yang semakin meningkat dan menjadi salah satu rantai dalam *maritime logistics*. Menurut Talley (2009) meningkatnya volume kargo yang ditangani oleh pelabuhan akan diikuti pula dengan meningkatnya dampak negatif terhadap lingkungan. Dan salah satu penyumbang polusi terbesar dalam bisnis kepelabuhanan adalah kapal. Mengeluarkan gas buang berupa NO_x, SO_x, dan CO₂ yang berasal dari hasil pembakaran *main engine (diesel engine)* berbahan bakar *fuel oil* (minyak bumi).

Kondisi ini mengakibatkan jumlah emisi dari gas buang *main engine (diesel engine)* untuk aktivitas di pelabuhan menunjukkan nilai yang sangat tinggi. Peraturan Internasional maupun regional telah untuk mengendalikan jumlah emisi dari motor diesel yang dibuang ke atmosfer, *International Maritime Organization (IMO)* melalui MARPOL 73/78 Annex VI Tier III membatasi kandungan SO_x dan NO_x pada gas buang motor diesel yang tidak boleh lebih dari 6 g/kWh dan batasan maksimum kadar NO_x adalah berkisar 9.8-17 g/kWh yang tergantung dari putaran motor (IMO, 1997).

Maka dari itu perlu dikembangkannya penelitian untuk menjaga keberlanjutan proses *maritime logistic* khususnya jasa kepelabuhanan, yaitu dengan cara mendukung program pengembangan pelabuhan berwawasan lingkungan (*greenport*). Permasalahan ini dapat dijawab dengan mengembangkan sumber energi terbarukan karena dirasa tidak berpolusi dan layak secara ekonomi, salah satunya adalah pemanfaatan pembangkit listrik *hybrid* yang berpotensi untuk dikembangkan di kapal yang beroperasi di Indonesia adalah kombinasi antara *wind turbine*, *photovoltaic*, dan *battery*. Hal ini dikarenakan letak geografis Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari, serta potensi pemanfaatan angin di Indonesia sangatlah besar karena didapatkan bahwa sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata antara 3 m/s hingga 5 m/s dan menghasilkan energi spesifik hingga mencapai 321 kW.hr/m². (Rachman, 2012)

Objek skripsi ini adalah kapal penumpang trimaran yang mengangkut perjalanan antar pulau, dalam kasus ini adalah Pelayaran Kalianget-Kangean-Sapekenmasalembu yang memanfaatkan sistem *Hybrid*. Yaitu kombinasi dari *wind turbine*, *photovoltaic*, *battery*, dan *diesel generator*. Dari beberapa hasil

penelitian sistem *hybrid* dapat menekan penghematan konsumsi bahan bakar dan tentu ramah lingkungan guna mendukung program *greenport* yang telah dicanangkan oleh pemerintah akhir-akhir ini. Maka dari itu penelitian ini mencoba untuk mensimulasikan sistem distribusi arus searah (*direct current*) dengan sumber kelistrikan hybrid. Karena sistem DC memberikan keuntungan seperti penghematan ruang dan berat karena dalam sistem DC tidak memerlukan *transformer* dan pengaturan peralatan yang fleksibel.

Berdasarkan hal-hal yang telah disampaikan diatas, maka dasaran tersebut digunakan untuk menyusun studi mengenai pemodelan sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hybrida dengan metode simulasi software ETAP 16.0.0.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka perumusan masalah yang penting dan akan dibahas dalam penelitian ini ada dua, yaitu :

1. Bagaimana memodelkan sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hybrida berbasis simulasi software ETAP 16.0.0 ?
2. Bagaimana melakukan simulasi sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hybrid dan menganalisa hasil simulasi berdasarkan standard ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Penelitian ini difokuskan pada simulasi sistem distribusi arus searah dengan sumber kelistrikan hybrid yang hanya disimulasikan pada sistem kelistrikan kapal Trimaran menggunakan software ETAP 16.0.0.
2. Pemodelan hanya membatasi mengenai sistem distribusi arus searah guna mendukung program pelabuhan yang ramah lingkungan (*greenport*), tidak membahas mengenai kemampuan mengurangi emisi kapal.
3. Penelitian ini tidak menghitung detail perhitungan serta perencanaan *wind turbine* dan *photovoltaic*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membentuk pemodelan yang valid mengenai sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hybrid.
2. Untuk mengetahui hasil simulasi pemodelan mengenai sistem distribusi arus searah pada kapal bertenaga listrik hybrid sesuai standard.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pemodelan yang valid mengenai sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hybrid.
2. Dapat mengembangkan ilmu pengetahuan terutama di bidang pembangkit listrik *hybrid* menunjang program *Greenport* yang sedang dicanangkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Green-Port

Greenport atau pelabuhan berwawasan lingkungan atau juga *ecoport*, adalah istilah pelabuhan yang dalam manajemen dan operasionalnya memperhatikan aspek-aspek sosial, ekonomi dan lingkungan bukan hanya profit/keuntungan secara bisnis semata. Definisi yang dikeluarkan oleh *International Association of Port and Harbour* (IAPH) terkait dengan *greenport* atau juga disebut *sustainable port* (menurut IAPH) bahwa *sustainable port* adalah dimana otoritas pelabuhan bersama-sama dengan pengguna pelabuhan, bertanggungjawab mengembangkan dan mengoperasikan pelabuhan, berdasarkan strategi pertumbuhan *green ekonomi* (ekonomi hijau).

Menurut Siahaan 2012, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut tahun 2004 telah menerapkan kebijakan pengelolaan pelabuhan yang berwawasan lingkungan (*ecoport*), dengan menerbitkan Pedoman Teknis Pelabuhan Berwawasan Lingkungan (*ecoport*). *Ecoport* merupakan label generik yang dikenakan pada pelabuhan yang menerapkan upaya-upaya dan cara-cara yang sistemik dan bersifat ramah lingkungan atau *environmental friendly* dalam pembangunan, pengembangan dan pengoperasian pelabuhan (*Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Departemen Perhubungan, 2004*). Di dalam suatu pelabuhan berwawasan lingkungan (*eco-port*), semua pihak yang berkecimpung di dalamnya dan berkepentingan dengan kegiatan kepelabuhanan didorong dan diajak untuk terlibat secara sukarela (*voluntary*) untuk menciptakan pelabuhan yang ramah lingkungan.

Kelembagaan internasional yang mengatur mengenai lingkungan dan sistem logistik kelautan adalah International Maritime Organization (IMO). IMO dalam hal lingkungan telah menghasilkan konsensus yang dikenal sebagai Konvensi MARPOL 73/78. Konvensi tersebut terdiri dari 5 Annex yaitu tentang polusi di laut terhadap minyak, bahan cair beracun, bahan berbahaya, limbah kotoran, dan sampah serta yang terakhir ditambah Annex VI tentang Pencemaran udara dari kapal. Strategi pengelolaan pencemaran dan kerusakan yang berasal dari daratan (*land based pollution*) dan dari laut (*sea based pollution*) dikembangkan dengan beberapa pendekatan, diantaranya meliputi pengelolaan limbah (*waste management*). Pengelolaan limbah itu terdiri atas limbah padat (*solid waste*), limbah padat/ sampah dari kegiatan kepelabuhanan dan dari kegiatan di darat lainnya, penanganan limbah/ sampah dari kegiatan pelayaran/kapal berdasarkan MARPOL Annex V (MARPOL

73/78), limbah industri (industrial waste), limbah minyak, limbah gas, debu, dan kebisingan (Siahaan, 2012).

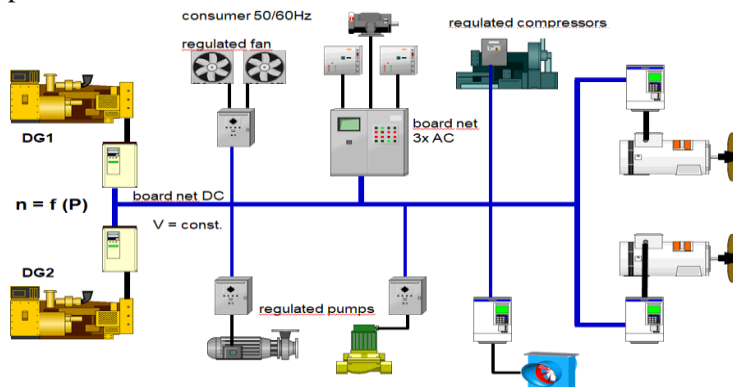
Selanjutnya pelabuhan di negara-negara Eropa yang mengimplementasikan *greenport* biasanya disebut sebagai *ecoport*. Konsep ini didasari oleh prinsip pembangunan berkelanjutan, di mana pelabuhan harus mampu meningkatkan kinerja perekonomian dan keberlanjutan secara ekologi dan juga kesejahteraan sosial bagi masyarakat. Sebagaimana kita ketahui bahwa pelabuhan adalah area yang sangat strategis, sebagai titik pertemuan antara moda darat dan moda laut dan sebagai jalur perekonomian negara. Pelabuhan di negara-negara Eropa memiliki panduan tersendiri mengenai *ecoport* yang disponsori/ diprakarsai oleh *Environmental Committee of The European Sea Port Organisation* (EPSO) dan Komisi Eropa, mereka memberikan kriteria *ecoport* sebagai berikut :

- a) Pada proses pengembangan pelabuhan, perlu adanya sosialisasi dan penerimaan opini bagi publik terkait AMDAL (Environmental Impact Assessment). Pelabuhan juga harus menetapkan area lindung untuk mengurangi beban pencemaran yang ditimbulkan.
- b) Pelabuhan harus meminimalkan dampak dari kegiatan pengerukan dan harus memahami kondisi tanah yang digunakan sebagai pelabuhan.
- c) Penyusunan kebijakan tanah yang jelas dan konsisten mampu mencegah risiko terkait lingkungan dan pembiayaan. Selain itu identifikasi pula sejak awal sumber-sumber yang dapat menyebabkan pencemaran tanah di dalam pelabuhan.
- d) Mengurangi dampak kebisingan dengan membuat peta kebisingan dan rencana aksi
- e) Pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan cara pencegahan limbah, pemulihan limbah, dan pembuangan limbah.
- f) Penentuan batas badan air yang ada di kawasan pelabuhan penting untuk perlindungan lingkungan dan pemenuhan kebutuhan air bagi kegiatan-kegiatan yang ada. Selain itu rencana pengelolaan daerah aliran sungai perlu dibuat sehingga dapat mengontrol kualitas air yang masuk ke laut.
- g) Dalam rangka menjaga kualitas udara, perlu diambil langkah yang tepat dalam rangka memenuhi nilai-nilai batas emisi yang berlaku untuk tiap instalasi yang terpasang di dalam pelabuhan. Selain itu perlu ada dialog dengan warga lokal untuk memperoleh pemahaman dari mereka atas dampak kebisingan yang dihasilkan oleh pelabuhan.
- h) Pemantauan lingkungan pelabuhan dilakukan dengan mengidentifikasi indikator kinerja terkait isu lingkungan di kawasan pelabuhan. Berdasarkan hasil identifikasi lalu disusun laporan tahunan kondisi lingkungan pelabuhan.

- i) Kesiapan pelabuhan dan potensi perencanaannya yang dikoordinasikan dengan pemerintah kota dan nasional.

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hybrid

Sistem pembangkit listrik *hybrid* didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi penerapannya dapat menghasilkan keuntungan ekonomis maupun teknis. PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid) berfungsi untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan lebih dari 1 macam pembangkit. Tetapi yang berbeda adalah kombinasi pembangkit listrik ini menggabungkan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dengan yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*). Energi untuk pembangkit listrik hybrid yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang berasal dari energi alternatif dan dikombinasikan dengan Diesel-Generator. Sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan satu daya listrik yang kontinyu dengan efisiensi yang paling optimal.



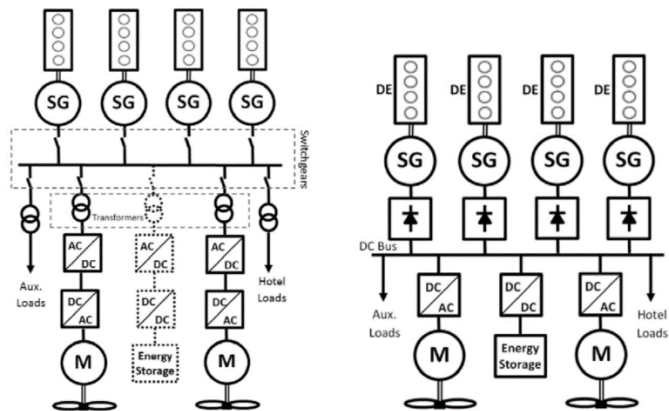
Gambar 2.1. Konsep Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC
(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

Elektronika daya mempunyai peranan penting dalam optimalisasi isu tersebut. Dikawal, elektronik konverter tenaga telah membuat terobosan dalam hal penghematan bahan bakar, ketika aplikasi Variable Speed Drives (VSD) pada tahun 1990 untuk sistem propulsi kapal listrik. Keberhasilan aplikasi VSD dalam pengembangan sistem propulsi listrik telah mempromosikan konsep kapal listrik dimana listrik akan mensuplai daya propulsi dan beban di kapal. Meskipun sebagian besar kapal listrik yang ada saat ini menggunakan sistem

distribusi ac, penetrasi elektronik daya konverter ke dalam sistem tenaga listrik menimbulkan kecenderungan terhadap pengembangan sistem distribusi dc. Pengembangan terhadap transmisi DC ini terkait dengan kelemahan sistem distribusi daya ac kapal konvensional. Tantangan dari sistem distribusi ac kapal untuk sinkronisasi unit pembangkit, aliran daya reaktif, arus masuk, arus transformator, arus harmonik, dan ketidakseimbangan tiga fase. Gambar. 1 menunjukkan gambaran diagram garis tunggal dari sistem daya ac kapal dibandingkan dengan jaringan dc kapal. Karena switchgears dan transformer yang besar tidak digunakan dalam sistem dc, sehingga sistem dc memberikan keuntungan seperti penghematan ruang dan berat, dan pengaturan peralatan yang fleksibel. Selain itu, Distribusi tenaga listrik DC tidak memerlukan sinkronisasi unit pembangkit, sistem tenaga dc memungkinkan penggerak utama untuk beroperasi pada kecepatan optimal mereka, dan mengarah ke penghematan bahan bakar yang signifikan (Keun Ku et al.). Gambar. 2 juga menunjukkan bahwa sistem dc menghilangkan kebutuhan untuk beberapa tahap konversi dan transformasi yang biasanya dibutuhkan sistem ac ketika mengintegrasikan perangkat dengan output dc, seperti perangkat penyimpanan energi.

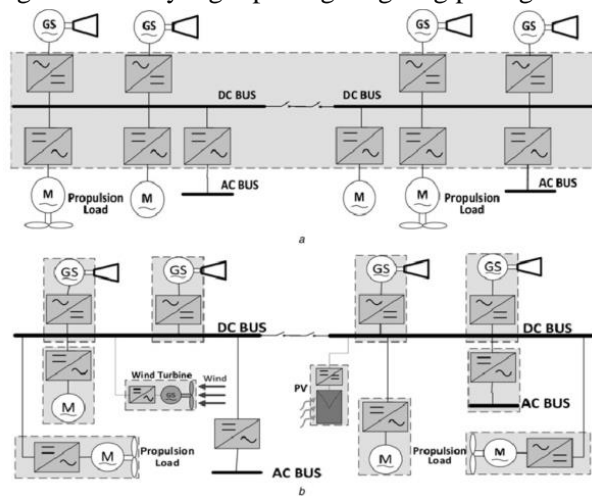
2.3 Prinsip Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC

Dalam sistem pembangkit listrik kapal, sumber energi listrik dihasilkan oleh generator. Fungsi dari generator adalah untuk mengubah energi mekanik menjadi bentuk listrik. Ketika distribusi dc diterapkan, daya ac tiga fase dikonversi menjadi daya dc melalui penyearah tiga fase. Penyearah dioda tiga fase dipilih karena kesederhanaan strukturnya, efisiensi energi yang tinggi, dan biaya rendah. (Zahedi and Norum 2013).



Gambar 2.2. One line diagram di kapal (a) Distribusi AC (b) Distribusi DC
(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

Prinsip sistem distribusi tenaga listrik DC di kapal dapat dijabarkan sebagai berikut kapal memiliki pembangkit listrik AC, daya listrik yang dihasilkan generator dimasukkan ke dalam bus DC dan kemudian didistribusikan ke konsumen. Pengubahan dari sistem distribusi tenaga listrik AC menjadi dilakukan oleh konverter (Zahedi and Norum 2013). Setiap konsumen AC utama pasok oleh konverter sendiri untuk memastikan keandalan maksimum. Semua konfigurasi yang mungkin dari grid DC onboard dapat dikategorikan ke dalam dua skema utama yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Kanellos et al. 2015) yaitu : sistem terpusat dan terdistribusi penuh. Dalam sistem terpusat semua konverter berada di tempat yang sama, sementara di tempat terdistribusi masing-masing konverter berada di dekat generator listrik atau mesin listrik yang dilayaninya. Dalam hal ini, setiap generator listrik dilengkapi dengan rectifier yang dipasang langsung pada generator.

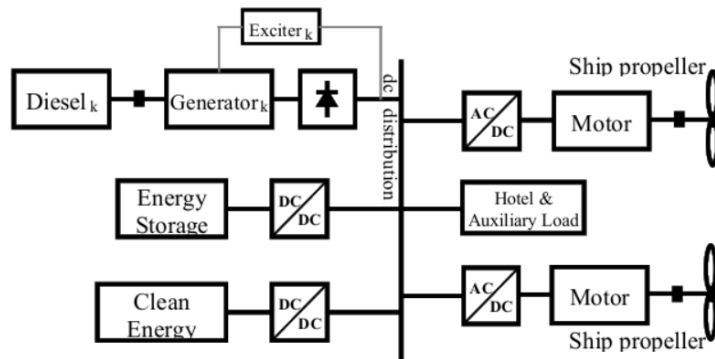


Gambar 2.3. Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Kapal dengan Sistem Terpusat (a) dan Sistem terdistribusi (b)
(Sumber : Kanellos et.all 2015)

2.4 Komponen Sistem Distribusi Pembangkit Tenaga Listrik DC

Komponen-komponen Sistem tenaga kapal hibrida dc ditunjukkan dalam diagram one -line Gambar 2.4. Sel bahan bakar dan modul PV adalah sumber energi bersih yang diusulkan untuk kapal hemat bahan bakar masa depan. Tenaga surya dapat dikombinasikan dengan tenaga angin dengan menggunakan layar tetap yang dilengkapi dengan panel surya, yang

menyediakan operasi nol-emisi. Penyimpanan energi di kapal semua-listrik dapat didasarkan pada teknologi yang berbeda, seperti baterai elektrokimia dan super kapasitor.



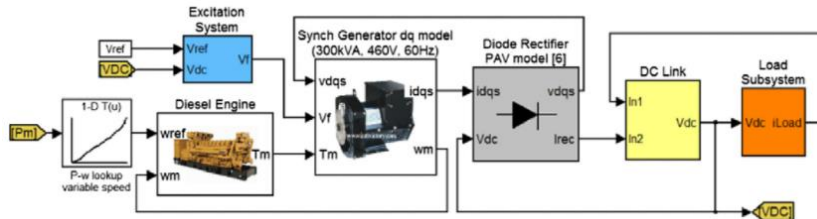
Gambar 2.4. Komponen Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hibrida
(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

Sistem distribusi tenaga listrik arus DC terdiri dari unit pembangkit listrik, sistem penyimpanan energi listrik dengan baterai Li-Ion, beban propulsi, beban servis atau operasional kapal, dan beban tambahan. Di setiap unit pembangkit, mesin penggerak digabungkan ke generator. Daya ac generator diubah menjadi daya dc melalui penyearah dioda tiga fasa. Kecepatan rotasi penggerak utama disesuaikan oleh controller untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar. Hal ini tidak mungkin dilakukan pada sistem daya ac konvensional, dimana referensi kecepatan konstan untuk menjaga sinkronisasi antara generator. Untuk mengelola pembagian daya di antara generator sambil mengatur tingkat tegangan dc, pemancar unit pembangkitan yang berbeda dapat dikoordinasikan oleh controller untuk mencegah tegangan jatuh (Lan et al. 2016). Sistem penyimpanan energi terdiri dari bank baterai Li-Ion dan konverter dc-dc dua arah memungkinkan untuk mengisi dan melepaskan baterai dengan cara yang terkendali. Pada bagian ini, unit pembangkit listrik dianalisis dan dimodelkan dalam bentuk konsumsi bahan bakar penggerak utama, dan efisiensi sistem pembangkit listrik. Efisiensi dari bank baterai dan konverter dc-dc juga dianalisis dan dimodelkan. Karena profil beban listrik dari sistem yang dipelajari tersedia, model efisiensi dari beban sistem tidak diperlukan.

2.5 Pemodelan Sistem Distribusi Tenaga Listrik DC

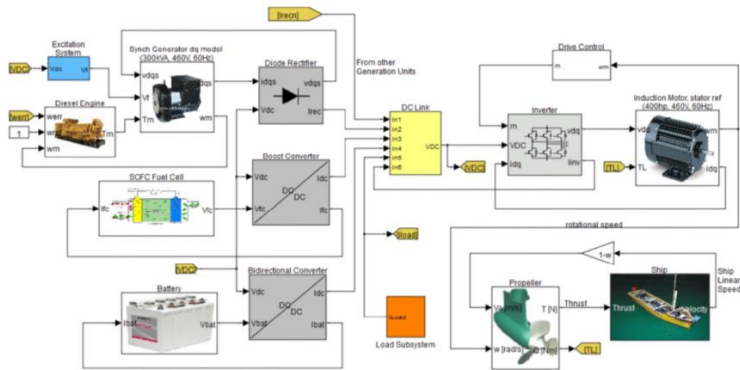
Untuk mengevaluasi kerugian daya pada sistem generator dan untuk mendapatkan kurva efisiensi, platform simulasi yang diperkenalkan di model pada gambar 2.5. Pada model sistem pembangkitan di bahas tentang rentang beban untuk dua kondisi : 1) saat putaran mesin diukur pada nilai pengenalnya,

dan 2) bila putaran mesin disesuaikan secara optimal untuk mengkonsumsi bahan bakar minimum. Gambar 2.5 menunjukkan ikhtisar kontrol kecepatan variabel untuk satu mesin diesel. Kecepatan optimal terhadap beban mesin dapat disimpulkan dari lembar data produsen mesin. Untuk operasi kecepatan konstan, kecepatan referensi disesuaikan dengan nilai pengenalnya.



Gambar 2.5. Variable-speed control dari sebuah diesel generator
(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

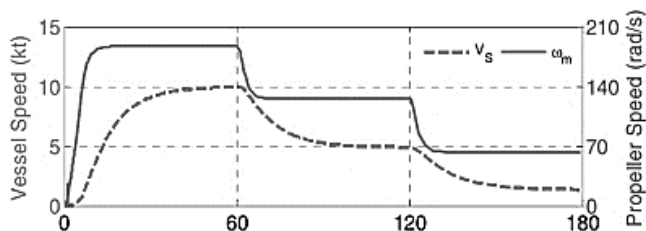
Pemodelan komponen kapal hibrida listrik termasuk elemen mekanik dan elektrik. Konverter elektronik daya dimodelkan dengan metode rata-rata nonlinier (*nonlinear averaging methods*) agar sesuai dengan studi tingkat sistem. Model terpadu untuk konverter bidirectional diusulkan untuk menghindari transisi antara dua model terpisah. Sebuah platform simulasi yang menggunakan model turunan dikembangkan untuk analisis tingkat sistem kapal listrik hibrida. Hasil simulasi dari sebuah kapal listrik hibrida dengan dua generator diesel, sel bahan bakar, dan modul penyimpanan energi disajikan untuk berbagai mode operasi. Hasil dari penelitian ini adalah Pemodelan sebuah kapal listrik hibrida dicapai seperti ditunjukkan oleh gambar 2.6. Komponen yang dipelajari meliputi sistem penyearah generator sinkron, inverter, konverter dc / dc, mesin diesel, baling-baling dan kapal. Metode rata-rata digunakan untuk memodelkan konverter elektronik daya agar mengurangi beban dan waktu perhitungan. Karena variasi sinyal yang besar mungkin terjadi pada sistem, rata-rata nonlinier digunakan untuk memodelkan konverter. Model rata-rata nonlinier bersatu diturunkan untuk konverter bidirectional.



Gambar 2.6. Block diagram overview of a hybrid electric ship with dc distribution

(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

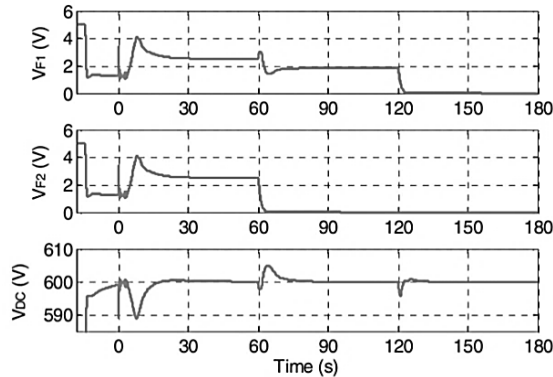
Sebuah platform dapat dilihat pada gambar 2.6 ; 2.7 ; 2.8 dan 2.9 simulasi dikembangkan dengan menggunakan model turunan untuk studi tingkat sistem kapal listrik hibrida. Hasil simulasi untuk profil berlayar dari kapal listrik hibrida menunjukkan bagaimana perilaku dinamis dari variabel mekanik dan elektrik yang berbeda dapat diamati dan dipelajari dengan menggunakan program simulasi. Dengan mengurangi intensitas komputasi dan kecepatan simulasi yang meningkat, platform simulasi yang disajikan memungkinkan simulasi hemat waktu dalam penelitian yang terkait dengan perancangan sistem, evaluasi, manajemen daya, dan pengendalian.



Gambar 2.7. Ship and propeller speeds

(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

Gambar 2.8 menunjukkan kekuatan mekanik mesin diesel dalam tiga mode operasi. Jendela operasi yang sempit, dari 60% sampai 80% daya pengenal, dianggap di sini untuk menikmati efisiensi optimal. Beban surplus dipasok oleh penyimpanan energi dan sel bahan bakar. Di bawah beban ringan, baterai dapat dikenakan pada tingkat yang lebih tinggi untuk memastikan pengoperasian mesin dalam jangkauan optimal.



Gambar 2.8. Excitation voltages and dc bus voltage
(Sumber : Zahedi and Norum 2013)

Hasil simulasi diatas adalah pada operasi kapal berlayar yang dipresentasikan dari kapal listrik hibrida menunjukkan kegunaan platform simulasi untuk mempelajari perilaku dinamis dari variabel mekanik dan elektrik yang berbeda. Program simulasi ini mengurangi intensitas komputasi dan meningkatkan kecepatan simulasi, yang memungkinkan simulasi hemat waktu dalam penelitian yang terkait dengan perancangan sistem, evaluasi, manajemen daya, dan pengendalian.

2.6. ETAP

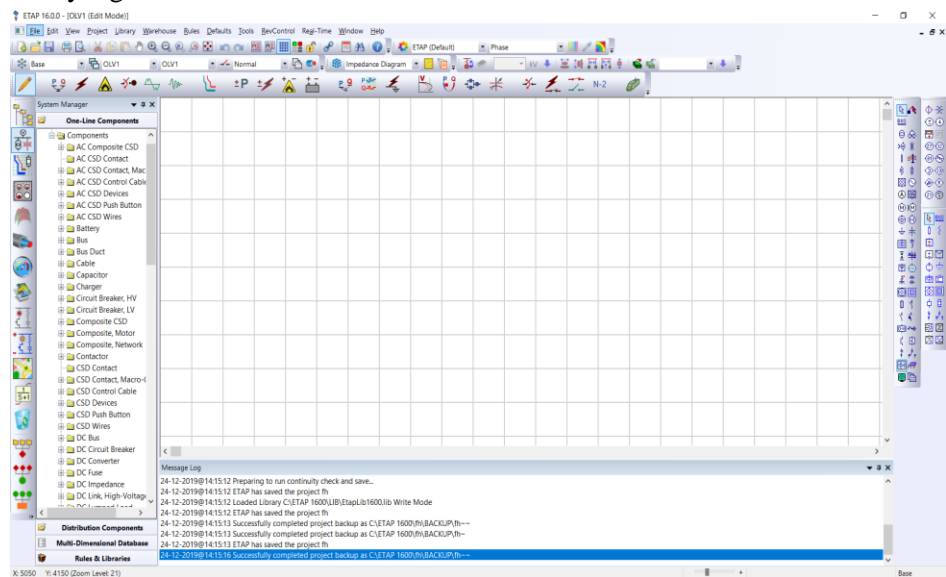
ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) merupakan suatu perangkat lunak (*software*) yang mendukung pemodelan sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time.

Pengguna *Electrical Transient Analysis Program* digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi sistem baik secara offline dengan simulasi maupun secara online (*real time*). Didalam simulasi software *Electrical Transient Analysis Program*, pengguna software tersebut dapat mensimulasikan suatu gangguan pada sistem tenaga listrik yang sebelumnya sudah dilakukan permodelannya sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem setelah terjadi gangguan dan bagaimana cara menanggulangnya. Salah satu simulasi gangguan yang digunakan pada *Electrical Transient Analysis Program* adalah analisa kestabilan kondisi transien.

Electrical Transient Analysis Program Power Station juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *Electrical Transient Analysis Program Power Station* adalah :

- a. One Line Diagram menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- b. Library informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- c. Standar yang dipakai biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode yang dipakai. Perbedaan antara standart IEC dan ANSI terletak pada standart frekuensi yang digunakan yang mengakibatkan perbedaan spesifikasi peralatan yang digunakan. Jika pada standart IEC nilai frekuensi yang digunakan adalah 50HZ, sedangkan standart ANSI nilai frekuensi yang digunakan adalah 60HZ
- d. Study Case, berisikan parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.



Gambar 2.9. Tampilan Electrical Transient Analysis Program
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.7. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*)

Pembangkit listrik tenaga angin (*wind power*) adalah konversi terjadinya energi listrik berdasarkan pada energi gerak/kecepatan angin sehingga energi gerak yang bisa dikonversi menjadi listrik melalui turbin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan pemanfaatan sebagai energi alternatif yang memiliki

dampak positif kedepannya, mengingat angin merupakan salah satu energi yang selalu ada kesediannya di sekitar kita.

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin (wind turbine) sebagai peralatan utamanya. Turbin angin terbagi dalam dua kelompok yaitu turbin sumbu horisontal, turbin angin sumbu horisontal biasanya baik memiliki dua atau tiga modul. Jenis lain yaitu turbin sumbu vertikal. Turbin ini berbilah tiga dioperasikan melawan angin, dengan modul menghadap ke angin.

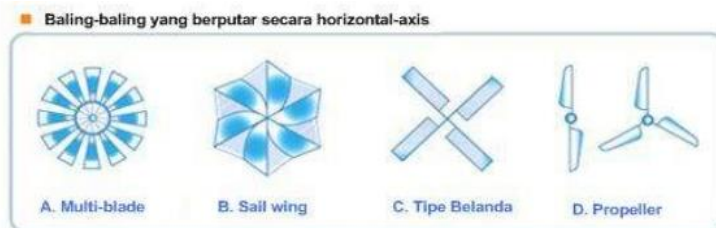
Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan. Emisi karbon ke lingkungan dalam sumber listrik tenaga angin diperoleh dari proses manufaktur komponen serta proses pengerjaannya di tempat yang akan didirikan pembangkit listrik tenaga angin. Namun dalam operasinya membangkitkan listrik, secara praktis pembangkit listrik tenaga angin ini tidak menghasilkan emisi yang berarti.

2.7.1. Jenis-jenis Turbin Angin

Turbin angin menurut (Daryanto, 2007) terdapat dua kelompok utama berdasarkan arah sumbunya, yaitu :

a) Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Hal ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.



Gambar 2.10. Turbin Angin Sumbu Horizontal

(Sumber : wordpress.com/pembangkit-listrik-tenaga-bayu-pltb)

b) Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah, seperti mixer kocokan telur. Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman.



Gambar 2. 11. Turbin Angin Sumbu Horizontal

(Sumber : wordpress.com/pembangkit-listrik-tenaga-bayu-pltb)

Pada umumnya turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak memiliki torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi.

2.7.2. Prinsip Kerja Turbin Angin

Prinsip kerja dari turbin angin yaitu dengan memanfaatkan energi angin untuk memutar turbin angin. Kemudian angin akan memutar sudut turbin, kemudian dilanjutkan untuk memutar rotor pada generator yang terdapat pada bagian belakang turbin angin. Fungsi generator disini adalah sebagai pengubah energi gerak/mekanik menjadi energi listrik menurut teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Pada poros disekelilingnya terdapat stator yang bentuk terdiri dari kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Saat poros generator mulai berputar, kemudian akan terjadi perubahan fluks pada stator. Hal ini yang menyebabkan munculnya tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus listrik ini kemudian disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan sesuai kebutuhan operasional. Tegangan dan arus

listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (arus bolak-balik) yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal.

2.7.3. Perhitungan Kapasitas Turbin Angin

Pertama-tama melakukan perhitungan kecepatan angin rata-rata. Untuk mengetahui kecepatan angin rata-rata dengan tinggi yang diinginkan, dapat dihitung dengan rumus *hellman exponential law* :

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \dots\dots\dots(1)$$

- Keterangan :
- v = Kecepatan sesuai H
 - v₀ = Kecepatan rata-rata pada ketinggian H₀
 - H = Tinggi tempat peletakan turbin angin
 - H₀ = Tinggi yang biasa digunakan untuk aplikasi turbin angin (Normalnya diketinggian 10m)
 - α = *friction coefficient or Hellman exponent*

Tabel 2.1. Nilai friction coefficient α

Landscape type	Friction coefficient α
Lakes, ocean and smooth hard ground	0.10
Grasslands (ground level)	0.15
Tall crops, hedges and shrubs	0.20
Heavily forested land	0.25
Small town with some trees and shrubs	0.30
City areas with high rise buildings	0.40

Karena penerapan turbin angin akan di aplikasikan di kapal, maka kecepatan angin yang digunakan dalam perhitungan daya turbin angin adalah nilai resultan dari kecepatan kapal dan kecepatan angin, yaitu:

$$R = \sqrt{V^2 + V_s^2} \dots\dots\dots(2)$$

- Keterangan :
- V = Kecepatan angin sesuai H
 - V_s = Kecepatan dinas kapal
 - R = Nilai Resultan

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin adalah sebagai berikut

$$P = Et = \frac{1}{2} A \cdot \rho \cdot v^3 \cdot t \dots\dots\dots(3)$$

Energi E (Joule) yang terkandung dalam angin ketika kecepatan angin, v (m/s), dan kerapatan udara, ρ (kg/m³), r (m) rotor tegak lurus melalui wilayah dengan radius lingkaran mengalir dari sebuah turbin angin dengan sumbu horisontal dalam waktu t (s). P adalah daya (Watt).

Menurut ilmu fisika, rumus energi kinetik dari benda yang memiliki massa m dan kecepatan v adalah $E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$, dengan asumsi bahwa kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus tersebut juga berlaku untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga didapatkan rumus :

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :
 E = Energi (Joule)
 m = Massa udara (Kg)
 v = Kecepatan angin (m/s)

Bila suatu blok udara yang mempunyai penampang A (m²), dan bergerak dengan kecepatan v (m/s), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = A v \rho \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :
 A = Luas Penampang (m²)
 ρ = Kerapatan udara (Kg/m³)
 v = Kecepatan angin (m/s)

Dengan melihat persamaan sebelumnya kita bisa menghitung daya (P) yang dihasilkan oleh energi angin sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3 \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:
 Keterangan :
 P = Daya yang dapat dihasilkan oleh turbin angin
 A = Swept area wind turbine
 ρ = Massa jenis udara
 η = Efisiensi turbin angin
 v = Kecepatan angin

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10- 30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik.

2.8. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya (*Photovoltaic*)

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

Solar cell ini menggunakan sekitar 10-20 yang dipasang dengan sudut tetap menghadap ke selatan atau dapat dipasang pada sebuah tracking device yang akan mengikuti cahaya matahari untuk menangkap cahaya matahari dengan maksimal. Suatu kesatuan solar panel yang terdiri dari beberapa solar panel yang dikombinasikan bersama untuk membentuk suatu sistem disebut dengan solar array.

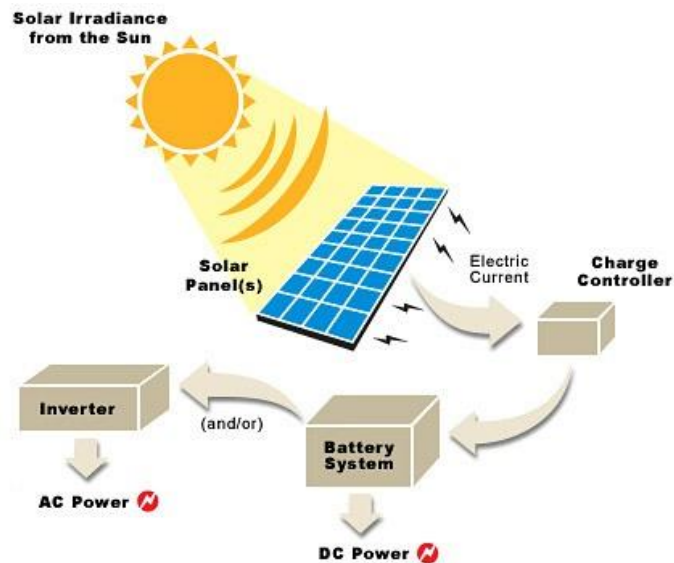
Untuk penggunaan solar cell dalam skala besar atau aplikasi industri, ratusan solar array saling berhubungan untuk membentuk sebuah large utility-scale PV sistem. Tradisional panel dibuat dari silicon, biasanya berbentuk pelat datar. Generasi kedua dari solar cell adalah *thin-film solar cells* karena terbuat dari material nonsilikon seperti *galium arsenide*. Solar cell jenis ini menggunakan lapisan material semikonduktor yang tebalnya sangat kecil. Generasi ketiga solar cell dibuat dari variasi material baru selain silikon meliputi tinta solar (solar inks) yang menggunakan teknologi printing press konvensional, solar dyes, dan konduktif plastik (conductive plastics). Beberapa panel surya menggunakan lensa plastik atau cermin untuk memfokuskan ke dalam lembaran kecil dari material PV berefisiensi tinggi.

2.8.1. Cara Kerja Panel Surya

Prinsip kerja sel surya ini dimulai dari partikel yang disebut “Foton”, Foton adalah partikel sinar matahari yang sangat kecil, dan juga partikel matahari tersebut meghatam atom semikonduktor sel surya sehingga dapat menimbulkan energi yang besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya, elektorn yang terpisah dan bermuatan negatif tersebut akan bebas

bergerak pada daerah pita konduksi dari material semi konduktor, sehingga atom yang kehilangan elektron tersebut kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan “Hole” dengan muatan positif.

Daerah Semi konduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai Pendonor elektron, daerah semi konduktor ini disebut dengan Semi konduktor tipe N. Sedangkan daerah semi konduktor dengan Hole bersifat Positif dan bertindak sebagai Penerima elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P. Di persimpangan daerah Positif dan Negatif akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah Negatif sedangkan Hole akan bergerak menjauhi daerah Positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di Persimpangan Positif dan Negatif ini, maka akan menimbulkan Arus Listrik.



Gambar 2.12. Skema Dasar Sel Surya
(Sumber : <https://gosurya.co.id/>)

2.8.2. Komponen Panel Surya

a. Panel Surya

Panel surya adalah komponen utama dari pembangkit listrik tenaga sel surya. Berfungsi untuk mengubah cahaya dari energi matahari menjadi energi listrik. Untuk menghasilkan listrik digunakan efek fotovoltaik.

b. Inverter

Inverter adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah arus DC (12/24 V) yang dihasilkan dari panel surya atau baterai menjadi arus AC dengan tegangan 220 Volt yang kemudian digunakan untuk kebutuhan listrik sehari-hari.

c. Baterai

Baterai adalah alat untuk menyimpan muatan listrik dengan mengubah energi kimia yang ada di baterai menjadi energi listrik. Jadi saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, energi listrik tersebut dapat disimpan di baterai dan dapat disuplai ke alat-alat elektronik dengan sumber arus searah.

d. Kontroller

Kontroller adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya ke dalam baterai.

2.8.3. Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Perhitungan nilai daya listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya yang dipilih nantinya, pada dasarnya menggunakan rumus fungsi luas dari panel surya tersebut. Semakin luas dari panel surya yang disediakan maka semakin besar pula energi/daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya tersebut. Berikut ini perhitungan nilai kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh solar cell dapat dihitung seperti dibawah ini,

$$PPV = t \times n \times P_{max}$$

Keterangan :

- PPV = Besarnya daya yang dihasilkan fotovoltaik
- t = Peak intensitas matahari
- n = Jumlah panel surya yang dipasang
- P = Kapasitas daya yang mampu dihasilkan satu panel surya

Besarnya nilai peak intensitas matahari didasarkan pada perhitungan diatas dari pukul 7 pagi hingga pukul 5 sore. Dapat diambil kesimpulan maksimum peak intensitas matahari di Indonesia diasumsikan sebesar 5 jam dan minimal sebesar 4 jam.

2.9. Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan ialah dimana suatu kondisi jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima persis penerimanya (beban listrik). Jatuh tegangan tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diminimalkan (direduksi) agar sesuai dengan standard jatuh tegangan yang ada. *Loss situation* di dalam jaringan distribusi tenaga listrik adalah suatu kondisi atau keadaan dimana suatu sistem distribusi di dalam pendistribusian tenaga listriknya jatuh tegangan yang besar. Jarak dari sumber listrik (generator) atau junction ke beban atau peralatan listrik terlalu jauh,

penampang kabel terlalu kecil, dan titik sambung merupakan penyebab susut teknis (Hermanto et al., 2013).

Akibat jatuh tegangan yang melebihi toleransi mengakibatkan banyak peralatan elektronik yang tidak bisa bekerja secara maksimal bahkan beberapa mengalami kerusakan. Peningkatan beban yang bersifat induktif dapat mengakibatkan pada penurunan faktor daya, peningkatan rugi-rugi jaringan, penurunan tegangan khususnya pada ujung saluran, dan regulasi tegangan yang memburuk. Dampak dari tegangan jatuh pada motor listrik adalah panas yang berlebih atau *overheat* karena apabila tegangan turun maka arus akan naik sehingga menimbulkan panas yang berlebih serta dapat mengurangi efisiensi dan umur dari motor listrik itu sendiri.

Drop tegangan (tegangan jatuh) termasuk dalam rugi-rugi jaringan. Drop tegangan merupakan kerugian yang bersifat teknis. Ini disebabkan karena, adanya faktor impedansi (Z) sepanjang saluran atau penghantar yang dilalui arus listrik. Drop tegangan adalah terjadinya selisih nilai tegangan antara nilai tegangan pada awal jaringan (sumber tenaga) dengan nilai tegangan pada ujung jaringan (beban atau konsumen). Besar drop tegangan yang terjadi bisa disimbolkan dengan ΔV . Drop tegangan yang terjadi pada sistem jaringan distribusi memiliki nilai yang berbeda pada tiap titik. Ini dipengaruhi oleh besarnya impedansi pada masing-masing titik (Erhaneli, 2013).

2.9.1. Penyebab Tegangan Jatuh

Terjadinya tegangan jatuh dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain jauhnya daerah distribusi tenaga listrik dari sumber listrik ke beban listrik, ketidakseimbangan beban, umur peralatan, diameter penghantar (kabel). Tidak hanya itu terdapat factor lain yang biasanya menyebabkan tegangan jatuh terjadi pada sistem kelistrikan kapal, seperti turunnya tegangan dari sumber listrik (generator) diakibatkan kurangnya eksitasi pada generator dan akibat dari arus start dari beban induksi seperti motor listrik. Salah satu faktor penyebab tegangan jatuh adalah arus starting motor, Istilah arus *starting*, dapat diartikan sebagai arus datang tiba – tiba atau arus kejut, dengan *magnitude* yang besar tetapi bukan merupakan arus gangguan. Meskipun arus *starting* bukan merupakan arus gangguan, tetapi keberadaannya juga dapat menginterupsi operasi dari motor listrik, yang dapat menimbulkan tegangan jatuh pada saat *starting*.

Ada beberapa metode *starting motor* yang dapat diaplikasikan untuk mengatasi arus *starting* yang besar, beberapa diantaranya adalah :

1. Direct Online (DOL)
2. Wye – Delta
3. Autotransformator

4. Soft Starter

Kondisi arus *starting motor* dan tegangan jatuh yang diterima oleh motor juga berpengaruh terhadap efisiensi motor yang dibuktikan dengan persamaan :

Dimana,

$$Eff (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- $Eff(\%)$: Efisiensi dalam persen (%)
- P_{out} : Daya yang keluar (watt)
- P_{in} : Daya yang diterima (watt).

Walaupun arus *start* yang besar tersebut hanya berlangsung dalam waktu yang cukup singkat, namun hal tersebut juga menyebabkan tegangan jatuh (*voltage drop*) sesaat yang disebut *voltage dip*. IEEE Std 1159-1995 mendefinisikan bahwa *voltage dip* merupakan penurunan tegangan antara 10 – 90% dari tegangan nominal dan berlangsung selama 0,5 siklus sampai 60 detik. Efek yang merugikan akibat *voltage dip* ini meliputi :

- Torsi yang bersifat *transient* yang dapat menyebabkan *stress* (tekanan) yang berlebih pada sistem mekanisnya.
- Menghambat akselerasi (percepatan) putaran motor menuju kecepatan normal.
- Kegagalan kerja dari peralatan – peralatan lainnya seperti *relay*, *contactor* dan menyebabkan *flicker* cahaya yang cukup mengganggu.

Untuk menjaga agar motor tetap beroperasi dan mencegah kegagalan kerja motor untuk mencapai kecepatan nominalnya, maka sebaiknya *voltage dip* tidak sampai di bawah 70% dari tegangan nominal. Dengan ini menganggap bahwa *flicker* cahaya bukanlah suatu hal yang mengganggu. Namun, jika faktor kualitas operasional dan pelayanan adalah hal yang utama, maka batasan *voltage dip* yang diijinkan adalah 10% (wahyudy et al., 2016).

2.9.2. Standard Tegangan Jatuh

Standard yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui apakah drop tegangan dapat diterima / tidak dalam penelitian ini adalah IEC (*International Electrotechnical Commission*). Standard IEC telah mengatur banyak hal yang berhubungan dengan instalasi listrik seperti persyaratan yang harus di desain / diterapkan pada instalasi berkaitan dengan efisiensi listrik. IEC tidak hanya mengatur tentang persyaratan instalasi listrik tetapi juga memberikan sebuah / saran pada proses perbaikan instalasi listrik agar

mendapatkan efisiensi yang lebih baik. Salah satu bagian yang diatur oleh IEC adalah kualitas tegangan pada sebuah instalasi listrik. BKI juga mengeluarkan standar tegangan untuk instalasi listrik pada kapal dimana tegangan jatuh di nilai diantara busbar. Tingkat tegangan memiliki pengaruh yang cukup besar pada operasional peralatan dan juga berdampak pada efisiensi energi listrik dari instalasi tersebut, oleh sebab itu mengapa kualitas tegangan diatur dalam standard IEC. Berikut merupakan standard drop voltage / tegangan jatuh yang telah ditetapkan / diatur oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan BKI :

Tabel 2.2. Standar *drop voltage* pada IEC

Type of installation	Lighting %	Other uses %
A – Low voltage installations supplied directly from a public low voltage distribution system	3	5

2. Rating on the basis of voltage drop

2.1 Under normal service conditions, the voltage drop between the busbars (main/emergency switch-board) and the consumers shall not exceed 6 %, or 10 % in the case of battery-supplied networks of 50 V or less. Navigation lights are subject to the requirements of Section 4, I.6.

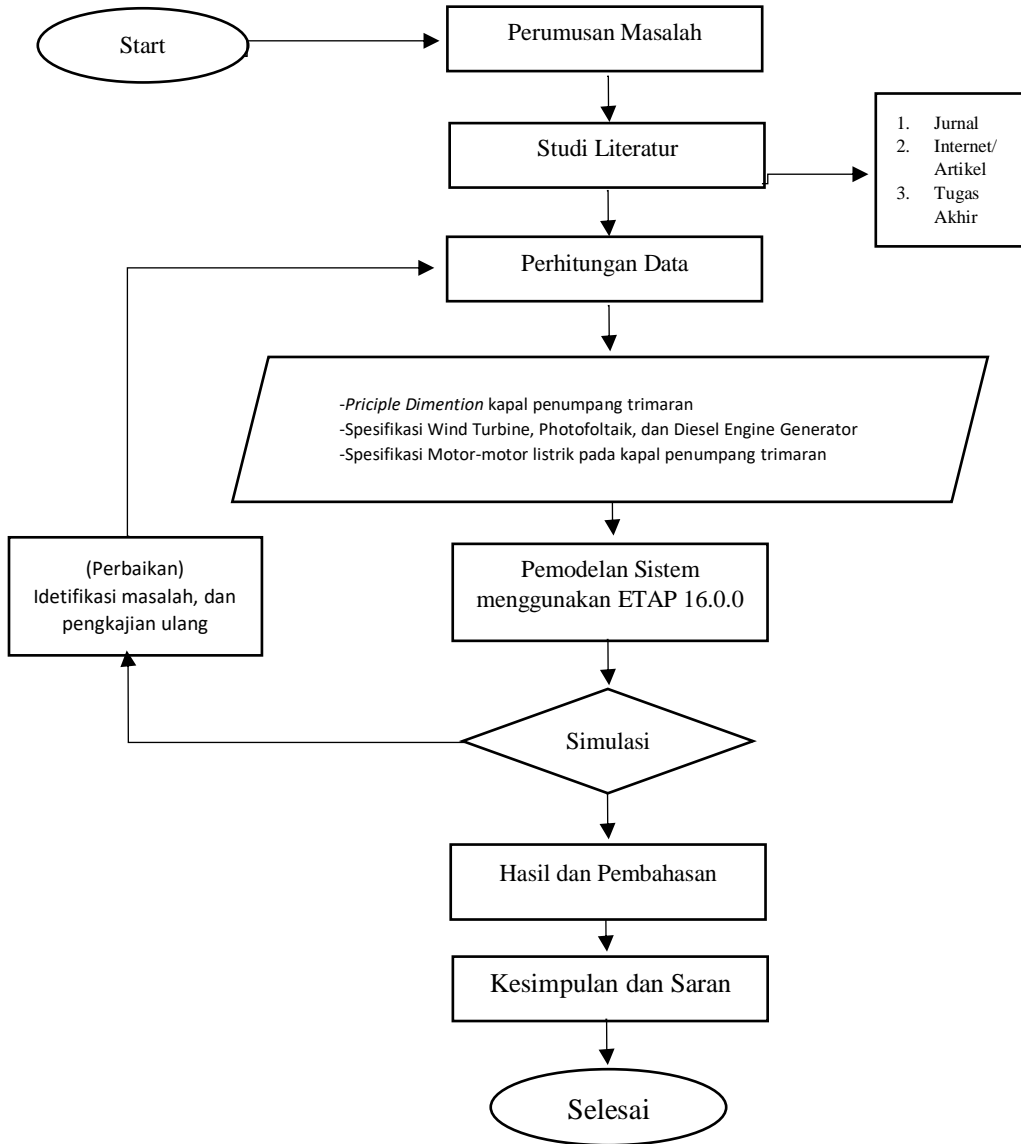
Gambar 2.13 Standar tegangan jatuh berdasarkan BKI

Sumber : BKI *Volume.4 Section.4*

Pada tabel 2.1 menurut IEC 60364-8-1 maksimum tegangan jatuh pada instalasi sistem distribusi listrik di segmen *industry* yang diijinkan adalah sebesar 3% untuk beban penerangan dan 5% untuk beban kelistrikan lainnya, persentase tersebut disesuaikan dengan berapa besarnya tegangan yang diberikan dari sumber tegangan. Kemudian pada gambar 2.13 diberikan nilai standar tegangan jatuh oleh BKI untuk seluruh peralatan elektronik tidak melebihi 6% dan 10% jika di suplai oleh batrai untuk beban 50 Volt kebawah. Pada penelitian ini di gunakan standar terkecilnya yaitu IEC 5%.

BAB III METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode simulasi berbasis software. Perhitungan data dilakukan dengan melakukan pengumpulan data rill terhadap objek penelitian, kemudian hasil yang didapat dilakukan analisa untuk kemudian dilakukan penarikan kesimpulan. Adapun tahapannya adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.1 Deskripsi Tahapan Penelitian

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi, Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai system distribusi arus searah pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida apakah sesuai standart yang ditentukan dengan menggunakan metode simulasi software ETAP 16.0.0.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh referensi yang sesuai dengan permasalahan yang dibahas dengan cara mempelajari teori-teori yang relevan dengan topik kajian untuk diimplementasikan pada tugas akhir ini, sehingga jelas apa yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Adapun beberapa macam teori-teori yang dapat mendukung dalam penelitian ini adalah jurnal, buku, internet, dsb.

3.3 Pengumpulan Data

Selanjutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan memperoleh data dan informasi yang menunjang pengerjaan tugas akhir. Dalam hal ini data yang dibutuhkan antara lain :

1. *Principle dimention* kapal penumpang trimaran
2. Total beban listrik kapal penumpang trimaran
3. Spesifikasi generator
4. Data wiring dan single line diagram
5. Data Standart IEEE dan IEC

3.4 Proses

Dalam tahap ini ada beberapa proses yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini. Langkah awal adalah dengan dilakukan perhitungan secara manual disesuaikan dengan spesifikasi machinery dan peralatan listrik yang digunakan untuk menghitung total beban pada kapal.

Langkah selanjutnya adalah mencari spesifikasi generator sesuai dengan total beban yang telah dihitung dan load factor pada generator. Selanjutnya adalah melakukan pemodelan Simulink ETAP 16.0.0.

3.5 Pemodelan

Pada tahap ini dilakukan permodelan dengan single line diagram pada software simulasi yang digunakan yaitu ETAP 16.0.0. Dilakukan proses gambar ulang sistem kelistrikan sesuai dengan kondisi rill pada kapal trimaran.

3.6 Hasil dan Pembahasan

Pada tahapan ini menjelaskan data-data yang telah tervalidasi apakah sesuai dengan standart (IEC). Setelah itu dilakukan pembahasan faktor apa saja yang bisa menyebabkan beberapa data tidak memenuhi standar atau tidak tervalidasi. Serta juga membahas upaya apa yang dilakukan untuk memperbaiki data yang tidak memenuhi standar.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir, dimana pada tahap ini dilakukan pembuatan kesimpulan yang diambil dari proses-proses sebelumnya. Selanjutnya dilakukan pemberian saran yang berisikan mengenai hal-hal yang perlu dikaji lebih lanjut untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV DATA PENELITIAN

4.1 Dimensi Utama Kapal

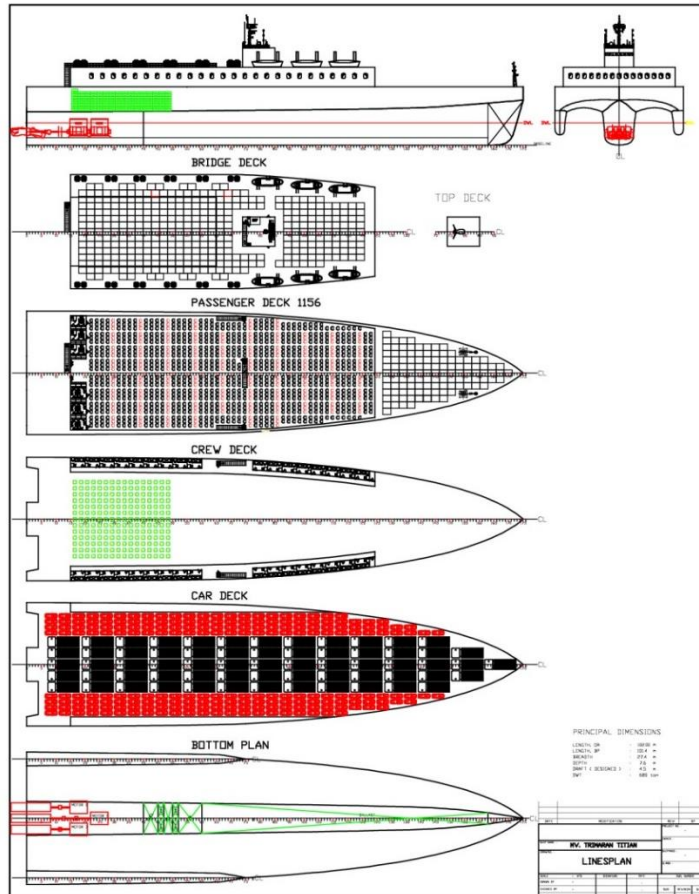
Dimensi utama dari kapal penumpang trimaran yang menjadi objek penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Principle Dimention

Tipe Kapal		:	Trimaran Pessenger Ship	
Panjang Antara Garis Tegak	(Lpp)	:	124.49	m
Lebar	(B)	:	32.52	M
Tinggi	(H)	:	10.14	M
Sarat Air	T	:	4.057	M
Payload	(ton)	:	620	ton
Kecepatan	(Vs)	:	34	knot
Rute Pelayaran		:	Kalianget- Kanginan- Sapeken- Masalembu	



Gambar 4.1. Kapal Feri Trimaran



Gambar 4.2. General Arrangement Trimaran Passenger Ship

4.2 Electrical Load Calculation

Untuk menentukan kapasitas generator di kapal, digunakan suatu tabel balance daya yang mana seluruh peralatan listrik yang ada kapasitasnya atau dayanya tertera dalam tabel tersebut. Sehingga, dengan tabel balance daya tersebut dapat diketahui daya listrik yang diperlukan untuk masing-masing kondisi operasional kapal. Dalam penentuan *electric balance* BKI Vol. IV (Bab I, DI) mengisyaratkan bahwa :

- Seluruh perlengkapan pemakaian daya yang secara tetap diperlukan untuk memelihara pelayanan normal harus diperhitungkan dengan daya kerja penuh
- Beban terhubung dari seluruh perlengkapan cadangan harus dinyatakan. Dalam hal perlengkapan pemakaian daya nyata yang hanya bekerja bila suatu perlengkapan serupa rusak, kebutuhan daya nya tidak perlu dimasukkan dalam perhitungan

- c. Daya masuk total harus ditentukan, dari seluruh pemakaian daya yang hanya untuk sementara dimasukkan, dikalikan dengan suatu faktor kesamaan waktu bersama (*common simultancy factor*) dan ditambahkan ke daya masuk total dari seluruh perlengkapan pemakaian daya yang terhubung tetap
- d. Daya masuk total sebagaimana telah ditentukan sesuai a. dan c. Maupun daya yang diperlukan untuk instalasi pendingin yang mungkin ada, harus dipakai sebagai dasar dalam pemberian ukuran instalasi generator.

Faktor beban (*load factor*) didefinisikan sebagai perbandingan antara waktu bekerjanya peralatan pada suatu kondisi dengan total waktu aktifitas suatu kondisi. Sesudah diadakan pengelompokan, kemudian dari data yang ada diisikan jumlah peralatan, daya masuk kemudian saat pengoperasian peralatan tersebut juga banyaknya peralatan yang akan dioperasikan mengingat adanya peralatan cadangan. Persentase faktor beban diisikan pada tiap kondisi operasi dan besarnya tergantung pada seringnya peralatan tersebut dipakai, besarnya pemakaian daya dari peralatan tersebut terhadap daya nominal dan berdasarkan pada pengalaman perancangan sebelumnya. Untuk peralatan yang jarang beroperasi dianggap mempunyai beban nol (Would dan Staperma, 2003).

Peralatan listrik diatas kapal memiliki karakter pembebanan yang spesifik dimana peralatan bekerja tidak pada waktu pemakaian yang teratur dan secara bersamaan. Terdapat dua jenis pembebanan dalam pengoperasian peralatan listrik di atas kapal yaitu :

- a. Beban yang bekerja terus menerus (*continuous load*) yaitu peralatan yang beroperasi secara kontiniu pada kondisi pelayaran normal seperti lampu navigasi, pompa untuk CPP.
- b. Beban terputus-putus (*intermitten load*) yaitu peralatan yang beroperasi secara terputus-putus pada kondisi pelayaran normal dengan periode waktu yang tidak tetap seperti pompa transfer bahan bakar, pompa air tawar (Sasmito, 2015).

Tabel 4.2 Tabel Load Factor

Kind of Auxiliary Machinery	Load Factor f_o			Remarks		
	Normally at sea	Arrival & Departure	Cargo Handling			
Auxiliary Machinery for diesel ships	Cooling freshwater pumps	85	85			
	Cooling sea water pumps	85	85			
	Lubricating oil pumps	65	65			
	Fuel valve cooling freshwater pumps	85	85			
	Fuel valve cooling oil pumps	70	70			
	Grade-C heavy oil purifiers and pumps	65				
	Fuel oil clarifiers and pumps	65				
	Booster pumps	65	65			
	Aux. Boiler use	Feed water pumps	85	85	85	
		Fuel oil burning pumps	65	65	85	
		Forced draft fans	85	85	85	
	Exhaust gas boiler circulating water pump	85				
	Air compressor		85			
	Generator cooling water pumps			85		
Aux. Machinery cont.	Freshwater pumps	85	85	85		
	Sanitary pumps	85	85	85		
	Ventilating fans	85	85	85		
	Pumps fitted on distilling plant	85				
Deck Machinery	Winches			30 ~ 40	To be considered according to the number installed and type	
	Cargo oil pumps			30		
	Steering gear	20	20			
	Accommodation space	Fans	80	80	50	
		Electric heaters	80	80	50	
		Air conditioning equipment	80	80	50	
	Electric fans	80	80	50		
	Pumps room ventilating fans			80		
	Cargo hold ventilating fans	60 ~ 80	60 ~ 80		Not include fans for cargo hold desiccator	
	Hot water circulating fans	80	80	80		
	Refrigerator	For provision	60	80 *	60	* mark to be calculated by adding installation number
		For cargo	60	80 *	80 *	-ditto-
	Inert gas fans for cargo oil	70	70	85 *		
	LPG re-liquefying compressor	90	90	90		
	LPG cargo pump					
Inert gas generator for LPG	80					
Refrigerated container	45 ~ 65	45 ~ 65	45 ~ 65			

Tabel 4. 2 Tabel Load Factor (Lanjutan)

Others	Cargo lamps	Fixed			100	100					
		Portable				80					
	Projectors					80					
	Funnel Lights				100	100					
	Lighting	Accommodation		80	80	70					
		Engine room		100	100	100				Not include hand lamps.	
		Navigation lights		100	100						
	Motor generator		70	70	70						
Gyro-compass		80	80								
Radar				100							
Auxiliary Machinery for turbin ships	Main circulating pump			75 ~ 90	75 ~ 90						
	Generator circulating pumps			80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90					
	Main feed pumps	Cargo ship		65 ~ 70	50 ~ 60						
		Tanker		75 ~ 80	50 ~ 60						
	Auxiliary feed pumps								Continuous load only during cargo handling. Load factor is to be determined according to actual operating conditions		
	Main condensate pumps			65 ~ 75	50 ~ 60						
	Auxiliary condensate pumps								When the main condensate pumps are not used for generator condensate transfer. Load factor is to be determined according to actual operating conditions		
	Lubricating oil pumps			60 ~ 70	60 ~ 70						
Fuel oil burning pumps			70 ~ 80	75 ~ 85	75 ~ 85						
Auxiliary Machinery for turbin ships (cont.d)	Forced draft fans	When speed and vane control	A	Cargo ship	55 ~ 65	50 ~ 60			Lower values for sirocco type and high values for turbo-vane type fans. Load factor during cargo handling is to be determined according to actual operating conditions		
				Tanker	65 ~ 75	50 ~ 60					
			B	Cargo ship	65 ~ 75	55 ~ 65			Usage of fans A, B :		
		Tanker		68 ~ 75	55 ~ 65						
		When dumper control	Cargo ship	75 ~ 85	70 ~ 80			A	2 sets/ 2 boilers	2	
			Tanker	80 ~ 90	70 ~ 80			B	2 sets/ 2 boilers	1 : up to 85% 2 : 85% and over	
	Drain pumps	When LPSG* in-scaled	Cargo ship	70	70	70					
			Tanker	60 ~ 75	55 ~ 70	80 ~ 90					
		Without LPSG* in-scaled	Cargo ship	70	70	70			In case of motor driven deck machinery		
			Tanker	25	25	75			In case of steam driven deck machinery		
				55 ~ 70	55 ~ 70	75 ~ 90					
	Automatic combustion control devices			80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90					
	Soot blowing air compressor			80 ~ 90					To be calculated as intermittent load depending on the type of boiler.		
Ship's service air compressor			80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90			In case of automatic starting device is installed			
Turning motor				80 ~ 90	80 ~ 90						

Tabel 4.2 Tabel Load Factor (Lanjutan)

Aux. Machinery for diesel ships	Agrade heavy fuel oil purifier and pumps		* 65			* 65	For the case that ship mainly uses C grade heavy fuel oil during sea going. However when the ship uses Agrade heavy fuel oil during sea going the purifiers are to be continuous load
	Turning motor					* 80	
Aux. Machinery commonly used in diesel and turbine ships	General service pumps		* 65		* 65		
	Bilge pumps		85				
	Ballast pumps		85			85	
	Fuel oil transfer pumps		80			* 80	When sea water is used as ballast, ballast pump should be marked with *.
	Lubricating oil extraction pumps		80			80	
Deck machinery	Lubricating oil purifiers		* 80			80	There may be a case to be used as a continuous load
	Windlasses				* 40		
	Boat winches					80	
	Butterworth pump		85				In case of tanker this pump should be * marked and the general service pump is to be * marked.
	Stripping pumps		15 ~ 25			55 ~ 65	
	Accommodation ladder winch				80		
	Capstans and mooring winches				* 40		
Others	Galley, pantry and laundry service	Electric range	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60		Considerations are to be given according to type and particular of installation
		Electric oven	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60	* 40 ~ 60		- ditto -
		Others	40	40	40		Considerations are to be given when the equipment of large capacity is to be installed particularly
	Projectors				* 80		
	Motor generator for battery use		80		80	80	
	Radar		* 100				
	Radio equipment		* 80				
	Nautical instruments		* 60		* 60		
Motor siren and motor horn		80		80			

Setelah mengetahui Load factor, selanjutnya dapat untuk memulai pengerjaan load calculation. Tabel load factor digunakan untuk sebagai perbandingan antara waktu bekerjanya peralatan pada suatu kondisi dengan total waktu aktifitas suatu kondisi. Sesudah diadakan pengelompokan, kemudian dari data yang ada diisikan jumlah perlatan, daya masuk kemudian saat pengoperasian peralatan tersebut juga banyaknya peralatan yang akan dioperasikan mengingat adanya peralatan cadangan. Persentase faktor beban diisikan pada tiap kondisi operasi dan besarnya tergantung pada seringnya peralatan tersebut dipakai, besarnya pemakaian daya dari peralatan tersebut terhadap daya nominal dan berdasarkan pada pengalaman perancangan sebelumnya. Biasanya berkisar 85% atau 0,85 pada kondisi normally *at sea* dan *manuevering*, atas dasar tersebut penulis menggunakan kondisi manuevering dalam penelitian ini.

Kebutuhan kelistrikan pada kapal *Trimaran Passenger Ship* dikelompokkan menjadi 3 *Bus* utama yaitu sistem *machinery part*, *Hull part*, dan *electrical part*. Dimana *machinery part* dibagi menjadi 5 bagian terdiri dari *electrical propulsion*,

system water jet, auxillary engine service, general service, cargo service. Kemudian *hull part* dibagi menjadi 2 bagian terdiri dari *refrigerating & ventilation dan Deck machinery*. Selanjutnya *electrical part* dibagi menjadi 2 bagian terdiri dari peralatan navigasi dan radio komunikasi serta lampu – lampu penerangan. Berdasarkan data yang didapat, dilakukan beberapa revisi. Dilakukan pemilihan spek motor serta alat listrik lainnya berdasarkan data hitungan yang telah didapatkan sebelumnya. Setelah revisi data perhitungan komponen listrik dilakukan, didapatkan kebutuhan listrik yang dibutuhkan kapal *Trimaran Passenger Ship*.

Total kebutuhan listrik pada sistem *machinery part* adalah sebesar 21188.5 kW, kebutuhan listrik sistem *hull part* adalah sebesar 613 kW, kebutuhan listrik *electrical part* adalah sebesar 59.32 kW, seperti tercantum pada tabel berikut ini :

Tabel 4.3 Daftar beban listrik pada kapal trimaran

Kebutuhan Listrik	kW
Sistem Machinery Part	21188.5
Hull Part	613.98
Electrical Part	59,32

Tabel 4.4 Daftar peralatan listrik pada machinery part

1. Machinery Part	Instrument										Total		Power (kW)						
	Equipment	Model	Specification Pump	Q (m ³ /h)	Head (m)	RPM	P (kW)	Meerk	Type	Specification Electric Motor	Volt (V)	RPM	Poles	F (Hz)	Ø	(Qty)	Output	Eff	Input
Electric Propulsion	Motor Indica 3 Phase							Smidtech HV	18A7716-2540-0010	11000	2988	2	50	3	2	10000	0.95	10526.3	
	Frequency Converter									Power losses 1.5%					2	174	0.95	183.158	
	Main Switch Board									Power losses 0.2%					2	23	0.95	24.2105	
System Waterjet	Main Motor Hydraulic	Wartchla Waterjet	1880	11,5416	NA	1500	11	Onec MSB INTORQ		690	1460	4	50	3	2	11	0.95	11,5789	
	Main cooling capacity hydraulic	Wartchla Waterjet	1880	2.8	NA	1500	24.58	Onec OMT IE4	20014	690	1480	4	50	3	2	30	0.95	31,5789	
	Main cooling capacity lubricating	Wartchla Waterjet	1880	2.4	NA	1500	14.03	Onec OMT IE3		690	1475	4	50	3	2	15	0.95	15,7895	
	Auxiliary Motor hydraulic	Wartchla Waterjet	1880	8,6562	NA	1500	8,25	Onec MSB INTORQ		690	1460	4	50	3	2	9,25	0.95	9,73684	
	Auxiliary cooling capacity hydraulic	Wartchla Waterjet	1880	2.1	NA	1500	18,44	Onec MSB IE3		690	1480	4	50	3	2	22	0.95	23,1579	
	Auxiliary cooling capacity lubricating	Wartchla Waterjet	1880	1,8	NA	1500	10,52	Onec OMT IE3		690	1460	4	50	3	2	11	0.95	11,5789	
Auxiliary Engine Service																			
Electric motor ratings for engine starting device								Onec	MSB INTORQ		380	1450	4	50	3	5	0.95	7,89474	
Electric motor ratings for pre-lubricating pump								Onec	OMT IE5		690	1475	4	50	3	5	0.95	15,7895	
General Service	Transfer Pump FW	Sill Pump	EHS-70C-5,5	18	22,5	1500	5,5	Onec MSB INTORQ	13325-4	690	1450	4	50	3	2	5,5	0.95	5,78947	
	Transfer Pump SW	Sill Pump	EHS-70C-5,5	18	22,5	1500	5,5	Onec MSB INTORQ	1335-4	690	1450	4	50	3	2	5,5	0.95	5,78947	
	FW Hydrophore Set	Sill ZVGH 0,3/0,4	CH40-32-2(Z)	5	NA	1450	3	Onec MSB INTORQ	10012-4	690	1420	4	50	3	1	3	0.95	3,15789	
	SW Hydrophore Set	Sill ZVGH 0,3/0,5	CH40-32-2(Z)	5	NA	1450	3	Onec MSB INTORQ	10012-4	690	1420	4	50	3	1	3	0.95	3,15789	
	Oily Water Separator	Wartsila	OWS 500	12	NA	NA	10			690	1450	4	50	3	1	10	0.95	10,5263	
	Oily Bilge Pump	Sill Pump	EHS-70C-5,6	18	22,5	1500	5,5	Onec MSB INTORQ	13325-4	690	1480	4	50	3	1	5,5	0.95	5,78947	
	Balast Pump	Sill Pump	200CL-304	262	23,5	1450	30	Onec OMT IE4	20014	690	1480	4	50	3	2	30	0.95	31,5789	
	Emergency Fire Pump	Sill Pump	CH200-2A	120	65	1450	45	Onec OMT IE4	225M4	690	1485	4	50	3	1	45	0.95	47,3684	
	General Service Pump (B&H)	Sill Pump	CH250-2	182	70	1450	75	Onec OMT IE4	289S4	690	1490	4	50	3	2	75	0.95	78,9474	
	Sewage Pump	Sill Pump	EHS-70C-5,5	18	22,5	1500	5,5	Onec MSB INTORQ		690	1450	4	50	3	1	5,5	0.95	5,78947	
	Sewage Treatment Plant	Marin Membrane System									690	1450	4	50	1	1	1,5	0.95	1,57895
	Ramp door	Hydraulic Macgregor							Onec OMT IE4	225M4	690	1485	4	50	3	4	45	0.95	47,3684

Tabel 4.5 Daftar peralatan listrik pada hull part

2. Hull Part	(assumed)	Instrument										Total (Qty)	Power (kW)				
		Spec Equipment					Spec Motor						Output	Eff	Input		
Equipment	Mark	Type	Q/CFM	Head (m)	RPM	P (kW)	Mark	Type	Volt (V)	RPM	Poles	F (Hz)	Ø				
Refrigerating and Ventilation																	
Acomodation Supply Fan																	
Car Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	6	0.18	0.95	0.18947
Crew Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	34	0.18	0.95	0.18947
Passenger Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	14	0.18	0.95	0.18947
Bridge Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	3	0.18	0.95	0.18947
E/R Supply Fan	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	1	0.18	0.95	0.18947
Acomodation Exhaust Fan																	
Car Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	4	0.22	0.95	23.1579
Crew Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	12	0.22	0.95	23.1579
Passenger Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	4	0.22	0.95	23.1579
Bridge Deck	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	2	0.22	0.95	23.1579
E/R Supply Fan	EMAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	1	0.22	0.95	23.1579
Air Handling Unit (AHU)	Daikin	Matic 49 M				248.40								1	248.4	0.95	261.474
Deck Machinery																	
Steering Gear						46	Omec ONITE4	250M4	690	1485	4	50	3	2	46	0.95	48.4211
Capstan						21	Omec ONITE4	180U4	690	1475	4	50	3	2	22	0.95	23.1579
Windless						55	Omec ONITE4	250M4	690	1485	4	50	3	2	55	0.95	57.8947
Provision Crane						7.5	Omec MSB INCHORQ	132M4-4	690	1450	4	50	3	2	7.5	0.95	7.89474
Engine Room Ventilation	Hartzell Fan	44-M-606DA-STAL	78957			44.1	Omec ONITE4	225M4	690	1485	4	50	3	1	45	0.95	47.3684
Acomodation leader winch	Hartzell Fan	44-M-606DA-STAL	91864			44.1	Omec ONITE4	225M4	690	1485	4	50	3	1	45	0.95	47.3684

Tabel 4.6 Daftar peralatan listrik pada electrical part

3. Electrical Part								
Equipment	Instrument				Total (Qty)	Power (kW)		
	Volt (V)	F (Hz)	Ø	Output		Eff	Input	
Deck Machinery								
Car Deck	220	50	1	1	2,86	1,00	2,86	
Crew Deck	220	50	1	1	20,38	1,00	20,38	
Passanger Deck	220	50	1	1	13,97	1,00	13,97	
Bridge Deck	220	50	1	1	0,92	1,00	0,92	
Engine Room	220	50	1	1	6,49	1,00	6,49	
Mast Head Light	220	50	1	2	0,06	1,00	0,06	
Portside light	220	50	1	1	0,06	1,00	0,06	
Starboard Light	220	50	1	1	0,06	1,00	0,06	
Stern Light	220	50	1	1	0,04	1,00	0,04	
Anchor Light	220	50	1	1	0,01	1,00	0,01	
Nautical,Communication & Safety								
VHF Telephone	220	50	1	2	0,025	1,00	0,03	
Internal Comunication	220	50	1	4	0,03	1,00	0,03	
MV/HF DSC	220	50	1	2	0,15	1,00	0,15	
Navtex Receiver	220	50	1	1	0,04	1,00	0,04	
Wiper	220	50	1	2	0,10	1,00	0,10	
Gyro Compass	220	50	1	1	0,045	1,00	0,05	
Magnetic Compass	220	50	1	1	0,01	1,00	0,01	
Radar	220	50	1	1	12,00	1,00	12,00	
Speed Log	220	50	1	1	0,10	1,00	0,10	
Echo Sounder	220	50	1	1	0,60	1,00	0,60	
GPS	220	50	1	1	0,03	1,00	0,03	
AIS	220	50	1	1	0,01	1,00	0,01	
Horn	220	50	1	1	0,05	1,00	0,05	
Fire Alarm Control	220	50	1	1	0,14	1,00	0,14	
Heat Detector	220	50	1	1	0,006	1,00	0,01	
Flame Detector	220	50	1	15	0,006	1,00	0,01	
Smoke Detector	220	50	1	71	0,006	1,00	0,01	
Nautical,Communication & Safety								
SART	220	50	1	2	0,00	1,00	0,00	
ECDIS	220	50	1	1	0,20	1,00	0,20	

4.3 Pemilihan Generator

Pemilihan generator ditentukan berdasarkan hasil perhitungan 4 macam kondisi operasional kapal, Load Faktor setiap peralatan, dan diversity factor. Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil kebutuhan beban listrik pada kapal yaitu :

Tabel 4.7 Kebutuhan Beban Listrik Kapal Trimaran

No.	ITEM	Sailing	Manuver	Cargo handling	At Port
1	MACHINERY PART	: Continue load	18352.0	235.2	13154.4
		: Intermiten load	244.1	249.4	152.4
2	HULL PART	: Continue load	398.14	528.4	515.4
		: Intermiten load	231.74	231.7	77.5
3	ELECTRICAL PART	: Continue load	50.4	50.4	50.4
		: Intermiten load	0.0	0.0	0.0
4	Total load	19000.51	22243.44	834.02	13720.19
	Power (g)	476	489.23	328.92	229.94
5	Diversity factor (e)	285.48	293.54	196.15	137.91
	: $(0.6-1) \times (g) \text{ Intermiten}$				
6	Number of load	19205.99	22526.98	1030.17	13058.10
	: (g) continue + (e)				
7	Generator work	22800	28300	1030.17	17100
	: kW x S.set				
8	Working capacity	22800	28300	1030.17	13858.10
9	Generator that available	4	5	0	3
	: kW x S.set				
10	Load Factor	84.59	79.08	100.0	100.00
	: (f)/(g) x 100%				
11	Shore Connection (1.5x number of cargo handling)	-	-	1184.70	-

Setelah diketahui total kebutuhan beban listrik, kemudian dilakukan perbandingan dan dipilih generator AVK DIG 161 n/6L pada tabel dibawah ini yang memiliki nilai load factor antara 80-90% untuk operasi yang efisien.

Tabel 4.8 Proses Pemilihan Generator

Kw	Set	Load Factor Generator											
		Sailing			Manuver			Cargo Handling			At Port		
5000	5	19285.99	0.96	4	22536.98	0.90	5	1030.17	0.00	0	13858.10	0.92	3
		5000 x 4			5000 x 5			5000.00 x 0.00			5000.00 x 3.00		
5700	5	19285.99	0.85	4	22536.98	0.79	5	1030.17	0.00	0	13858.10	0.81	3
		5700 x 4			5700 x 5			5700.00 x 0.00			5700.00 x 3.00		
7030	4	19285.99	0.91	3	22536.98	0.64	5	1030.17	0.00	0	13858.10	0.66	3
		7030 x 3			7030 x 5			7030.00 x 0.00			7030.00 x 3.00		
8200	4	19285.99	0.78	3	22536.98	0.55	5	1030.17	0.00	0	13858.10	0.56	3
		8200 x 3			8200 x 5			8200.00 x 0.00			8200.00 x 3.00		

Tabel 4.9 Generator Terpilih AVK DIG 161 n/6L

Spek	=	AVK
Tipe	=	DIG 161 n/6L
Power (kW)	=	5700
Power (kVA)	=	7125
Voltase (V)	=	11000
Frekuensi (Hz)	=	50
Rotation (rpm)	=	1000
Quantity	=	5

4.4 Penentuan Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya yang digunakan pada tugas akhir ini didapatkan berdasarkan data disertasi penelitian pasca sarjana “*Pengembangan Jaringan Distribusi Listrik Arus Searah (DC) Pada Kapal Untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Kelistrikan dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi dan Emisi Bahan Bakar*”. Variasi panel surya yang dilakukan dari data yang didapatkan terdapat 6 pilihan, dengan dilakukan sedikit revisi data pada pemilihan panel surya yang tidak memiliki *project guide*. Berdasarkan rumus :

$$PPV = t \times n \times Pmax$$

Keterangan :

- PPV = Besarnya daya yang dihasilkan fotovoltaiik
- t = Peak intensitas matahari
- n = Jumlah panel surya yang dipasang
- P = Kapasitas daya yang mampu dihasilkan satu panel surya

Dengan asumsi nilai t selama 5 jam.

Tabel 4.10 Jumlah beban yang dibutuhkan

<i>Sailling</i>	=	19735.02	kW
<i>Manouvering</i>	=	22986.01	kW
<i>Cargo handling</i>	=	1452.79	kW
<i>At Port</i>	=	14280.72	kW
<i>So, Max load</i>	=	22986.01	kW

Tabel 4.11 Pilihan Panel Surya

Jenis	Power	L (m)	W (m)	H (m)	Luas (m ²)	Jumlah panel	Daya yang dihasilkan		
PV #1	20	0.639	0.294	0.023	0.1879	586	58552.372	58.552	25%
PV #2	50	0.835	0.54	0.028	0.4509	244	60989.133	60.989	27%
PV #3	80	1.214	0.545	0.035	0.6616	166	66502.426	66.502	29%
PV #4	120	1.499	0.662	0.046	0.9923	111	66509.597	66.510	29%
PV #5	240	1.657	0.987	0.042	1.6355	115	138000.000	138.000	60%
PV #6	300	1.64	0.992	0.035	1.6269	115	172500.000	172.500	75%

Dari 6 pilihan tersebut, telah terpilih PV 6 dengan jenis *High-efficiency ARTisun Star monocrystalline cells* sebagai panel surya yang dipasang pada kapal *hybrid* trimaran. Daya yang dihasilkan sebesar 172.5 KW dengan efisiensi sebesar 75% dari 6 PV yang telah dibandingkan dan disalurkan selama 5 jam.

Tabel 4.12 Panel Surya Terpilih
SUNIVA OPT300-60-4-1BO

Max power	300	Watt
Type	<i>Mono-crystalline</i>	
Max voltage	32.6	Volt
Max current	9.21	A
Short circuit current	9.65	A
Open circuit voltage	39.9	Volt
Max system voltage	1000	Volt
Lenght	1640	mm
Wide	992	mm
High	35	mm
Weight	18.2	Kg

4.5 Penentuan Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Data kecepatan angin rata-rata yang berada di provinsi Jawa timur tercatat diangka 16.9 knot atau 8.7 m/s pada tanggal 22 Oktober s/d 31 Desember 2019. Dengan asumsi peletakan turbin angin pada ketinggian 15 meter pada kapal diatas permukaan laut, didapatkan nilai kecepatan angin rata-rata yaitu 17.6 knot. Lalu didapatkan nilai resultan kecepatan pada kapal *hybrid* trimaran sebesar 38.3 Knot atau sebesar 19.7 m/s.

Turbin angin yang di pergunakan untuk tugas akhir ini dipilih berdasarkan asumsi ukurannya dapat diletakan pada kapal. Didapatkan pilihan yang diasumsikan sesuai yaitu :

Tabel 4.13 Spesifikasi Turbin Angin
Spesifikasi Turbin Angin

Merk	FT	
Type	Vertical WT	
Model	FT-20000H	
Rated Power	20000	W
Cut In Wind Speed	2.5	m/s
Rated Wind Speed	48	m/s
Survival Wind Speed	35	m/s
Blade Quantity	5	
Rotor Height	4.5	m
Rotor Width	2.4	m
Rotation	320	RPM
Swept Area	10.8	m ²

Dari data tersebut dapat dihitung *power coefficient*/efisiensi turbin angina (η) dengan rumus :

$$\eta = P / \frac{1}{2} A \rho v^3$$

Keterangan :

- η = *power coefficient*
- P = Daya turbin angin (20000 Watt)
- A = Swept area wind turbine (10.8 m²)
- ρ = Massa jenis udara (1,225 kg/m³)
- v = *rated wind speed* (19.7 m/s)

Didapatkan nilai *power coefficient* sebesar = 0.68

Setelah itu dilakukan perhitungan daya maksimal yang bisa di keluarkan turbin angin terpilih pada kecepatan angin dari hasil perhitungan

resultan kecepatan angin dan kecepatan kapal pada nilai 38.3 knot atau 19.7 m/s. Perhitungan dengan rumus :

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3$$

Keterangan :

- P = Daya maksimal
- A = Swept area wind turbine (10.8 m²)
- ρ = Massa jenis udara (1,225 kg/m³)
- v = *rated wind speed* (19.7 m/s)

Didapatkan nilai daya maksimal sebesar 50560.9 Watt.

Setelah diketahui nilai daya maksimal sesuai resultan kecepatan dan nilai *coefficient power* pada turbin angin terpilih, maka dapat diketahui nilai daya aktual yang dapat di hasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 8.7 m/s dalam kecepatan kapal 34 knot di ketinggian 15 m diatas permukaan laut. Nilai daya aktual yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar :

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3$$

Keterangan :

- P = Daya turbin angin
- A = Swept area wind turbine (10.8 m²)
- ρ = Massa jenis udara (1,225 kg/m³)
- η = *power coefficient* (0,68)
- v = *rated wind speed* (8,65 m/s)

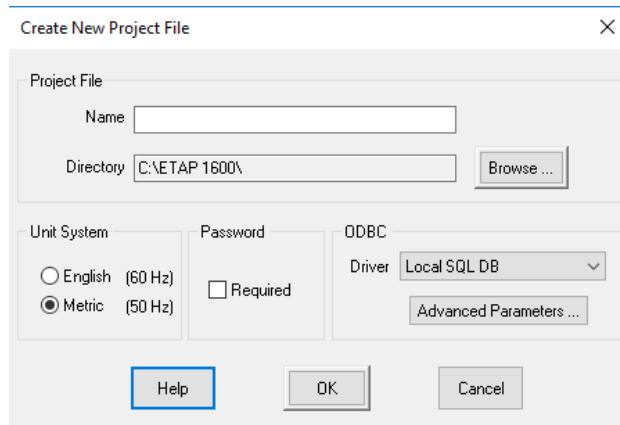
Didapatkan nilai Daya aktual sebesar 20000 Watt.

Pada simulasi stabilitas tegangan di *software transien analysis*, daya yang di masukan adalah daya sesuai spek dari turbin angin sebesar 20000 Watt.

4.6 Langkah Langkah Simulasi Elektrikal

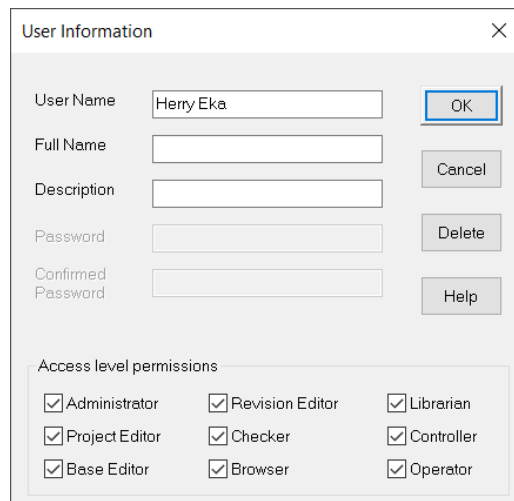
4.6.1. Pembuatan *New Project*

Setelah muncul tampilan awal, selanjutnya memilih menu new project. Pada tampilan *new project* seperti gambar dibawah akan muncul opsi yang harus diisi, lalu ada pilihan untuk frekuensi yang akan digunakan untuk *English* (60Hz) dan *Metric* (50Hz).



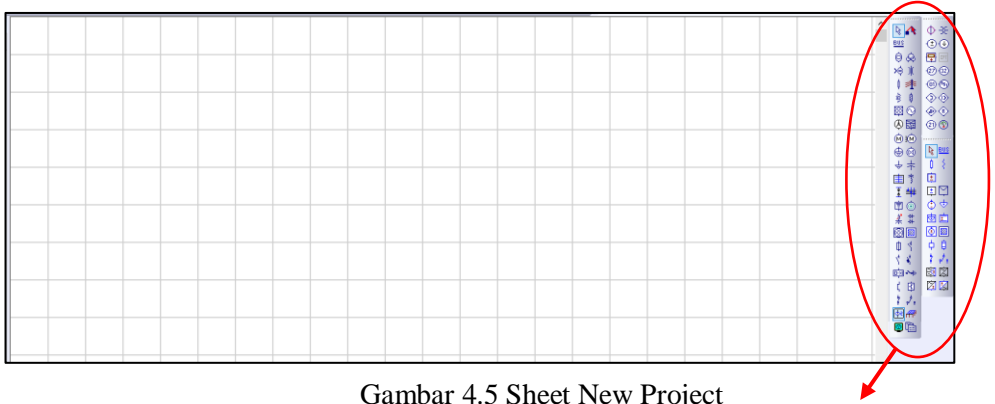
Gambar 4.3 New Project

Lalu setelah itu akan ada tampilan untuk *user information* dengan pengisian data user. Lalu setelah itu klik OK.



Gambar 4.4 User New Project

Setelah itu akan muncul lembaran *New Project* seperti gambar dibawah. Pada lembaran dibawah beberapa tools komponen, dimana terdapat komponen-komponen yang akan digunakan untuk membuat *design layout*. Terdapat komponen untuk AC dan DC serta beberapa alat ukur yang terdapat pada tanda panah komponen - komponen.



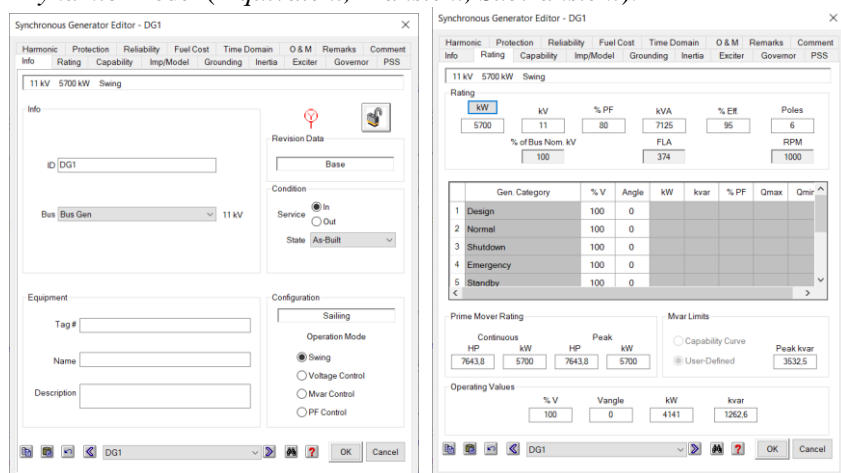
Gambar 4.5 Sheet New Project

Komponen - komponen

4.6.2. Setting Generator

Setelah itu pada saat pemilihan komponen generator, akan ada tampilan seperti gambar dibawah untuk memasukkan data info yang dibutuhkan dalam synchronous generator, sebagai berikut :

- Mode Operasi (*Swing, Voltage Control, Mvar Control, dan PF Control*).
- KV nominal
- % V dan sudut mode *swing*
- *Type Generator (Steam Turbo, Hydro, Hydro w/o damping, Gas Turbo, Diesel, Kombined Cycle)*.
- *Dynamic Model (Equivalent, Transient, Subtransient)*.



Gambar 4.6 Info Generator (Kiri) dan Rating Gnerator (Kanan)

Pada Imp/Model ada beberapa parameter yang harus dipilih yaitu pada dynamic model ada beberapa jenis (*Subtransient*, *Transient*, dan *Equivalent*). Dimana data ini dapat dilihat pada *data sheet impedansi product guide*.

Kemudian terdapat *typical data* dimana data yang dimasukkan akan secara otomatis jika pada pada *product guide* tidak disertakan *datasheet* impedansi generator. lalu terdapat berbagai tipe generator dengan jenis penggeraknya masing – masing.

The image shows two parts: a software interface on the left and a technical data sheet on the right.

Synchronous Generator Editor - DG1

Parameters shown in the software interface:

- 11 kV, 5700 kW, Swing
- Impedance: X_d^+ 11.1, X_d^+ / R_a 0.111, R_a 99.997, R_a 16.982, X_2 12.2, X_2 / R_2 0.122, R_2 99.997, R_2 16.982, X_0 3.3, X_0 / R_0 0.033, R_0 99.997, R_0 16.982, R_{dc} 99.997, R_{dc} 16.982
- Dynamic Model: Subtransient (selected), X_d 128, X_q 71, T_{d0}^+ 4.2, Sbreak 0.8, X_{du} 19.6, X_{qu} 71, T_{d0}^+ 0.035, S100 1.07, X_d^+ 19.6, X_q^+ 70, T_{q0}^+ 4.2, S120 1.18, X_L 15, X_q^+ 13.4, T_{q0}^+ 0.035, Damping 5
- Type: Gen. Diesel, Rotor Round-Rotor, IEC 69909 S.C., Exciter Type Turbine 130%, Compound Exc. (unchecked), Adjust KG based on PG (unchecked), PG 7.5, GOST S.C., Exciter Type Thyristor Self-Excitation

Technical Data Sheet (AVK):

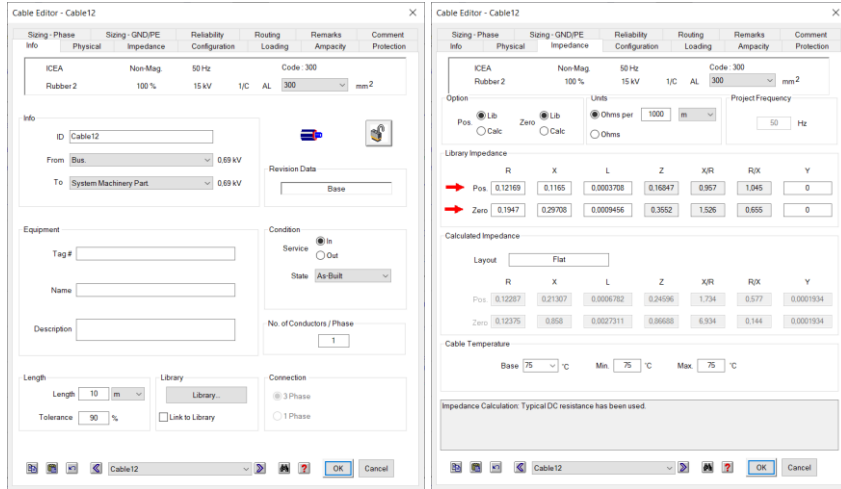
Nennwerten / nominal data									
Leistung S_N : rating power	7125 kVA								
Spannung U_N : voltage	11000 V								
Frequenz f : frequency	50 /s								
cos ϕ : p.f.	0,80								
Strom I_N : current	374 A								
Drehzahl n_r : speed	1000 /min								
Reaktanzen und Zeitkonstanten / reactances and time constants									
X_d^+ sat.	1,28	X_d^+ unsat.	1,43	X_d^- sat.	0,71	X_d^- unsat.	0,71	T_{d0}^+	4,20
X_q^+ sat.	0,196	X_q^+ unsat.	0,196	X_q^- sat.	0,71	X_q^- unsat.	0,71	T_{d0}^-	0,58
X_0^+ sat.	0,111	X_0^+ unsat.	0,122	X_0^- sat.	0,134	X_0^- unsat.	0,134	T_{d0}^0	0,035
X_0^- sat.	0,122	X_0^- unsat.	0,128	X_0^0 sat.	0,033	X_0^0 unsat.	0,037	T_{d0}^0	0,089
$f_2(20^\circ C)$	0,0043	SCR:	0,78	Z_N	16,982	Ohm			
Wirkungsgrad / efficiency									
η [%] p.f.=0.8	93,70	1/4 P_N	96,25	3/4 P_N	97,10	4/4 P_N	97,40		
η [%] p.f.=0.85	93,73		96,30		97,16		97,48		
η [%] p.f.=0.9	93,75		96,35		97,23		97,55		
η [%] p.f.=1.0	93,80		96,45		97,35		97,70		

Gambar 4.7 Impedance/Model

4.6.3. Cable Editor

Setelah itu pada saat pemilihan kabel, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dan impedance yang dibutuhkan dalam *cable editor*, sebagai berikut :

- Panjang kabel, *library* (jenis kabel), satuan dari kabel.
- *Base kV*, Impedansi, *Capacity (user-defined)*.

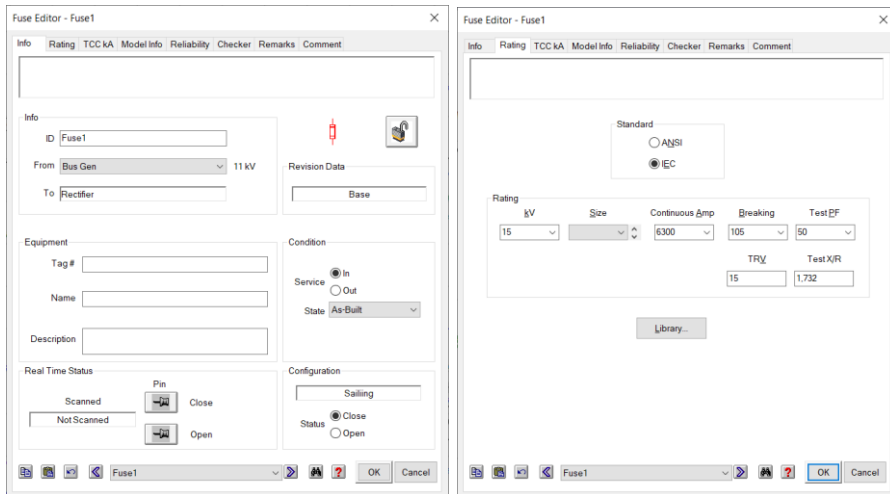


Gambar 4.8 Cable Editor Info (Kiri) dan Impedance (Kanan)

4.6.4. Fuse

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *fuse*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *fuse editor*, sebagai berikut :

- Info (Status *Fuse* : *Close, Open*)
- Rating (*Voltage, Arus, Standar* : *ANSI, IEC*).

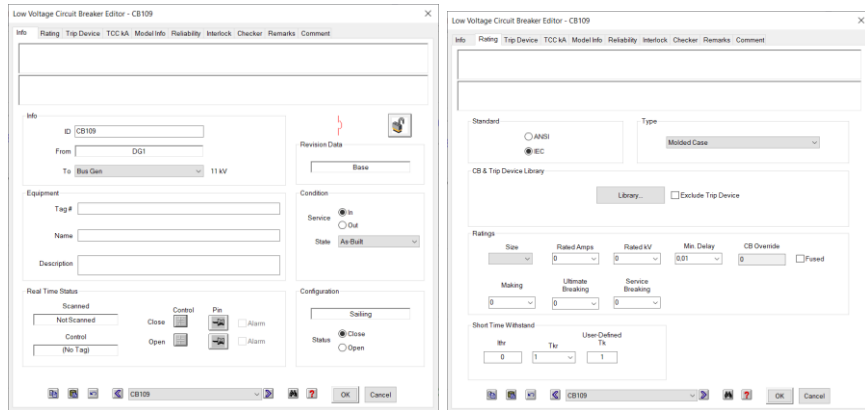


Gambar 4.9 Fuse Editor Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.5. Circuit Breaker

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *Circuit Breaker*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *circuit breaker editor*, sebagai berikut :

- Info (Status Fuse : Close, Open)
- Rating (*Voltage*, Arus, Standar : *ANSI*, *IEC*).

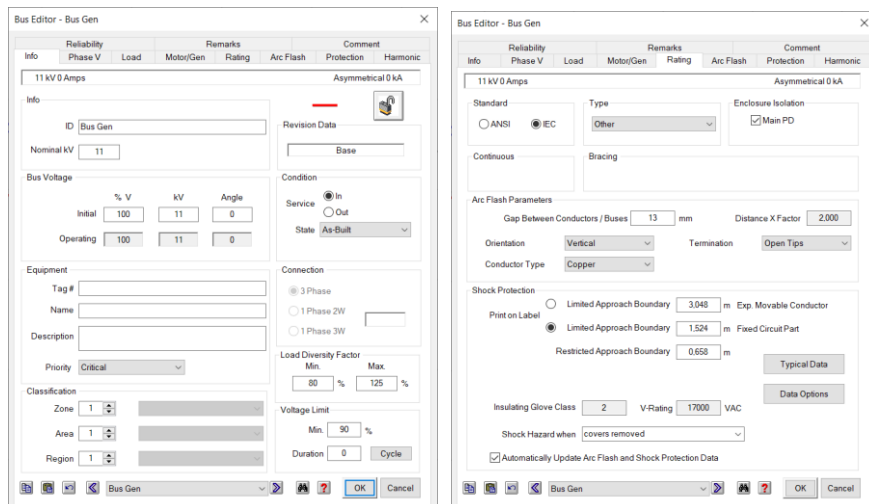


Gambar 4.10 Circuit Breaker Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.6. Bus

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *Bus*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Bus editor*, sebagai berikut :

- Info (*Bus Voltage*, Nominal kV)
- Rating (Arus, Standar : *ANSI*, *IEC*).

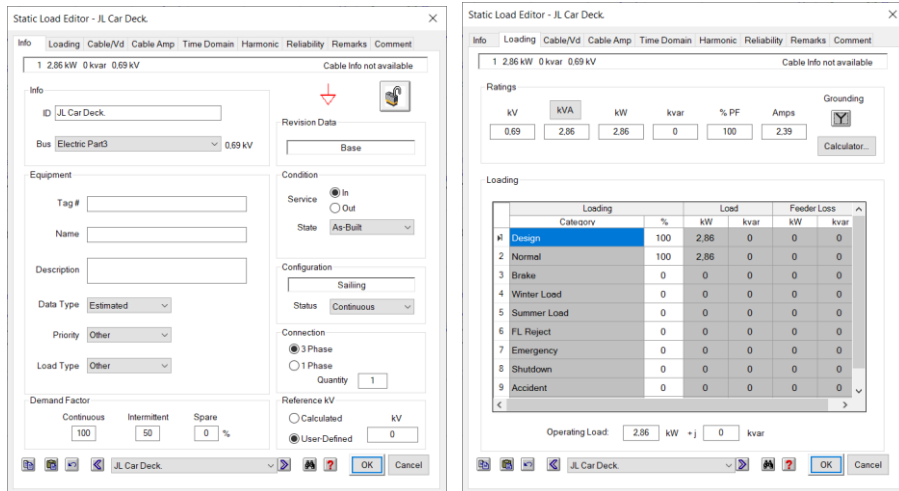


Gambar 4.11 Bus Editor Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.7. Statistic Load

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *Static Load*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Static Load editor*, sebagai berikut :

- Info (*Connection* : 1 Phase, 3 Phase)
- *Loading* (Rating : *Voltage*, Arus, Daya).

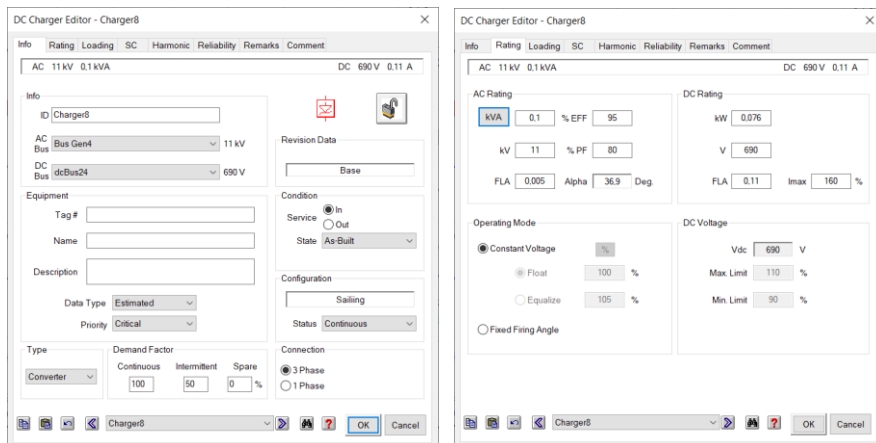


Gambar 4.12 Static Load Editor Info (Kiri) dan Loading (Kanan)

4.6.8. AC-DC Converter

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *Converter AC-DC*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Converter AC – DC editor*, sebagai berikut :

- Info (*Type* : *Converter*, *Charger*, *Connection* : 3 Phase, 1 Phase)
- Rating (AC Rating, DC Rating).

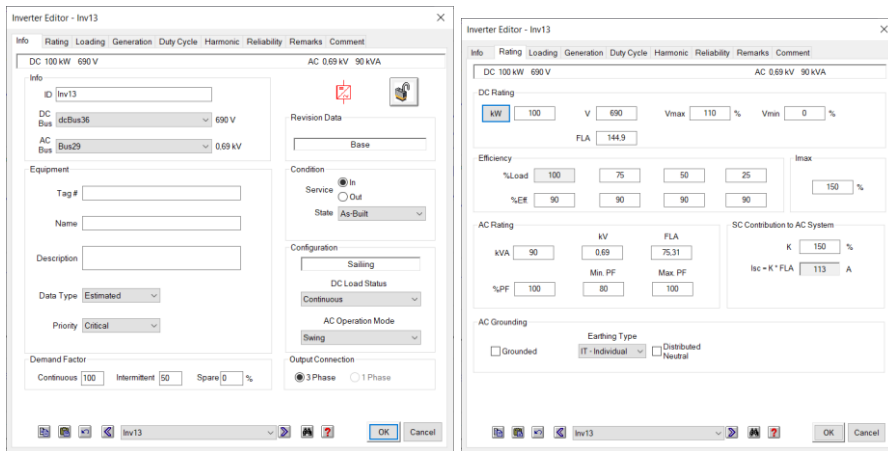


Gambar 4.13 AC – DC Converter Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.9. DC-AC Inverter

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *DC-AC Inverter*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *DC-AC Inverter editor*, sebagai berikut :

- Info (Info : *Input & Output Bus, Configuration*).
- Rating (DC Rating : Daya, Tegangan, AC Rating : Tegangan).

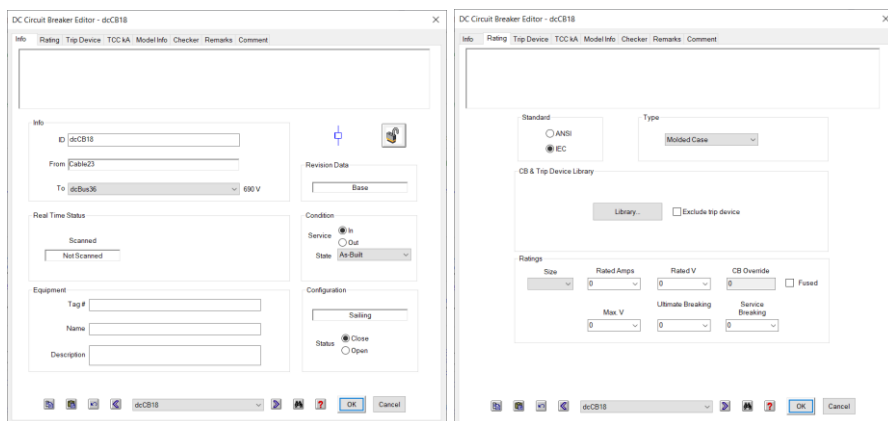


Gambar 4.14 DC-AC Inverter Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.10. DC Circuit Breaker

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *DC Circuit Breaker*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *DC Circuit Breaker editor*, sebagai berikut :

- Info (Status : *Close, Open*).
- Rating (Standard : *ANSI, IEC*, Rating : Arus, Voltage).

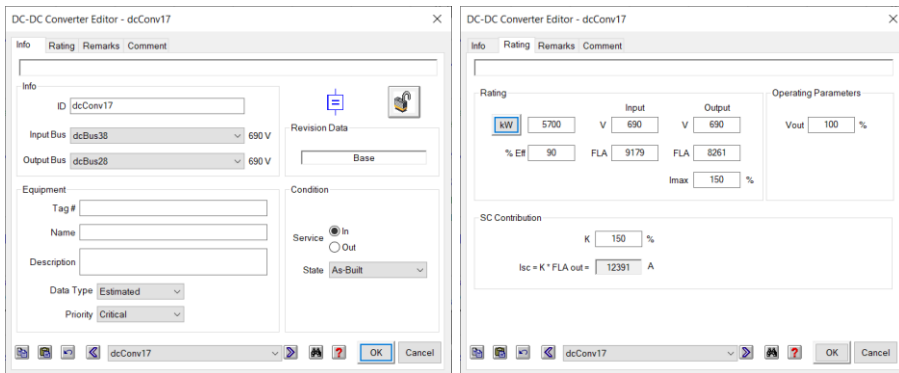


Gambar 4.15 DC Circuit Breaker Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.11. DC-DC Converter

Setelah itu pada saat pemilihan komponen DC-DC Converter , akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam DC-DC Converter editor, sebagai berikut :

- Info (Info : Input & Output Bus, Condition : Service).
- Rating (Daya, Tegangan Input, Tegangan Output).

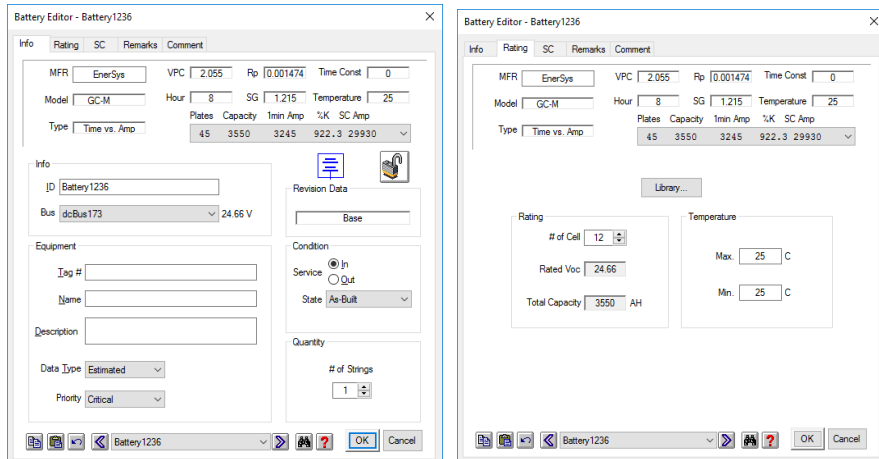


Gambar 4.16 DC-DC Converter Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.12. Battery

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *battery*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *battery* editor, sebagai berikut :

- Info (Info : Input & Output Bus, Condition : Service).
- Rating (number of cell, rted Vdc, total capacity).

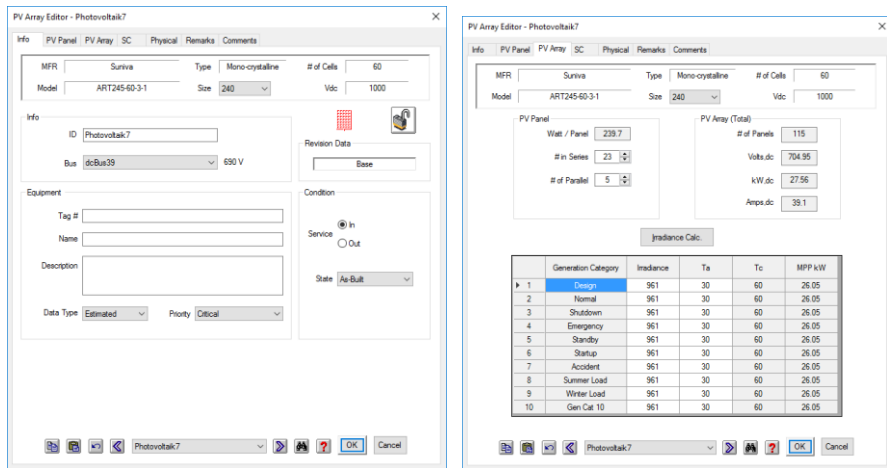


Gambar 4. 17 Battery Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.13. PV Array

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *PV Array*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *PV Array* editor, sebagai berikut :

- Info (Info : Input & Output Bus, Condition : Service).
- Rating (Daya, Number of Series, Number of parallels).

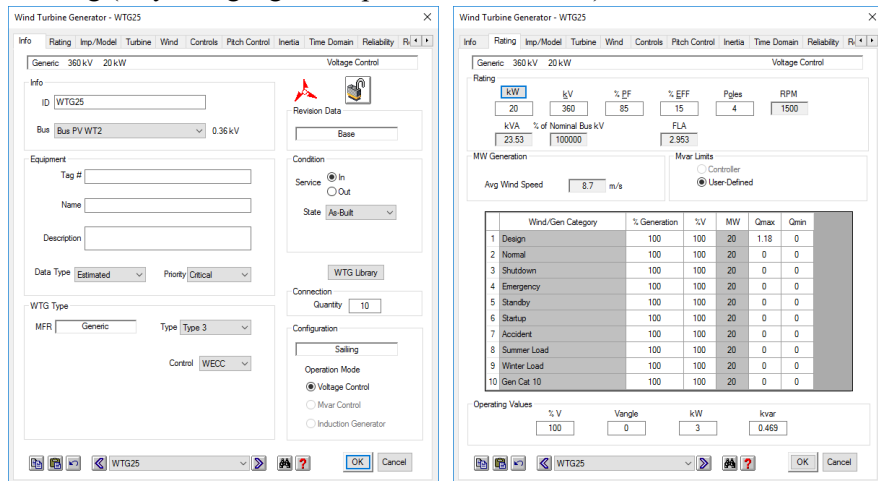


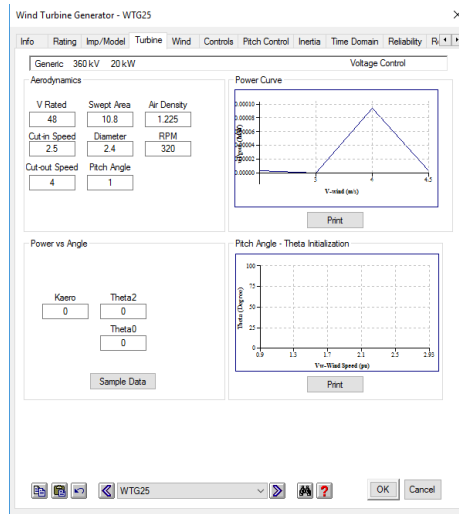
Gambar 4. 18 PV Array Info (Kiri) dan Rating (Kanan)

4.6.14. Wind Turbine

Setelah itu pada saat pemilihan komponen *Wind Turbine*, akan ada tampilan seperti gambar dibawah ini untuk memasukkan data info dalam *Wind Turbine* editor, sebagai berikut :

- Info (Info : Input & Output Bus, Condition : Service).
- Rating (Daya, Tegangan Output, RPM, %PF, dll).





Gambar 4. 19 Wind Turbin Tools

4.7. Perhitungan Komponen

4.7.1 Generator

- a. Total Power Output = 5700 kW
- b. Cos Phi = 0.8
- c. V line = 11000 V
- d. I Total = $\frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$

$$= \frac{5700000}{11000 \times \sqrt{3} \times 0.8}$$

$$= 373.97 \text{ A}$$
- e. Pengaman (MCB) = 400 A
- f. Pengaman Fuse = 500 A
- g. Pengaman Busbar = 4 x I total

$$= 4 \times 373.97 \text{ A}$$

$$= 1495.88 \text{ A}$$
- h. Busbar = 4 x 3 (40x10)

4.7.2 Machinery Part

- a. Total Power Output = 719.5 kW
- b. Cos Phi = 0.8
- c. V line = 690 V
- d. I_{ps} = $\frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$

$$= \frac{719500}{690 \times \sqrt{3} \times 0.8}$$

$$= 752.54 \text{ A}$$

e. I total = $I_{ps} + I_{\text{start terbesar}}$

$$= 752.54 + 247$$

$$= 999.54 \text{ A}$$

f. MCB = 1000 A

g. Pengaman Busbar = 4 x I total

$$= 4 \times 999.54 \text{ A}$$

$$= 4000 \text{ A}$$

h. Busbar = 4 x 4 (100x10)

4.7.3 General Service Machinery Part

a. Total Power Output = 351 kW

b. Cos Phi = 0.8

c. V line = 690 V

d. $I_{ps} = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \text{Cos } \varphi}$

$$= \frac{351000}{690 \times \sqrt{3} \times 0.8}$$

$$= 367.12 \text{ A}$$

e. I total = $I_{ps} + I_{\text{start terbesar}}$

$$= 367.12 + 273.5$$

$$= 640.6 \text{ A}$$

f. MCB = 700 A

g. Pengaman Busbar = 4 x I total

$$= 4 \times 640.6 \text{ A}$$

$$= 2562 \text{ A}$$

h. Busbar = 4 x 4 (50x10)

4.7.4 Refrigeration & Ventilation Part

a. Total Power Output = 14.4 kW

b. Cos Phi = 0.8

c. V line = 690 V

d. $I_{ps} = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \text{Cos } \varphi}$

$$= \frac{14400}{690 \times \sqrt{3} \times 0.8}$$

$$= 15.06 \text{ A}$$

e. I total = $I_{ps} + I_{\text{start terbesar}}$

$$= 15.06 + 0.595$$

$$= 15.7 \text{ A}$$

f. MCB = 20 A

- g. Pengaman Busbar = 4 x I total
= 4 x 15.7 A
= 63 A
- h. Busbar = 4 x 1 (12x2)

4.7.5 Electrical Part

- a. Total Power Output = 47.31 kW
- b. Cos Phi = 0.8
- c. V line = 690 V
- d. $I_{ps} = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$
= $\frac{47310}{690 \times \sqrt{3} \times 0.8}$
= 49.48 A
- e. I total = $I_{ps} + I_{\text{start terbesar}}$
= 49.48 + 39.6
= 89.1 A
- f. MCB = 100 A
- g. Pengaman Busbar = 4 x I total
= 4 x 89.1 A
= 356 A
- h. Busbar = 4 x 2 (20x3)

4.7.6 Pengaman MPPT DC (Maximum Power Point Tracking)

- a. Total Power = 5700 kW
- b. Tegangan DC = 11000 V
- c. I Total = $\frac{P}{V_{dc}}$
= $\frac{5700000}{11000}$
= 518.2 A
- d. MCB = 600 A
- e. DC Fuse = 700 A

4.7.7 Pengaman Inverter (DC to AC)

- a. Total Power = 1200 kW
- b. Tegangan DC = 11000 V
- c. I Total = $\frac{P}{V_{dc}}$
= $\frac{1200000}{11000}$
= 109.1 A

- d. MCB = 125 A
- a. DC Fuse = 150 A

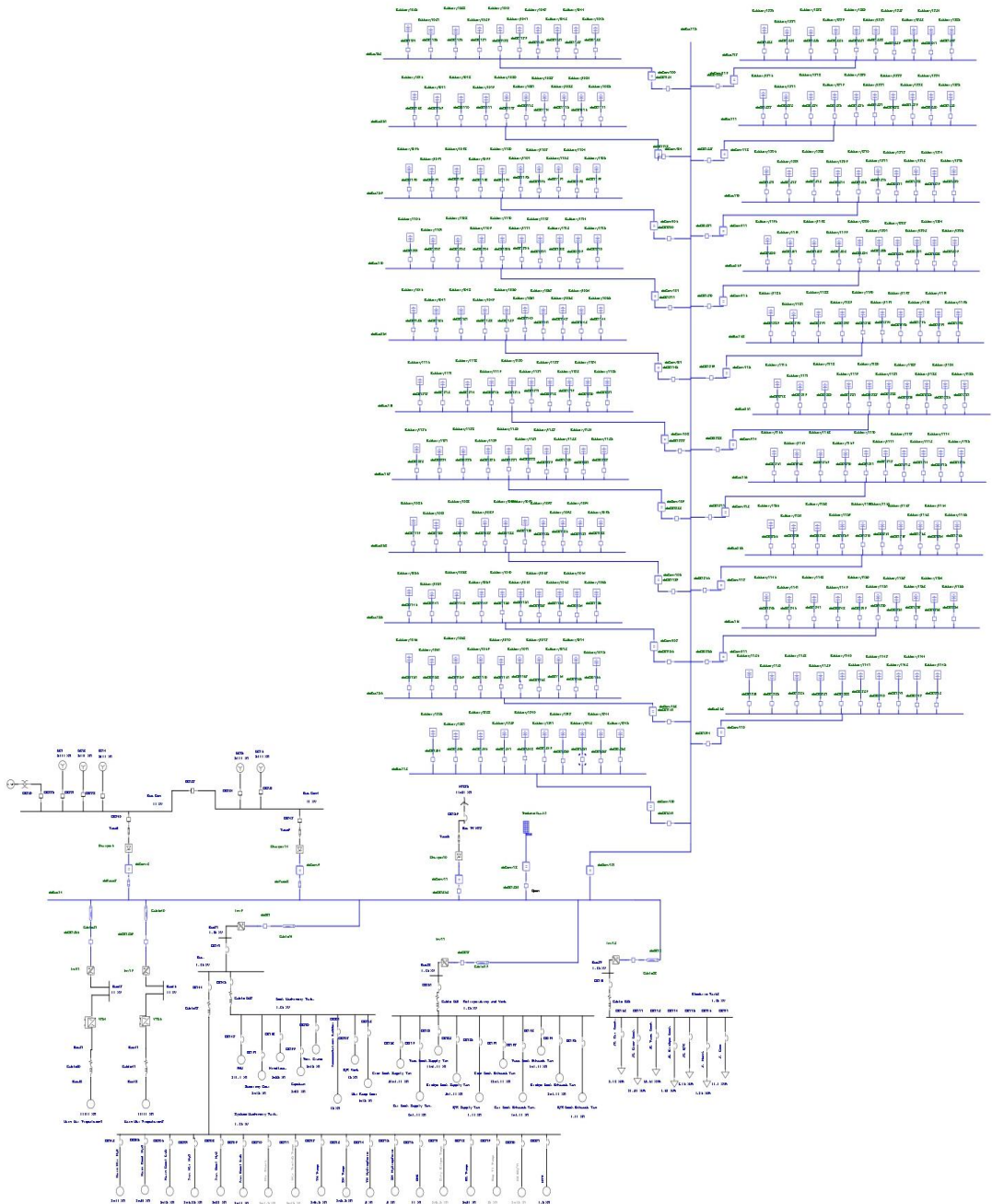
4.7.8 Pengaman Rectifier (AC to DC)

- a. Total Power = 5700 kW
- b. Tegangan DC = 11000 V
- c. I Total = $\frac{P}{V_{dc}}$
 $= \frac{5700000}{11000}$
 = 518.2 A
- d. MCB = 600 A
- e. DC Fuse = 700 A

4.8. Simulasi Percobaan

4.8.1. Single Line Diagram

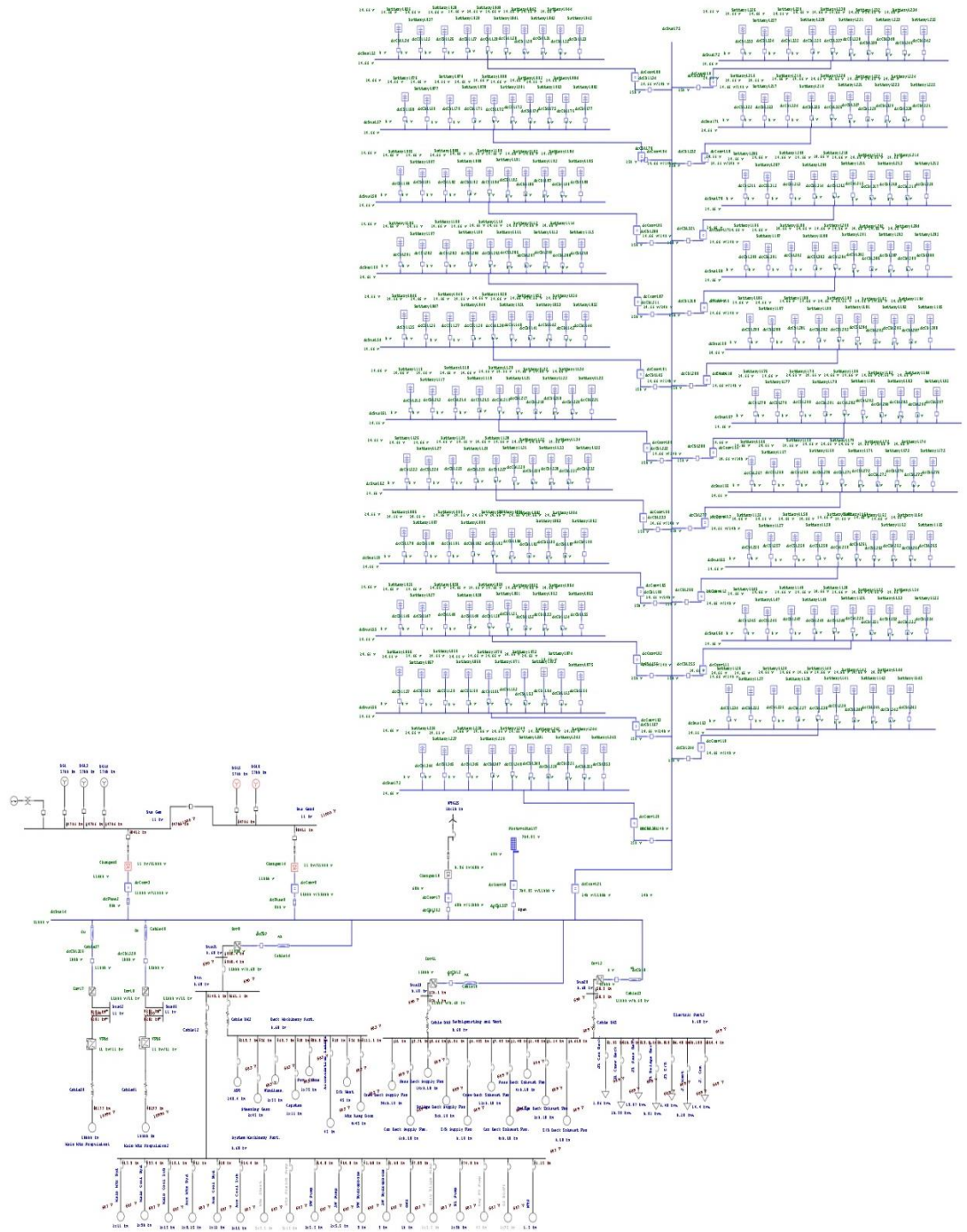
Berikut adalah *Single line diagram* pada simulasi dengan berbagai macam beban :



Gambar 4.20 Single Line Diagram

4.8.2. Load Flow

Berikut adalah hasil simulasi Load Flow dengan macam - macam beban :



Gambar 4.21 Single Line Diagram dan hasil simulasi load flow

4.9. Analisa Tegangan Jatuh

4.9.1. Perhitungan Tegangan Jatuh

Contoh perhitungan tegangan jatuh pada kondisi *sailing* adalah sebagai berikut :

Pada beban *Bridge deck exhaust fan*

Data yang diperoleh: $I_{data} = 1.334 \text{ A}$; $P = 1.24 \text{ kW}$; $V_s = 690 \text{ V}$

- Mencari nilai V_r

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta$$

$$V_r = \frac{P}{I \times \sqrt{3} \times \cos \theta}$$

$$V_r = \frac{12400}{1.334 \times \sqrt{3} \times 0.8}$$

$$V_r = 670.83 \text{ V}$$
- Mencari nilai ΔV

$$\Delta V = V_s - V_r$$

$$\Delta V = 690 \text{ V} - 670.83 \text{ V}$$

$$\Delta V = 19.16 \text{ V}$$
- Mencari nilai $\Delta V (\%)$

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100 \%$$

$$\Delta V (\%) = \frac{19.16}{690} \times 100 \%$$

$$\Delta V (\%) = 2.78\%$$

Data yang telah diperoleh dari spesifikasi teknis sistem distribusi listrik pada *Trimaran Passenger Ship* digunakan sebagai objek penelitian melalui software ETAP, yang kemudian dianalisa sesuai perhitungan diatas dan diperoleh data hasil simulasi seperti pada tabel 4.14 :

Tabel 4.14 Perhitungan Tegangan Jatuh

Peralatan	V_s (V)	kW	Amp	V_r (V)	ΔV	$\Delta V\%$
Accommodation Ladder	690	28.02	26.12	774.18	-84.18	-12.201
AHU	690	267.1	246	783.59	-93.59	-13.564
Aux Cool Hyd	690	27.98	26.38	765.46	-75.46	-10.936
Aux Cool Lub	690	14.39	13.82	751.45	-61.45	-8.906
Aux Mtr Hyd	690	12.05	11.62	748.39	-58.39	-8.463
BL Pump	690	74.9	70.02	771.99	-81.99	-11.882

Tabel 4.14 Perhitungan Tegangan Jatuh (Lanjutan)

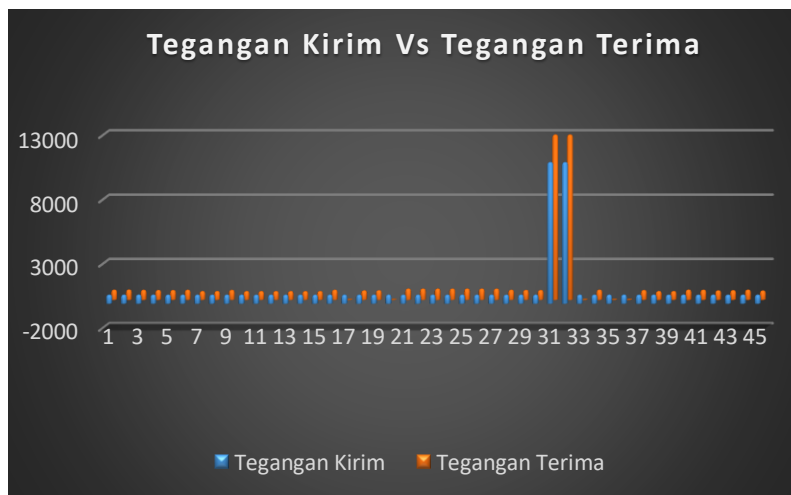
Bridge Deck Exhaust Fan	690	1.24	1.334	670.83	19.17	2.778
Bridge Deck Supply Fan	690	1.86	2	671.17	18.83	2.729
Capstan	690	27.98	26.58	759.70	-69.70	-10.101
Car Deck Exhaust Fan.	690	2.48	2.667	671.09	18.91	2.741
Car Deck Supply Fan.	690	3.71	4.001	669.20	20.80	3.015
Crew Deck Exhaust Fan	690	7.43	8.001	670.18	19.82	2.872
Crew Deck Supply Fan	690	21.04	22.67	669.80	20.20	2.928
E/R Deck Exhaust Fan	690	0.619	0.667	669.75	20.25	2.934
E/R Supply Fan	690	0.619	0.667	669.75	20.25	2.934
E/R Vent	690	56.04	52.23	774.33	-84.33	-12.222
Emg FI Pump	690	0	0	0.00	0.00	0.000
FW Hydrophore	690	2.09	2.084	0.00	0.00	0.000
FW Pump	690	14.81	14.5	737.12	-47.12	-6.829
GS BG/FI	690	0	0	0.00	0.00	0.000
J. Com	690	14.4	12.05	0.00	0.00	0.000
J. Mont	690	0.29	0.243	861.27	-171.27	-24.822
JL Bridge Deck	690	0.92	0.77	862.28	-172.28	-24.968
JL Car Deck.	690	2.86	2.393	862.53	-172.53	-25.004
JL Crew Deck	690	20.38	17.05	862.64	-172.64	-25.020
JL E/R	690	6.49	5.43	862.57	-172.57	-25.010
JL Pass Deck	690	13.97	11.69	862.44	-172.44	-24.992
Main Cool Hyd	690	37.45	35.01	771.99	-81.99	-11.882
Main Cool Lub	690	19.09	18.18	757.81	-67.81	-9.828
Main Mtr Hyd	690	14.39	13.82	751.45	-61.45	-8.906
Main Mtr Propulsion1	11000	10346.6	581.6	12838.75	-1838.75	-16.716
Main Mtr Propulsion2	11000	10346.6	581.6	12838.75	-1838.75	-16.716
Mtr Prelub Pump	690	0	0	0.00	0.00	0.000
Mtr Ramp Door	690	112.1	104.5	774.17	-84.17	-12.199
Mtr Start	690	0	0	0.00	0.00	0.000
Oily Bilge Pump	690	0	0	0.00	0.00	0.000
OWS	690	7.83	7.54	749.45	-59.45	-8.615
Pass Deck Exhaust Fan	690	2.48	2.667	671.09	18.91	2.741
Pass Deck Supply Fan	690	8.66	9.335	669.50	20.50	2.970

Tabel 4.14 Perhitungan Tegangan Jatuh (Lanjutan)

Pov. Crane	690	90.85	84.14	779.24	-89.24	-12.933
Steering Gear	690	56.04	52.23	774.33	-84.33	-12.222
SW Hydrophore	690	2.09	2.084	723.77	-33.77	-4.894
SW Pump	690	14.81	14.5	737.12	-47.12	-6.829
Windlass.	690	68.7	63.7	778.34	-88.34	-12.802
WTP	690	2.25	2.281	711.88	-21.88	-3.171

Total daya yang dikonsumsi pada kondisi sailing sesuai dengan tabel 4.14 adalah 21753.6 kW. Dari hasil simulasi didapatkan data pada tabel 4.14, terjadi tegangan jatuh yang tidak sesuai dengan standar IEC yaitu +/- 5% dan juga tegangan jatuh yang masih dapat ditoleransi oleh standar IEC.

Terdapat tegangan jatuh namun masih dalam toleransi standar IEC yaitu pada beban *Bridge Deck Exhaust Fan sebesar 2.778%*, *Bridge Deck Supply Fan sebesar 2.729%*, *Car Deck Supply Fan sebesar 3.015%*. *Crew Deck Exhaust Fan sebesar 2.872%*, *Crew Deck Supply Fan sebesar 2.928%*, *E/R Deck Exhaust Fan sebesar 2.934 %*, *E/R Supply Fan sebesar 2.864%*, *FW Hydrophore sebesar 4.894%*, *Pass Deck Exhaust Fan sebesar 2.741%*, *Pass Deck Supply Fan sebesar 2.970%*.



Gambar 4.22 Grafik Vs – Vr pada setiap beban

Hasil simulasi load flow analysis menunjukkan bahwa tegangan jatuh yang terjadi pada sistem jaringan distribusi listrik memiliki nilai yang berbeda pada tiap titik beban. Dalam simulasi *load flow analysis* diambil beberapa data penunjang untuk mengetahui adanya tegangan jatuh pada ti titik beban yaitu nilai P (daya aktif), Q (daya reaktif), Arus di faktor daya (Cos p).

Sehingga diketahui V_r untuk dapat diketahui nilai tegangan jatuh dalam satuan persen (%) seperti yang dicontohkan pada perhitungan diatas.

4.9.2. Presentasi Tegangan Jatuh Dengan Variasi Beban

Dalam perhitungan akan didapatkan hasil akhir berupa besar tegangan jatuh (*drop voltage*) yang kemudian akan dikonversikan dalam bentuk persentase (%) untuk memudahkan proses analisa dan dikarenakan standar yang digunakan juga dalam bentuk persentase (%).

Tabel 4.15 . Hasil nilai drop voltage pada setiap variasi Beban

No	Daya	Nilai Drop Voltage > Standart IEC (5%)		
		80%	90%	100%
1	Accomodation Ladder	12.20	12.29	12.33
2	AHU	13.56	13.62	13.69
3	Aux Cool Hyd	10.94	10.98	10.98
4	Aux Cool Lub	8.91	8.91	8.91
5	Aux Mtr Hyd	8.46	8.46	8.46
6	BL Pump	11.88	11.91	11.93
7	Bridge Deck Exhaust Fan	2.78	3.25	2.96
8	Bridge Deck Supply Fan	2.73	2.96	2.60
9	Capstan	10.10	10.14	10.23
10	Car Deck Exhaust Fan.	2.74	2.82	2.96
11	Car Deck Supply Fan.	3.01	2.99	2.96
12	Crew Deck Exhaust Fan	2.87	2.97	2.94
13	Crew Deck Supply Fan	2.93	2.94	2.96
14	E/R Deck Exhaust Fan	2.93	2.90	2.86
15	E/R Supply Fan	2.93	2.90	2.86
16	E/R Vent	12.22	12.27	12.34
17	Emg FI Pump	0.00	0.00	0.00
18	FW Hydrophore	4.89	4.89	4.89
19	FW Pump	6.83	6.84	6.85
20	GS BG/FI	0.00	0.00	0.00
21	J. Com	24.99	25.05	25.00
22	J. Mont	24.82	25.22	25.08
23	JL Bridge Deck	24.97	24.97	24.97
24	JL Car Deck.	25.00	24.79	25.14

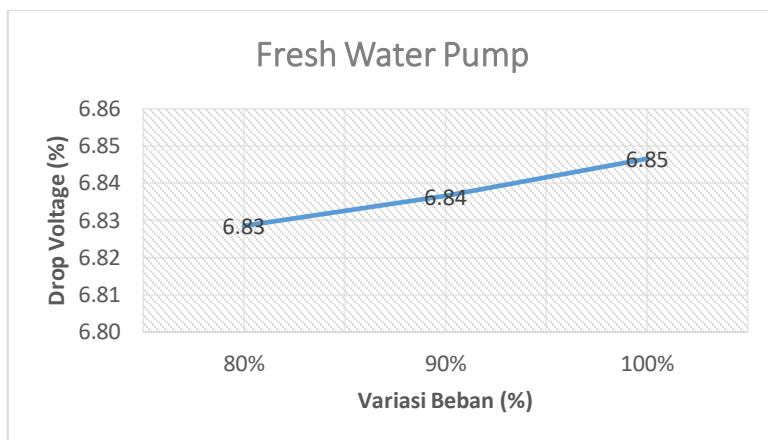
Tabel 4.15 . Hasil nilai drop voltage pada setiap variasi Beban (*lanjutan*)

25	JL Crew Deck	25.02	24.97	24.99
26	JL E/R	25.01	24.99	24.96
27	JL Pass Deck	24.99	24.97	25.05
28	Main Cool Hyd	11.88	11.91	11.91
29	Main Cool Lub	9.83	9.83	9.89
30	Main Mtr Hyd	8.91	8.91	8.91
31	Main Mtr Propulsion1	16.72	16.72	16.74
32	Main Mtr Propulsion2	16.72	16.72	16.74
33	Mtr Prelub Pump	0.00	0.00	0.00
34	Mtr Ramp Door	12.20	12.31	12.31
35	Mtr Start	0.00	0.00	0.00
36	Oily Bilge Pump	0.00	0.00	0.00
37	OWS	8.62	8.63	8.64
38	Pass Deck Exhaust Fan	2.74	2.82	2.96
39	Pass Deck Supply Fan	2.97	2.89	2.94
40	Pov. Crane	12.93	12.99	13.07
41	Steering Gear	12.22	12.27	12.33
42	SW Hydrophore	4.89	4.89	4.89
43	SW Pump	6.83	6.84	6.85
44	Windlass.	12.80	12.86	12.93
45	WTP	3.17	2.96	3.22

Dari tabel 4.15. dapat dilihat perubahan persentase terjadinya tegangan jatuh (*drop voltage*) akibat adanya variasi pembebanan daya. Namun, dari persentase tidak terlihat perbedaan yang signifikan.

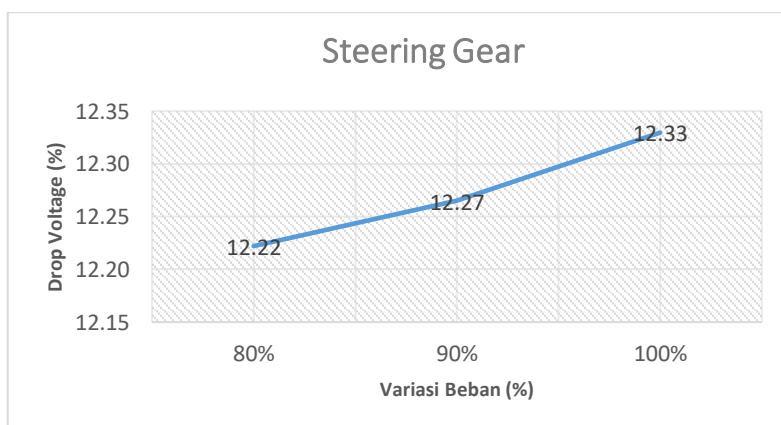
4.9.3. Analisa Hasil Nilai Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*)

Dari hasil rangkuman persentase tegangan jatuh di beberapa variasi pada tabel 4.15. dapat disimpulkan juga dengan grafik perbandingan nilai tegangan jatuh antar variasi seperti dibawah ini :



Gambar 4.23 Grafik Nilai Drop Voltage Pada Motor FW Pump

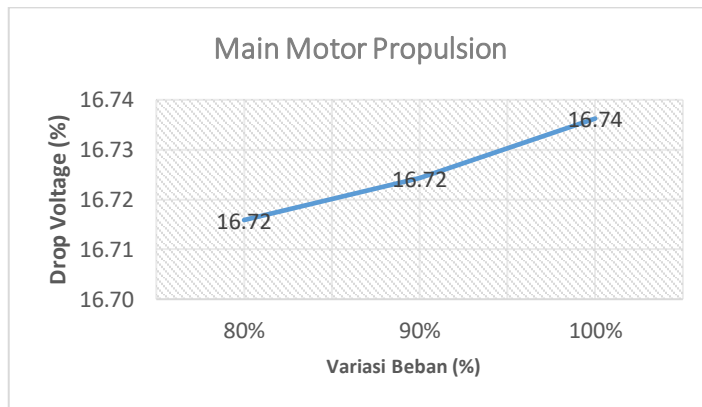
Dari grafik yang dihasilkan pada motor FW Pump yang ditampilkan pada grafik 4.23, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya pada beban atau semakin besar nilai variasi pembebanan, maka semakin besar pula tegangan jatuh (*drop voltage*) yang dihasilkan. Pada variasi 1 (80%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada motor FW Pump 6.83%. Untuk pada variasi 2 (90%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada motor FW Pump 6.84%, sedangkan untuk variasi 3 (100%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada motor FW Pump 6.85%. Setelah dilakukan perhitungan dengan variasi tersebut tidak memenuhi standart IEC yaitu diatas $>5\%$.



Gambar 4.24 Grafik Nilai Drop Voltage Pada Motor Steering Gear

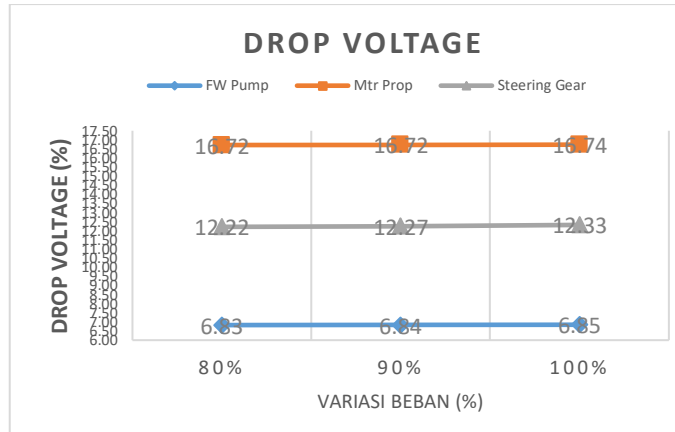
Dari grafik yang dihasilkan pada motor Steering Gear yang ditampilkan pada grafik 4.24, dapat dilihat bahwa semakin kecil penggunaan

daya pada beban atau semakin kecil nilai variasi pembebanan, maka semakin kecil pula tegangan jatuh (*drop voltage*) yang dihasilkan. Pada variasi 3 (100%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada motor Steering Gear 12.33%. Untuk pada variasi 2 (90%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada motor Steering Gear adalah 12.27% sedangkan untuk variasi 1 (80%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada motor Steering Gear 12.33%. Setelah dilakukan perhitungan dengan variasi tersebut tidak memenuhi standart IEC yaitu diatas 5%.



Gambar 4.25 Grafik Nilai Drop Voltage Pada Main Motor Propulsuion

Dari grafik yang dihasilkan pada Main Motor Propulsion yang ditampilkan pada grafik 4.25, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya pada beban atau semakin besar nilai variasi pembebanan, maka semakin besar pula tegangan jatuh (*drop voltage*) yang dihasilkan. Pada variasi 1 (80%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada Main Motor Propulsion 16.72%. Untuk pada variasi 2 (90%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada Main Motor Propulsion 16.72%, sedangkan untuk variasi 3 (100%) nilai tegangan jatuh yang dihasilkan pada Main Motor Propulsion sebesar 16.74%. Setelah dilakukan perhitungan dengan variasi tersebut tidak memenuhi standart IEC yaitu diatas >5%.



Gambar 4.26 Grafik Nilai Drop Voltage Pada 3 Motor

Dari grafik yang dihasilkan pada 3 variasi pada 3 motor yang ditampilkan pada grafik 4.26 dapat dilihat bahwa semakin kecil penggunaan daya pada beban atau semakin kecil nilai variasi pembebanan, maka semakin kecil pula tegangan jatuh (*drop voltage*) yang dihasilkan.

Nilai arus yang dihasilkan pada setiap variasi mengalami perubahan yang sama pada setiap variasi. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh berbanding lurus dengan nilai variasi pada tiap-tiap pembebanan daya. Pada tiap variasi setelah dilakukan perhitungan dengan hasil ketiga variasi tersebut tidak memenuhi standart IEC.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil “simulasi sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hibrida berbasis simulasi software ETAP 16.0.0”, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perangkaian model *single line diagram* pada simulasi software ETAP 16.0.0. perlu memperhatikan “*EXAMPLE ANSI*” sebagai acuan dan standart pemodelan.
2. Perangkaian model *single line diagram* pada salah satu *software transient analysis* dapat dilakukan dan dapat beroperasi saat dilakukan simulasi *load flow*.
3. Dari hasil hasil *load flow* dengan beberapa variasi beban dapat dianalisa sebagai berikut :
 - a. Nilai arus yang dihasilkan pada setiap variasi mengalami perubahan yang sama pada setiap variasi.
 - b. Nilai tegangan jatuh berbanding lurus dengan nilai variasi pada tiap-tiap pembebanan daya.
 - c. Dari hasil simulasi terdapat tegangan jatuh pada beberapa beban dalam kondisi *sailing* pada load 100%, namun masih dalam toleransi standar IEC yaitu pada beban *Bridge Deck Exhaust Fan* sebesar 2.778%, *Bridge Deck Supply Fan* sebesar 2.729%, *Car Deck Supply Fan* sebesar 3.015% . *Crew Deck Exhaust Fan* sebesar 2.872% , *Crew Deck Supply Fan* sebesar 2.928%, *E/R Deck Exhaust Fan* sebesar 2.934%, *E/R Supply Fan* sebesar 2.864%, *FW Hydrophore* sebesar 4.894%, *Pass Deck Exhaust Fan* sebesar 2.741% dan *Pass Deck Supply Fan* sebesar 2.970%.

5.2 Saran

Dalam pengerjaan hasil “simulasi sistem distribusi arus searah pada kapal Trimaran bertenaga listrik hibrida berbasis simulasi software ETAP 16.0.0”. Berikut merupakan saran-saran yang perlu dipertimbangkan apabila ingin mengembangkan penelitian ini agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

1. Pada penelitian ini studi kasus yang diambil dapat lebih banyak jika dapat memahami *software transient analysis* (ETAP) lebih dalam lagi. Sehingga untuk penelitian selanjutnya adapat dilakukan simulasi yang lebih banyak agar hasil dari proses simulasi menjadi lebih akurat.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan dengan perhitungan numerik/rumus, agar hasil yang didapatkan dalam simulasi lebih akurat.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perhitungan secara detail mengenai *Wind Turbine* dan *Photovoltaic* agar mendapatkan hasil analisa simulasi menjadi lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

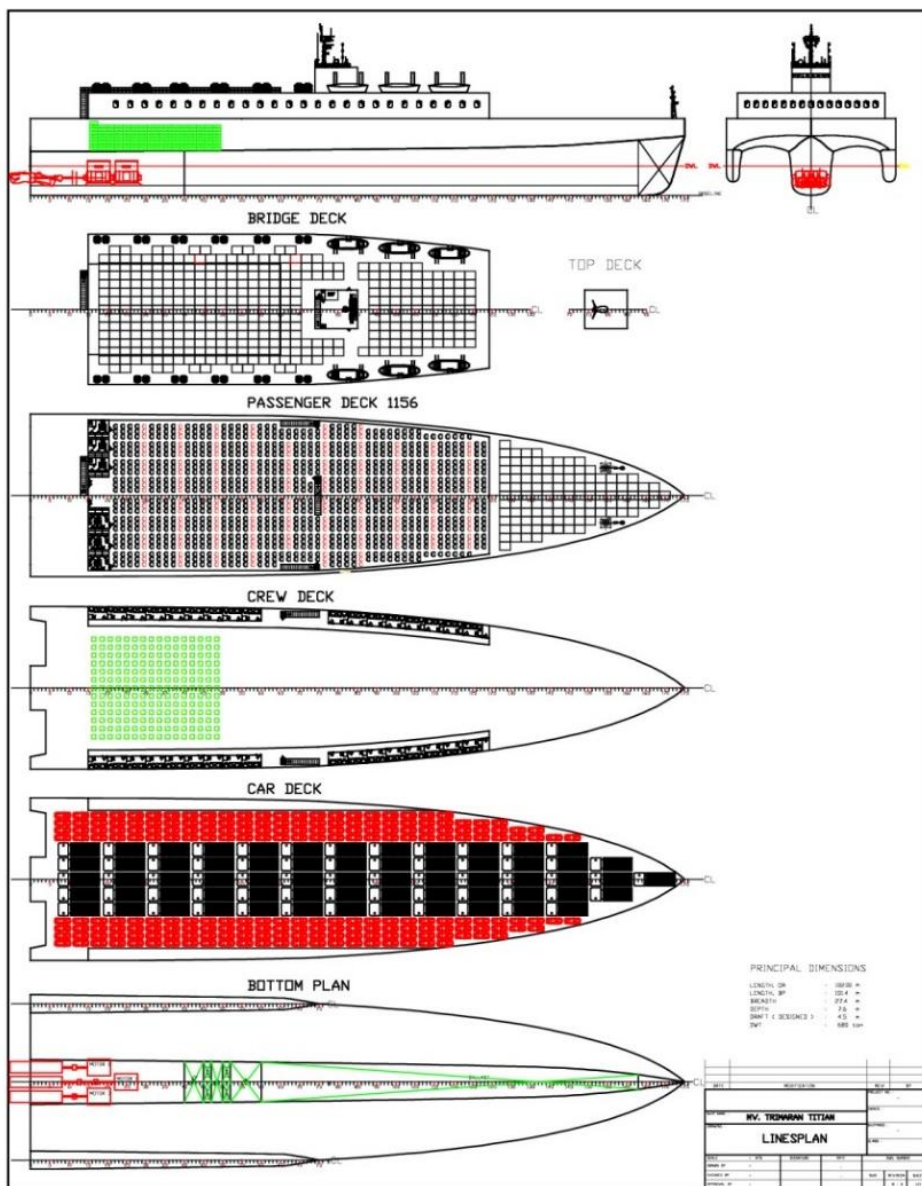
DAFTAR PUSTAKA

- AnwarIMO MARPOL, Annex VI IMO MARPOL, Annex VI and NTC 2008 with guidelines for implementation London International Maritime Organization, 2015.
- Keun Kei H, Kim Seo H, Full Simulation Modelingg fro elcetrical Analysis of Hybrid PV/Diesel ESS in Ship Power System Int. Conf. Power Electron
- Zahedi B, Narum LE, Modeling and Simulation of Hybrid Electric Ships with DC distributin system, IEE; 2013
- Ariana I. Made E.Reduction of Diesel Ship engine Exhaust Gas Emission Using Seaaater Electrolysis; 2011
- Sanuri S, Zaman MB, Kusuma IR, Pengembangan Jaringan Distribusi Listrik Arus Searah (DC) Pada Kapal Untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Kelistrikan dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi dan Emisi Bahan Bakar,.Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018
- Sanuri S, Zaman MB, Kusuma IR, Nugroho FA, Transient Stability Analysis of Shipboard Hybrid Power Generation for Trimaran Ferry as the Inter - Island Cruise in Indonesia,.Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017
- Wen S, Lan H, Yu DC, Fu Q, Hong Y-Y, Yu L, et al. Optimal sizing of hybrid energy storage sub-systems in PV/diesel ship power system using frequency analysis. Energy. 2017 Dec;140:198–208.
- Zahedi B, Norum LE. Modelling and simulation of hybrid electric ships with DC distribution systems. In IEEE; 2013b [cited 2018 Mar 15]. p. 1–10. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6631762/>
- Kasikci, I., 2002a. Analysis and Design of Low Voltage Power Systems An Engineers Field Guide.
- Sarwito, S., 1995. *Perencanaan Instalasi Listrik Kapal*. Surabaya: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi ITS.
- Hermawan, Y. A., 2012. *PERENCANAAN KAPAL PENUMPANG BARANG TIPE TRIMARAN UNTUK PELAYARAN ANTAR PULAU : STUDI KASUS PELAYARAN KALIANGET-KANGEAN-SAPEKEN-MASALEMBU*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

1. LAMPIRAN GENERAL ARRANGEMENT TRIMARAN



2. LAMPIRAN ELECTRICAL LOAD

1. Machinery Part	Equipment	Specification Pump					Specification Electric Motor					Total		Power (kW)				
		Merck	Type	Qm³/h	Head (m)	RPM	P (kW)	Merck	Type	Volt (V)	RPM	Poles	F (Hz)	Ø	(Qty)	Output	Eff	Input
	Electric Propulsion							Smooth HV	18A7716-FH80-Q10	11000	2988	2	50	3	2	10000	0.95	10526.3
	Motor Indus 3 Phase														2	174	0.95	183.158
	Frequency Converter																	
	Main Switch Board														2	23	0.95	24.2105
	System Waterjet																	
	Main Motor Hydraulic	Warsila Waterjet	1880	11,5416	NA	1500	11	Onec MSB INTORQ		690	1460	4	50	3	2	11	0.95	114,5789
	Main cooling capacity hydraulic	Warsila Waterjet	1880	2.8	NA	1500	24.58	Onec OMT IE4	20014	690	1480	4	50	3	2	30	0.95	31,5789
	Main cooling capacity lubricating	Warsila Waterjet	1880	2.4	NA	1500	14.03	Onec OMT IE5		690	1475	4	50	3	2	15	0.95	15,7895
	Auxiliary Motor hydraulic	Warsila Waterjet	1880	8.6562	NA	1500	8.25	Onec MSB INTORQ		690	1460	4	50	3	2	9.25	0.95	9,73684
	Auxiliary cooling capacity hydraulic	Warsila Waterjet	1880	2.1	NA	1500	18.44	Onec MSB IE5		690	1480	4	50	3	2	22	0.95	23,1579
	Auxiliary cooling capacity lubricating	Warsila Waterjet	1880	1.8	NA	1500	10.52	Onec OMT IE5		690	1460	4	50	3	2	11	0.95	11,5789
	Auxiliary Engine Service																	
	Electric motor ratings for engine starting device							Onec	MSB INTORQ	380	1450	4	50	3	5	7.5	0.95	7,89474
	Electric motor ratings for pre-lubricating pump							Onec	OMT IE5	690	1475	4	50	3	5	15	0.95	15,7895
	General Service																	
	Transfer Pump HV	Sill Pump	EHS-70C-5.5	18	22.5	1500	5.5	Onec MSB INTORQ	1325-4	690	1450	4	50	3	2	5.5	0.95	5,78947
	Transfer Pump SW	Sill Pump	EHS-70C-5.5	18	22.5	1500	5.5	Onec MSB INTORQ	1325-4	690	1450	4	50	3	2	5.5	0.95	5,78947
	FW Hydrophore Set	Sill ZYGH 0.3/0,4	CH400-32-2(2)	5	NA	1450	3	Onec MSB INTORQ	10012,4	690	1420	4	50	3	1	3	0.95	3,15789
	SW Hydrophore Set	Sill ZYGH 0.3/0,5	CH400-32-2(2)	5	NA	1450	3	Onec MSB INTORQ	10012,4	690	1420	4	50	3	1	3	0.95	3,15789
	Oil/Water Separator	Warsila	OWS 500	12	NA	NA	10											
	Oil/Bilge Separator	Sill Pump	EHS-70C-5.6	18	22.5	1500	5.5	Onec MSB INTORQ	1325-4	690	1450	4	50	3	1	5.5	0.95	5,78947
	Ballast Pump	Sill Pump	200C1-30A	262	23.5	1450	30	Onec OMT IE4	20014	690	1480	4	50	3	2	30	0.95	31,5789
	Emergency Fire Pump	Sill Pump	CH200-2A	120	65	1450	45	Onec OMT IE4	225144	690	1485	4	50	3	1	45	0.95	47,3684
	General Service Pump (Be&H)	Sill Pump	CH250-2	182	70	1450	75	Onec OMT IE4	28054	690	1490	4	50	3	2	75	0.95	78,9474
	Sewage Pump	Sill Pump	EHS-70C-5.5	18	22.5	1500	5.5	Onec MSB INTORQ		690	1450	4	50	3	1	5.5	0.95	5,78947
	Sewage Treatment Plant	Marin Membrane System								220					1	1.5	0.95	1,57895
	Ramp Service																	
	Ramp door	Hydraulic MacGregor						Onec OMT IE4	225144	690	1485	4	50	3	4	45	0.95	47,3684

2 Hull Part	(assumed)	Instrument										Power (kW)					
		Spec Equipment					Spec Motor					Total (Qty)	Output	Eff	Input		
Equipment	Meerk	Type	Q/GPM	Head (ft)	HPM	P (kW)	Meerk	Type	Volt (V)	HPM	Poles	F (Hz)	Ø				
Refrigerating and Ventilation																	
Accommodation Supply Fan																	
Car Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	6	0.18	0.95	0.18947
Crew Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	34	0.18	0.95	0.18947
Passenger Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	14	0.18	0.95	0.18947
Bridge Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	3	0.18	0.95	0.18947
E/R Supply Fan	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	3	0.18	0.95	0.18947
Accommodation Exhaust Fan																	
Car Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	4	0.18	0.95	0.18947
Crew Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	12	0.18	0.95	0.18947
Passenger Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	4	0.18	0.95	0.18947
Bridge Deck	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	2	0.18	0.95	0.18947
E/R Supply Fan	ENAG	Axial Marine Fan			3000	0.18	mec MSB REACHTO	631-2	690	3000	2	50	3	3	0.18	0.95	0.18947
Air Handling Unit (AHU)		Dakin				248.40								1	248.4	0.95	261.474
Deck Machinery																	
Steering Gear						46	Omec OMITTE4	250M4	690	1485	4	50	3	2	46	0.95	48.4211
Capstan						21	Omec OMITTE4	180I4	690	1475	4	50	3	2	22	0.95	23.1579
Windlass						55	Omec OMITTE4	250M4	690	1485	4	50	3	2	55	0.95	57.8947
Poussin Crane						7.5	Omec MSB INTORQ	133M-4	690	1450	4	50	3	2	7.5	0.95	7.89474
Engine Room Ventilation		Hetzell Fan				44.1	Omec OMITTE4	225M4	690	1485	4	50	3	1	45	0.95	47.3684
Accommodation leader winch		Hetzell Fan				44.1	Omec OMITTE4	225M4	690	1485	4	50	3	1	45	0.95	47.3684

3. Electrical Part								
Equipment	Instrument			Total (Qty)	Power (kW)			
	Volt (V)	F (Hz)	Ø		Output	Eff	Input	
Deck Machinery								
Car Deck	220	50	1	1	2,86	1,00	2,86	
Crew Deck	220	50	1	1	20,38	1,00	20,38	
Passanger Deck	220	50	1	1	13,97	1,00	13,97	
Bridge Deck	220	50	1	1	0,92	1,00	0,92	
Engine Room	220	50	1	1	6,49	1,00	6,49	
Mast Head Light	220	50	1	2	0,06	1,00	0,06	
Portside light	220	50	1	1	0,06	1,00	0,06	
Starboard Light	220	50	1	1	0,06	1,00	0,06	
Stern Light	220	50	1	1	0,04	1,00	0,04	
Anchor Light	220	50	1	1	0,01	1,00	0,01	
Nautical,Communication & Safety								
VHF Telephone	220	50	1	2	0,025	1,00	0,03	
Internal Communication	220	50	1	4	0,03	1,00	0,03	
MV/HF DSC	220	50	1	2	0,15	1,00	0,15	
Navtex Receiver	220	50	1	1	0,04	1,00	0,04	
Wiper	220	50	1	2	0,10	1,00	0,10	
Gyro Compass	220	50	1	1	0,045	1,00	0,05	
Magnetic Compass	220	50	1	1	0,01	1,00	0,01	
Radar	220	50	1	1	12,00	1,00	12,00	
Speed Log	220	50	1	1	0,10	1,00	0,10	
Echo Sounder	220	50	1	1	0,60	1,00	0,60	
GPS	220	50	1	1	0,03	1,00	0,03	
AIS	220	50	1	1	0,01	1,00	0,01	
Horn	220	50	1	1	0,05	1,00	0,05	
Fire Alarm Control	220	50	1	1	0,14	1,00	0,14	
Heat Detector	220	50	1	1	0,006	1,00	0,01	
Flame Detector	220	50	1	15	0,006	1,00	0,01	
Smoke Detector	220	50	1	71	0,006	1,00	0,01	
Nautical,Communication & Safety								
SART	220	50	1	2	0,00	1,00	0,00	
ECDIS	220	50	1	1	0,20	1,00	0,20	

No.	ITEM	Sailing	Manuver	Cargo handling	At Port
1	MACHINERY PART : Continue load : Intermittent load	18.552,0 244,1	21794,9 257,5	255,2 249,4	13154,4 152,4
2	HULL PART : Continue load : Intermittent load	398,14 231,74	398,1 231,7	528,4 77,5	515,4 77,5
3	ELECTRICAL PART : Continue load : Intermittent load	50,4 0,0	50,4 0,0	50,4 0,0	50,4 0,0
4	Total load Power (Ø) : Intermittent load	19000,51 476	22243,44 489,23	834,02 326,92	13720,19 229,84
5	Diversity factor (e) : (0.6-1) x (Ø) Intermittent	285,48	293,54	196,15	137,91
6	Number of load : (Ø) continue + (e)	19285,99	22536,98	1030,17	13.858,10
7	Generator work : kW x S.set	22800	26500		17100
8	Working capacity	22800	26500	1030,17	13858,10
9	Generator that available : kW x S.set	4	5	0	3
10	Load Factor : (Ø)/(8) x 100%	84,59	79,08	100,0	100,00
11	Shore Connection (1,15x number of cargo handling)	-	-	1184,70	-

Kw	Set	Load Factor Generator											
		Sailing			Manuver			Cargo Handling			At Port		
			Set		Set		Set		Set		Set		Set
5000	5	19285,99	0,96	4	22536,98	0,90	5	1030,17	0,00	0	13858,10	0,92	3
		5000 x 4			5000 x 5			5000,00 x 0,00			5000,00 x 3,00		
5700	5	19285,99	0,85	4	22536,98	0,79	5	1030,17	0,00	0	13858,10	0,81	3
		5700 x 4			5700 x 5			5700,00 x 0,00			5700,00 x 3,00		
7030	4	19285,99	0,91	3	22536,98	0,64	5	1030,17	0,00	0	13858,10	0,66	3
		7030 x 3			7030 x 5			7030,00 x 0,00			7030,00 x 3,00		
8200	4	19285,99	0,78	3	22536,98	0,55	5	1030,17	0,00	0	13858,10	0,56	3
		8200 x 3			8200 x 5			8200,00 x 0,00			8200,00 x 3,00		

3. LAMPIRAN PERHITUNGAN DROP VOLTAGE

BEBAN 100%									
ID	Vs (V)	kW	Watt	Amp	Cos θ	Vr (V)	Drop/Over	ΔV	$\Delta V\%$
Accomodation Ladder	690	28.02	28020	26.12	0.8	774.1843	Over	-84.1843	-12.20
AHU	690	267.1	267100	246	0.8	783.5887	Over	-93.5887	-13.56
Aux Cool Hyd	690	27.98	27980	26.38	0.8	765.4597	Over	-75.4597	-10.94
Aux Cool Lub	690	14.39	14390	13.82	0.8	751.4535	Over	-61.4535	-8.91
Aux Mtr Hyd	690	12.05	12050	11.62	0.8	748.394	Over	-58.394	-8.46
BL Pump	690	74.9	74900	70.02	0.8	771.9854	Over	-81.9854	-11.88
Bridge Deck Exhaust Fan	690	1.24	1240	1.334	0.8	670.8343	Drop	19.16573	2.78
Bridge Deck Supply Fan	690	1.86	1860	2	0.8	671.1697	Drop	18.83031	2.73
Capstan	690	27.98	27980	26.58	0.8	759.7	Over	-69.7	-10.10
Car Deck Exhaust Fan.	690	2.48	2480	2.667	0.8	671.0858	Drop	18.9142	2.74
Car Deck Supply Fan.	690	3.71	3710	4.001	0.8	669.1982	Drop	20.80183	3.01
Crew Deck Exhaust Fan	690	7.43	7430	8.001	0.8	670.1838	Drop	19.81619	2.87
Crew Deck Supply Fan	690	21.04	21040	22.67	0.8	669.7976	Drop	20.20238	2.93
E/R Deck Exhaust Fan	690	0.619	619	0.667	0.8	669.7523	Drop	20.24772	2.93
E/R Supply Fan	690	0.619	619	0.667	0.8	669.7523	Drop	20.24772	2.93
E/R Vent	690	56.04	56040	52.23	0.8	774.3325	Over	-84.3325	-12.22
Emg FI Pump	690	0	0	0	0.8				
FW Hydrophore	690	2.09	2090	2.084	0.8	723.7656	Over	-33.7656	-4.89
FW Pump	690	14.81	14810	14.5	0.8	737.117	Over	-47.117	-6.83
GS BG/FI	690	0	0	0	0.8				
J. Com	690	14.4	14400	12.05	0.8	862.4319	Over	-172.432	-24.99
J. Mont	690	0.29	290	0.243	0.8	861.2735	Over	-171.274	-24.82
JL Bridge Deck	690	0.92	920	0.77	0.8	862.2764	Over	-172.276	-24.97
JL Car Deck.	690	2.86	2860	2.393	0.8	862.527	Over	-172.527	-25.00
JL Crew Deck	690	20.38	20380	17.05	0.8	862.6392	Over	-172.639	-25.02
JL E/R	690	6.49	6490	5.43	0.8	862.5698	Over	-172.57	-25.01
JL Pass Deck	690	13.97	13970	11.69	0.8	862.4447	Over	-172.445	-24.99

Main Cool Hyd	690	37.45	37450	35.01	0.8	771.9854	Over	-81.9854	-11.88
Main Cool Lub	690	19.09	19090	18.18	0.8	757.8119	Over	-67.8119	-9.83
Main Mtr Hyd	690	14.39	14390	13.82	0.8	751.4535	Over	-61.4535	-8.91
Main Mtr Propulsion1	11000	10346.6	10346600	581.6	0.8	12838.75	Over	-1838.75	-16.72
Main Mtr Propulsion2	11000	10346.6	10346600	581.6	0.8	12838.75	Over	-1838.75	-16.72
Mtr Prelub Pump	690	0	0	0	0.8				
Mtr Ramp Door	690	112.1	112100	104.5	0.8	774.1742	Over	-84.1742	-12.20
Mtr Start	690	0	0	0	0.8				
Oily Bilge Pump	690	0	0	0	0.8				
OWS	690	7.83	7830	7.54	0.8	749.4451	Over	-59.4451	-8.62
Pass Deck Exhaust Fan	690	2.48	2480	2.667	0.8	671.0858	Drop	18.9142	2.74
Pass Deck Supply Fan	690	8.66	8660	9.335	0.8	669.5037	Drop	20.49634	2.97
Pov. Crane	690	90.85	90850	84.14	0.8	779.241	Over	-89.241	-12.93
Steering Gear	690	56.04	56040	52.23	0.8	774.3325	Over	-84.3325	-12.22
SW Hydrophore	690	2.09	2090	2.084	0.8	723.7656	Over	-33.7656	-4.89
SW Pump	690	14.81	14810	14.5	0.8	737.117	Over	-47.117	-6.83
Windlass.	690	68.7	68700	63.7	0.8	778.3352	Over	-88.3352	-12.80
WTP	690	2.25	2250	2.281	0.8	711.8797	Over	-21.8797	-3.17

Beban 90%									
ID	Vs (V)	kW	Watt	Amp	Cos θ	Vr (V)	Drop/Over	ΔV	$\Delta V\%$
Accomodation Ladder	690	28.02	28020	26.1	0.8	774.7775	Over	-84.7775	-12.29
AHU	690	240.4	240400	221.3	0.8	783.9754	Over	-93.9754	-13.62
Aux Cool Hyd	690	27.98	27980	26.37	0.8	765.7499	Over	-75.7499	-10.98
Aux Cool Lub	690	14.39	14390	13.82	0.8	751.4535	Over	-61.4535	-8.91
Aux Mtr Hyd	690	12.05	12050	11.62	0.8	748.394	Over	-58.394	-8.46
BL Pump	690	67.41	67410	63	0.8	772.206	Over	-82.206	-11.91
Bridge Deck Exhaust Fan	690	1.11	1110	1.2	0.8	667.5612	Drop	22.43875	3.25

Bridge Deck Supply Fan	690	1.67	1670	1.8	0.8	669.5659	Drop	20.43406	2.96
Capstan	690	27.98	27980	26.57	0.8	759.9859	Over	-69.9859	-10.14
Car Deck Exhaust Fan.	690	2.23	2230	2.4	0.8	670.5683	Drop	19.43172	2.82
Car Deck Supply Fan.	690	3.34	3340	3.601	0.8	669.38	Drop	20.62	2.99
Crew Deck Exhaust Fan	690	6.68	6680	7.201	0.8	669.473	Drop	20.52705	2.97
Crew Deck Supply Fan	690	18.93	18930	20.4	0.8	669.6839	Drop	20.31614	2.94
E/R Deck Exhaust Fan	690	0.557	557	0.6	0.8	669.9669	Drop	20.03313	2.90
E/R Supply Fan	690	0.557	557	0.6	0.8	669.9669	Drop	20.03313	2.90
E/R Vent	690	56.04	56040	52.21	0.8	774.6291	Over	-84.6291	-12.27
Emg FI Pump	690	0	0	0	0.8				
FW Hydrophore	690	2.09	2090	2.084	0.8	723.7656	Over	-33.7656	-4.89
FW Pump	690	13.33	13330	13.05	0.8	737.1723	Over	-47.1723	-6.84
GS BG/FI	690	0	0	0	0.8				
J. Com	690	12.96	12960	10.84	0.8	862.8297	Over	-172.83	-25.05
J. Mont	690	0.261	261	0.218	0.8	864.0391	Over	-174.039	-25.22
JL Bridge Deck	690	0.828	828	0.693	0.8	862.2764	Over	-172.276	-24.97
JL Car Deck.	690	2.57	2570	2.154	0.8	861.0667	Over	-171.067	-24.79
JL Crew Deck	690	18.34	18340	15.35	0.8	862.2642	Over	-172.264	-24.97
JL E/R	690	5.84	5840	4.887	0.8	862.4221	Over	-172.422	-24.99
JL Pass Deck	690	12.57	12570	10.52	0.8	862.3209	Over	-172.321	-24.97
Main Cool Hyd	690	37.45	37450	35	0.8	772.206	Over	-82.206	-11.91
Main Cool Lub	690	19.09	19090	18.18	0.8	757.8119	Over	-67.8119	-9.83
Main Mtr Hyd	690	14.39	14390	13.82	0.8	751.4535	Over	-61.4535	-8.91
Main Mtr Propulsion1	11000	9311.9	9311900	523.4	0.8	12839.67	Over	-1839.67	-16.72
Main Mtr Propulsion2	11000	9311.9	9311900	523.4	0.8	12839.67	Over	-1839.67	-16.72
Mtr Prelub Pump	690	0	0	0	0.8				
Mtr Ramp Door	690	112.1	112100	104.4	0.8	774.9158	Over	-84.9158	-12.31
Mtr Start	690	0	0	0	0.8				
Oily Bilge Pump	690	0	0	0	0.8				
OWS	690	7.83	7830	7.539	0.8	749.5445	Over	-59.5445	-8.63

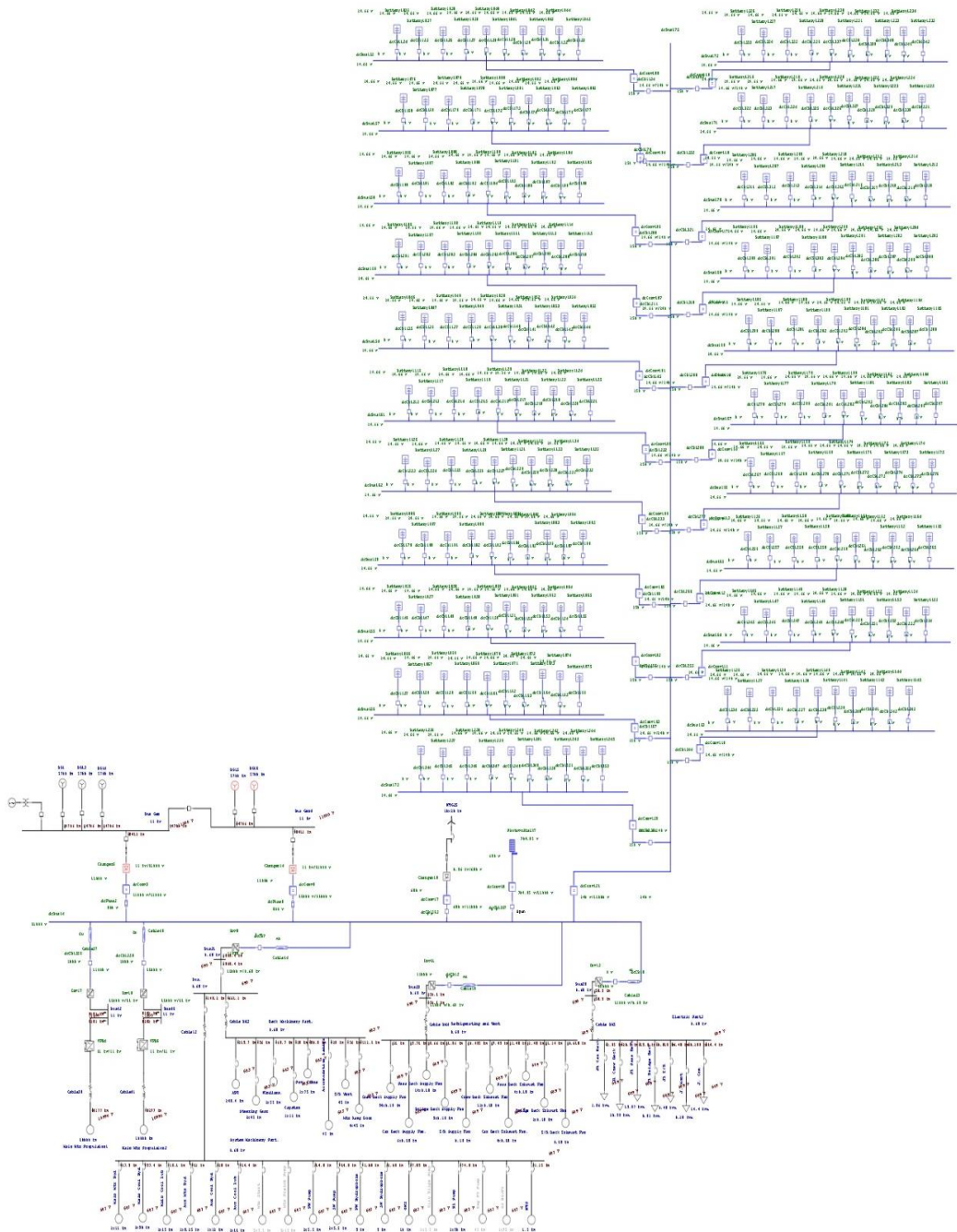
Pass Deck Exhaust Fan	690	2.23	2230	2.4	0.8	670.5683	Drop	19.43172	2.82
Pass Deck Supply Fan	690	7.8	7800	8.401	0.8	670.0589	Drop	19.94106	2.89
Pov. Crane	690	90.85	90850	84.1	0.8	779.6117	Over	-89.6117	-12.99
Steering Gear	690	56.04	56040	52.21	0.8	774.6291	Over	-84.6291	-12.27
SW Hydrophore	690	2.09	2090	2.084	0.8	723.7656	Over	-33.7656	-4.89
SW Pump	690	13.33	13330	13.05	0.8	737.1723	Over	-47.1723	-6.84
Windlass.	690	68.7	68700	63.67	0.8	778.702	Over	-88.702	-12.86
WTP	690	2.02	2020	2.052	0.8	710.4334	Over	-20.4334	-2.96

Beban 80%									
ID	Vs (V)	kW	Watt	Amp	Cos θ	Vr (V)	Drop/Over	ΔV	$\Delta V\%$
Accomodation Ladder	690	28.02	28020	26.09	0.8	775.0745	Over	-85.0745	12.33
AHU	690	213.7	213700	196.6	0.8	784.4593	Over	-94.4593	13.69
Aux Cool Hyd	690	27.98	27980	26.37	0.8	765.7499	Over	-75.7499	10.98
Aux Cool Lub	690	14.39	14390	13.82	0.8	751.4535	Over	-61.4535	-8.91
Aux Mtr Hyd	690	12.05	12050	11.62	0.8	748.394	Over	-58.394	-8.46
BL Pump	690	59.92	59920	55.99	0.8	772.3439	Over	-82.3439	11.93
Bridge Deck Exhaust Fan	690	0.99	990	1.067	0.8	669.6073	Drop	20.39273	2.96
Bridge Deck Supply Fan	690	1.49	1490	1.6	0.8	672.0718	Drop	17.9282	2.60
Capstan	690	27.98	27980	26.55	0.8	760.5584	Over	-70.5584	10.23
Car Deck Exhaust Fan.	690	1.98	1980	2.134	0.8	669.6073	Drop	20.39273	2.96
Car Deck Supply Fan.	690	2.97	2970	3.201	0.8	669.6073	Drop	20.39273	2.96
Crew Deck Exhaust Fan	690	5.94	5940	6.401	0.8	669.7119	Drop	20.28812	2.94
Crew Deck Supply Fan	690	16.83	16830	18.14	0.8	669.5704	Drop	20.42964	2.96
E/R Deck Exhaust Fan	690	0.495	495	0.533	0.8	670.2354	Drop	19.76458	2.86
E/R Supply Fan	690	0.495	495	0.533	0.8	670.2354	Drop	19.76458	2.86

E/R Vent	690	44.83	44830	41.74	0.8	775.1142	Over	-85.1142	12.34	-
Emg FI Pump	690	0	0	0	0.8					
FW Hydrophore	690	2.09	2090	2.084	0.8	723.7656	Over	-33.7656	-4.89	
FW Pump	690	11.85	11850	11.6	0.8	737.2415	Over	-47.2415	-6.85	
GS BG/FI	690	0	0	0	0.8					
J. Com	690	11.52	11520	9.639	0.8	862.5214	Over	-172.521	25.00	-
J. Mont	690	0.232	232	0.194	0.8	863.0494	Over	-173.049	25.08	-
JL Bridge Deck	690	0.736	736	0.616	0.8	862.2764	Over	-172.276	24.97	-
JL Car Deck.	690	2.29	2290	1.914	0.8	863.4614	Over	-173.461	25.14	-
JL Crew Deck	690	16.3	16300	13.64	0.8	862.4275	Over	-172.428	24.99	-
JL E/R	690	5.19	5190	4.344	0.8	862.2375	Over	-172.238	24.96	-
JL Pass Deck	690	11.18	11180	9.351	0.8	862.8457	Over	-172.846	25.05	-
Main Cool Hyd	690	37.45	37450	35	0.8	772.206	Over	-82.206	11.91	-
Main Cool Lub	690	19.09	19090	18.17	0.8	758.229	Over	-68.229	-9.89	-
Main Mtr Hyd	690	14.39	14390	13.82	0.8	751.4535	Over	-61.4535	-8.91	-
Main Mtr Propulsion1	11000	8277.3	8277300	465.2	0.8	12840.99	Over	-1840.99	16.74	-
Main Mtr Propulsion2	11000	8277.3	8277300	465.2	0.8	12840.99	Over	-1840.99	16.74	-
Mtr Prelub Pump	690	0	0	0	0.8					
Mtr Ramp Door	690	112.1	112100	104.4	0.8	774.9158	Over	-84.9158	12.31	-
Mtr Start	690	0	0	0	0.8					
Oily Bilge Pump	690	0	0	0	0.8					
OWS	690	7.83	7830	7.538	0.8	749.6439	Over	-59.6439	-8.64	-
Pass Deck Exhaust Fan	690	1.98	1980	2.134	0.8	669.6073	Drop	20.39273	2.96	-
Pass Deck Supply Fan	690	6.93	6930	7.468	0.8	669.6969	Drop	20.30307	2.94	-

Pov. Crane	690	90.85	90850	84.04	0.8	780.1683	Over	-90.1683	- 13.07
Steering Gear	690	56.04	56040	52.18	0.8	775.0745	Over	-85.0745	- 12.33
SW Hydrophore	690	2.09	2090	2.084	0.8	723.7656	Over	-33.7656	-4.89
SW Pump	690	11.85	11850	11.6	0.8	737.2415	Over	-47.2415	-6.85
Windlass.	690	68.7	68700	63.63	0.8	779.1915	Over	-89.1915	- 12.93
WTP	690	1.8	1800	1.824	0.8	712.1919	Over	-22.1919	-3.22

4. LAMPIRAN HASIL PEMODELAN



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Herry Eka Prasetyo. Lahir pada tanggal 20 Agustus 1998 di Bojoneoro. Anak pertama dari dua bersaudara. Terlahir dari pasangan Agung Prayitno dan Sumiyati. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal di SD Negeri Perbon 1, SMP Negeri 2 Tuban, SMA Negeri 2 Tuban. Setelah lulus SMA pada tahun 2016 penulis melanjutkan jenjang pendidikan Program S1 (Strata 1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Pada semester 5 penulis memutuskan untuk memasuki bidang laboratorium MEAS (*Marine Electrical and Automation System*). Pada lab tersebut penulis bertugas menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Elektronika Kapal, dan pada semester 7 penulis bertugas kembali menjadi Asisten Praktikum Listrik Perkapalan serta menyelesaikan tugas akhir di laboratorium tersebut. Pada bidang non-akademik penulis aktif mengikuti kegiatan minat bakat keprofesionalitas DTSP yaitu METIC masa bakti 2016-2017, Kemudian penulis menjadi staff MEDFO di Lembaga Minat Bakat Cinta Rebana ITS masa bakti 2016-2017. Ditahun berikutnya penulis aktif bergabung menjadi pengurus HIMASISKAL KABINET BERSAMA sebagai Staff KOMINFO masa bakti 2017-2018 dan di tahun yang sama penulis juga mendapatkan amanah menjadi Kepala Divisi Internal Forum Daerah RR (Rumah Rotan) Tuban masa bakti 2017-2018. Penulis dapat dihubungi melalui telp/WA 085606486138 atau e-mail: herryprasetyo123@gmail.com.