



**TUGAS AKHIR - ME184834**

**ANALISA *SHORT CIRCUIT* DAN PENGATURAN  
KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT REKONFIGURASI  
SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK AC MENJADI DC SUMBER  
LISTRIK HYBRID DIESEL GENERATOR DAN  
*PHOTOVOLTAIC* PADA KAPAL TANKER**

**ARIALDI ALMONDA**  
NRP 0421184000007

Dosen Pembimbing  
**Dr.Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T.**  
NIP. 198904292014041001  
**Dr.Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**  
NIP. 196003191987011001

**Program Studi S1 Reguler Teknik Sistem Perkapalan**  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022



TUGAS AKHIR - 184834

**ANALISA *SHORT CIRCUIT* DAN PENGATURAN  
KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT REKONFIGURASI  
SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK AC MENJADI DC SUMBER  
LISTRIK HYBRID DIESEL GENERATOR DAN  
*PHOTOVOLTAIC* PADA KAPAL *TANKER***

**ARIALDI ALMONDA**  
NRP 0421184000007

Dosen Pembimbing  
**Dr.Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T.**  
NIP. 198904292014041001  
**Dr.Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**  
NIP. 196003191987011001

**Program Studi S1 Reguler Teknik Sistem Perkapalan**  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022



**FINAL PROJECT - 184834**

**SHORT CIRCUIT ANALYSIS AND PROTECTION  
COORDINATION SETTING DUE TO  
RECONFIGURATION OF AC ELECTRICITY  
DISTRIBUTION SYSTEM TO DC HYBRID DIESEL  
GENERATOR AND PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY  
SOURCE ON TANKER SHIP**

**ARIALDI ALMONDA  
NRP 0421184000007**

Advisor

**Dr.Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T.**

**NIP. 198904292014041001**

**Dr.Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**

**NIP. 196003191987011001**

**Study Program S1 Reguler Marine Engineering**

Department of Marine Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS *SHORT CIRCUIT* DAN PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK AC MENJADI DC SUMBER LISTRIK HYBRID GENERATOR DIESEL DAN *PHOTOVOLTAIC* PADA KAPAL TANKER

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Arialdi Almonda**  
NRP. 0421184000007

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Eng.Adi Kurniawan, S.T.,M.T.

Pembimbing



2. Dr.Ir.Sardono Sarwito, M.Sc

Ko-pembimbing



3. Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng., D. Eng.

Penguji



4. Juniarko Prananda, S.T., M.T

Penguji



SURABAYA  
Juli, 2022

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Arialdi Almonda / 0421184000007  
Program studi : S-1 Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr.Eng.Adi Kurniawan, S.T.,M.T.

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisa *Short Circuit* dan Pengaturan Koordinasi Proteksi Akibat Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC Sumber Listrik *Hybrid* Diesel Generator dan *Photovoltaic* Pada Kapal *Tanker*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah. Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing I



Dr.Eng.Adi Kurniawan, S.T.,M.T.  
NIP. 198904292014041001

Surabaya, 18 Juli 2022

Mahasiswa



Arialdi Almonda  
NRP. 0421184000007


## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Arialdi Almonda / 0421184000007  
Program studi : S-1 Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Sardono Sarwito.,M.Sc.


dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisa *Short Circuit* dan Pengaturan Koordinasi Proteksi Akibat Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC Sumber Listrik *Hybrid Diesel Generator* dan *Photovoltaic* Pada Kapal *Tanker*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah. Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing 2

  
Dr. Ir. Sardono Sarwito.,M.Sc  
NIP. 196003191987011001

Surabaya, 18 Juli 2022

Mahasiswa

  
Arialdi Almonda  
NRP. 0421184000007

## PENGHARGAAN

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah- Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis, sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis *Short Circuit* dan Pengaturan Koordinasi Proteksi Akibat Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC Sumber Listrik *Hybrid* Diesel Generator dan *Photovoltaic* pada Kapal *Tanker*. Penulisan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam pengerjaan tugas akhir ini banyak hal dan rintangan yang dihadapi penulis, namun dengan adanya dukungan serta bantuan dari berbagai pihak semua tantangan dapat dilewati. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Ir.Agoes Achmad Masroeri, M,Eng., D.Eng. selaku dosen wali penulis selama menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Dr. Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing 1 yang selalu membimbing, memberi saran, dan membagi ilmu kepada penulis.
4. Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. sebagai dosen pembimbing 2 yang selalu membimbing, memberi saran, dan memotivasi penulis.
5. Alfian dan Mondang Ellys Sibuea , orang tua yang senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
6. Fatina Khairunnisa, yang selalu memberikan support baik secara langsung.
7. Kedua kakak penulis Nurul Aini dan Nia yang selalu berbagi pengalaman dan motivasi.
8. Adik penulis Karina Octaviany Almonda yang senantiasa memberikan doa dan semangat.
8. Edo Fernando Putra, Enrico Chiesa Siregar, Irfan Nur Rochim dan Meynanda Setiadi sebagai rekan kerja selama penelitian tugas akhir.
9. Kepada teman-teman keluarga besar Laboratorium Listrik Kapal dan Otomatisasi.
10. Seluruh teman-teman Cakrawala'18.

Demikian ucapan terima kasih yang penulis dapat sampaikan. Dengan segala kemampuan penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis mengucapkan mohon maaf apabila terdapat kekurangan serta harapan penulis tugas akhir ini dapat menjadi pembelajaran yang bermanfaat di kemudian hari.

Surabaya, 20 Juli 2022

Penulis

## ABSTRAK

### ANALISA *SHORT CIRCUIT* DAN KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK DARI AC MENJADI DC SUMBER LISTRIK *HYBRID* DIESEL GENERATOR DAN *PHOTOVOLTAIC* PADA KAPAL TANKER

**Nama Mahasiswa / NRP** : Arialdi Almonda / 0421184000007  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

#### Abstrak

Distribusi utama listrik AC pada kapal memiliki nilai impedansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan listrik DC sehingga memberikan losses distribusi yang lebih besar. Dikarenakan losses yang besar pada sistem distribusi diperlukan keluaran daya yang lebih besar pula untuk menyeimbangkan daya yang diperlukan dan daya yang hilang. Dalam upaya untuk menurunkan nilai impedansi pada distribusi listrik di kapal dilakukan rekonfigurasi sistem distribusi listrik utama dari AC menjadi DC. Perubahan yang dilakukan akan mempengaruhi besaran arus short circuit yang mungkin terjadi. Penambahan *hybrid photovoltaic* sebagai sumber listrik akan menyebabkan perubahan dari nilai short circuit. Short circuit adalah gangguan umum berupa arus berlebih yang sering timbul pada kelistrikan di kapal baik karena faktor internal maupun eksternal. Penelitian ini menggunakan software simulator sistem distribusi listrik untuk melakukan perbandingan besaran arus short circuit yang berkontribusi pada masing-masing jenis distribusi. Hasil simulasi akan dianalisis untuk membandingkan mana yang lebih baik digunakan sebagai distribusi listrik utama antara listrik AC dan DC. Pada penelitian ini diperoleh nilai rata-rata arus short circuit yang terjadi pada kondisi sailing sebelum dilakukan rekonfigurasi adalah sebesar **10,494 kA** sedangkan setelah rekonfigurasi sebesar **1,844 kA**. Kemudian pada kondisi loading/unloading nilai rata-rata arus short circuit sebelum rekonfigurasi sebesar **13,401 kA** dibandingkan dengan setelah rekonfigurasi yaitu **1,686 kA**. Selain itu juga dilakukan analisis pada kondisi leaving/arriving port yang mana didapatkan nilai rata-rata arus short circuit yang terjadi sebesar **12,897 kA** sedangkan setelah rekonfigurasi sebesar **2,003 kA**. Terakhir pada kondisi at port didapatkan nilai rata-rata arus short circuit sebelum rekonfigurasi sebesar **6,090 kA** dan setelah rekonfigurasi sebesar **1,243 kA**. Gangguan arus short circuit yang mungkin terjadi perlu dilakukan pengamanan melalui sebuah koordinasi proteksi menggunakan circuit breaker.

**Kata Kunci:** Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik, *Hybrid Photovoltaic*, *Short Circuit*, Koordinasi Proteksi



## ABSTRACT

### SHORT CIRCUIT ANALYSIS AND PROTECTION COORDINATION SETTING DUE TO RECONFIGURATION OF AC ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEM TO DC HYBRID DIESEL GENERATOR AND PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY SOURCE ON TANKER SHIP

**Student Name / NRP** : Arialdi Almonda / 0421184000007  
**Department** : Marine Engineering FTK-ITS  
**Advisor** : Dr. Eng. Adi Kurniawan, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

#### Abstract

The main distribution of AC power on ships has a higher impedance value than DC electricity, thus providing greater distribution losses. Due to the large losses in the distribution system, a larger power output is required to balance the required power and lost power. In an effort to reduce the impedance value in the electricity distribution on board, the main electricity distribution system was reconfigured from AC to DC. Changes made will affect the amount of short circuit current that may occur. The addition of a photovoltaic hybrid as a power source will cause a change in the value of the short circuit. Short circuit is a common disturbance in the form of excess current that often occurs in the electricity on board, either due to internal or external factors. This research uses electrical distribution system simulator software to compare the amount of short circuit current that contributes to each type of distribution. The simulation results will be analyzed to compare which one is better used as the main power distribution between AC and DC electricity. In this study, the average value of short circuit current that occurs in sailing conditions before reconfiguration is **10,494 kA** while after reconfiguration is **1,844 kA**. Then in loading/unloading conditions, the average value of short circuit current before reconfiguration is **13,401 kA** compared to after reconfiguration, which is **1,686 kA**. In addition, an analysis was also carried out on the condition of the leaving/arriving port which obtained the average value of the short circuit current that occurred was **12.897 kA** while after reconfiguration was **2.003 kA**. Finally, in the at port condition, the average value of short circuit current before reconfiguration is **6.090 kA** and after reconfiguration is **1.243 kA**. Short circuit current disturbances that may occur need to be secured through a protective coordination using a circuit breaker

**Keywords:** Electrical Distribution System Reconfiguration, Hybrid Photovoltaic, Short Circuit, Protection Coordination

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN .....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	18
1.1    Latar Belakang.....	18
1.2    Rumusan Masalah.....	19
1.3    Batasan Masalah .....	19
1.4    Tujuan .....	19
1.5    Manfaat .....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	20
2. 1    Hasil Penelitian Terdahulu.....	20
2. 2    Dasar Teori.....	23
2.2.1    Tanker.....	23
2.2.2    Sistem Kelistrikan pada Kapal Tanker .....	24
2.2.3    Rectifier .....	27
2.2.4    Inverter.....	31
2.2.5    Konfigurasi Sistem Listrik Hybird .....	32
2.2.6    Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit) .....	33
2.2.7    Aturan Short Circuit dan Koordinasi Proteksi.....	36
BAB III METODOLOGI.....	38
3. 1    Metode yang digunakan.....	38
3. 2    Diagram Alur Penelitian .....	38
3. 3    Langkah Penelitian.....	39
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....	42
4. 1    Pendahuluan.....	42
4. 2    Data Utama Kapal .....	42
4. 3    Data Spesifikasi <i>Photovoltaic</i> dan Inverter.....	42
4. 4    Perhitungan Sel <i>Photovoltaic</i> .....	43
4. 5    Pemodelan <i>Single Line Diagram</i> Distribusi AC .....	43

4. 5. 1	Pengaturan Equipment.....	44
4. 5. 2	Pengaturan Kabel.....	46
4. 5. 3	Pengaturan Circuit Breaker.....	47
4. 6	Simulasi Load Flow .....	48
4. 7	Nilai Arus <i>Short Circuit</i> Distribusi AC.....	49
4.7.1	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Sailing.....	51
4.7.2	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Loading/Unloading.....	51
4.7.3	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Leaving/Arriving Port .....	53
4.7.4	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi at Port .....	55
4. 8	Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listik AC Menjadi DC.....	56
4.8.1	Pengaturan Rectifier .....	57
4.8.2	Pemasangan Inverter.....	58
4. 9	Simulasi <i>Load Flow</i> Distribusi DC.....	59
4. 10	Nilai Arus <i>Short Circuit</i> Setelah Rekonfigurasi.....	60
4.10.1	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Sailing Setelah Rekonfigurasi .....	61
4.10.2	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Loading/Unloading Setelah Rekonfigurasi .....	62
4.10.3	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Leaving/Arriving setelah Rekonfigurasi.....	64
4.10.4	Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi at Port Setelah Rekonfigurasi .....	66
<b>4.11</b>	<b>Perbandingan Sebelum dan Setelah Rekonfigurasi.....</b>	<b>67</b>
<b>4.12</b>	<b>Perbandingan Nilai Short Circuit Simulasi dan Perhitungan Manual .....</b>	<b>69</b>
<b>4.13</b>	<b>Pengaturan Koordinasi Proteksi .....</b>	<b>70</b>
4.13.1.	Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 1 .....	70
4.13.2.	Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 2.....	71
4.13.3.	Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 3.....	72
4.13.4.	Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 4.....	72
<b>4.14</b>	<b>Analisis Koordinasi Proteksi.....</b>	<b>73</b>
4.14.1	Analisis Skenario 1 .....	73
4.14.2	Analisis Skenario 2 .....	75
4.14.3	Analisis Skenario 3 .....	77
4.14.4	Analisis Skenario 4.....	79
BAB V	Kesimpulan dan Saran .....	83
5. 1	Gambaran Umum Penelitian.....	83
5. 2	Kesimpulan .....	83
5.2	Saran .....	83
DAFTAR PUSTAKA	.....	84
LAMPIRAN.....	.....	87
BIODATA PENULIS .....	.....	102



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Tanker (flickr.com) .....	24
Gambar 2.2 Kualitas Daya (iopscience.iop.org).....	25
Gambar 2.3 Segitiga Daya (Fauzan dkk., 2017).....	25
Gambar 2.4 Penyearah Gelombang (Skemaku.com).....	28
Gambar 2.5 Penyearah Setengah Gelombang Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id).....	28
Gambar 2.6 Keluaran Penyearah Gelombang Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id).....	28
Gambar 2.7 Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id) .....	29
Gambar 2.8 Keluaran Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id)....	29
Gambar 2.9 Penyearah Setengah Gelombang Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws).....	30
Gambar 2.10 Keluaran Penyearah Setengah Gelombang Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws)	30
Gambar 2.11 Penyearah Gelombang Penuh Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws) .....	30
Gambar 2.12 Keluaran Penyearah Gelombang Penuh Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws)....	30
Gambar 2.13 Rangkaian <i>Inverter</i> Satu Fasa (Ali, 2018) .....	31
Gambar 2.14 Arah Arus dan Bentuk Gelombang (Ali, 2018).....	31
Gambar 2.15 Arah Arus dan Bentuk Gelombang (Ali, 2018).....	31
Gambar 2.16 Rangkaian <i>Inverter</i> Tiga Fasa (Ali, 2018).....	32
Gambar 2.17 Rangkaian Saklar <i>Inverter</i> Tiga Fasa (Ali, 2018).....	32
Gambar 2.18 Konfigurasi Sistem Pembangkit Hybrid (Sumber: Nayar, 1993).....	33
Gambar 2.19 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (ojs.unud.ac.id) .....	34
Gambar 2.20 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Netral (ojs.unud.ac.id).....	34
Gambar 2.21 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa (ojs.unud.ac.id) .....	34
Gambar 2.22 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Netral (ojs.unud.ac.id).....	35
Gambar 2.23 <i>Circuit Breaker</i> (electrical-engineering-portal.com) .....	36
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 4. 1 Panel Surya <i>SunPower</i> .....	43
Gambar 4. 2 Peletakkan Photovoltaic .....	43
Gambar 4. 3 <i>Single Line Diagram</i> Distribusi AC .....	44
Gambar 4. 4 Pengaturan Rating Equipment .....	45
Gambar 4. 5 Pengaturan <i>Demand Factor Equipment</i> .....	45
Gambar 4.6 Pengaturan Library Kabel.....	46
Gambar 4.7 Pengaturan Panjang Kabel.....	46
Gambar 4.8 Pengaturan <i>Circuit Breaker &amp; Trip Device</i> .....	47
Gambar 4.9 Pengaturan <i>Rating Circuit Breaker</i> .....	48
Gambar 4.10 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Sailing</i> (Bus Floor No. 2) .....	51
Gambar 4.11 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> (Bus Floor No. 1).....	52
Gambar 4.12 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> (Bus Floor No. 2).....	53
Gambar 4.13 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> (Bus <i>Upper Deck</i> No. 1).....	54
Gambar 4.14 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> (Bus <i>Upper Deck</i> No. 2).....	55
Gambar 4.15 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>at Port</i> (Bus <i>Air Condition Plant</i> ).....	56
Gambar 4.16 Konversi Listrik AC Menjadi DC Menggunakan <i>Rectifier</i> (1) .....	57
Gambar 4. 17 Pengaturan <i>Rectifier</i> .....	58
Gambar 4.18 Pengaturan <i>Inverter</i> .....	59
Gambar 4.19 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Sailing</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2) .....	62
Gambar 4.20 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus .....	63
Gambar 4.21 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus .....	64
Gambar 4.22 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus .....	65
Gambar 4.23 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus .....	66
Gambar 4.24 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>at Port</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus <i>Air Condition Plant</i> )	67

Gambar 4.25 Report Hasil Simulasi Impedansi Bus <i>Floor No.2</i> .....	69
Gambar 4.26 Urutan Pemutusan Kontak Skenario 1.....	73
Gambar 4.27 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 1 .....	74
Gambar 4.28 Urutan Pemutusan Kontak Skenario 2.....	75
Gambar 4.29 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 2 .....	76
Gambar 4.30 Urutan Pemutusan Kontak Skenario 3.....	77
Gambar 4.31 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 3 .....	78
Gambar 4.32 Urutan Pemutusan Kontak Skenario 4.....	79
Gambar 4. 33 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 4 .....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Voltage Factor</i> (IEC 60909-0).....	36
Tabel 4. 1 <i>Principle Dimension</i> .....	42
Tabel 4.2 <i>Load Flow</i> .....	48
Tabel 4.3 <i>Short Circuit</i> pada Setiap Bus (Sebelum Rekonfigurasi).....	50
Tabel 4.4 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Sailing</i> (Bus Floor No. 2).....	51
Tabel 4.5 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> (Bus Floor No. 1).....	52
Tabel 4.6 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> (Bus Floor No. 2).....	53
Tabel 4.7 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> (Bus Upper Deck No. 1).....	53
Tabel 4.8 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> (Bus Upper Deck No. 2).....	54
Tabel 4.9 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>at Port</i> (Bus Air Condition Plant).....	55
Tabel 4.10 Load Flow Distribusi DC.....	59
Tabel 4.11 <i>Short Circuit</i> pada Setiap Bus (Setelah Rekonfigurasi).....	60
Tabel 4.12 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Sailing</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2).....	61
Tabel 4.13 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 1).....	62
Tabel 4.14 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Loading/Unloading</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2).....	63
Tabel 4.15 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus.....	64
Tabel 4.16 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>Leaving/Arriving Port</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus.....	65
Tabel 4.17 <i>Short Circuit</i> Kondisi <i>at Port</i> Setelah Rekonfigurasi (Bus Air Condition Plant)...	66
Tabel 4.18 <i>Short Circuit</i> pada Bus Utama (Sebelum Rekonfigurasi).....	67
Tabel 4.19 <i>Short Circuit</i> pada Bus Utama (Setelah Rekonfigurasi).....	68
Tabel 4.20 Perubahan <i>Circuit Breaker</i> .....	69
Tabel 4.21 Perhitungan Arus Long Time Pick Up Skenario 1.....	71
Tabel 4.22 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 1.....	71
Tabel 4.23 Perhitungan Arus Long Time Pick Up Skenario 2.....	71
Tabel 4. 24 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 2.....	71
Tabel 4.25 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 2.....	72
Tabel 4.26 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 3.....	72
Tabel 4.27 Perhitungan Arus Long Time Pick Up Skenario 4.....	72
Tabel 4.28 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 4.....	73



Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR SINGKATAN

AC : Alternating Current  
DC : Direct Current  
DCCB : Direct Current Circuit Breaker

## DAFTAR SIMBOL

Z	-	Impedansi
R	-	Resistansi
L	-	Induktansi
C	-	Kapasitansi
S	-	Daya Semu
P	-	Daya Aktif
Q	-	Daya Reaktif
XL	-	Reaktansi Induktif
XC	-	Reaktansi Kapasitif
V	-	Tegangan
I	-	Arus
$\Pi$	-	Phi
F	-	Frekuensi
P	-	Resistivitas
$\ell$	-	Panjang Kabel
A	-	Luas Penampang Kabel

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kapal tanker adalah kapal yang berfungsi untuk membawa muatan cairan, biasanya dipergunakan untuk membawa minyak mentah, minyak olahan atau bahan kimia cair. Pada tahun 2019 komposisi kapal tanker dibandingkan dengan seluruh jenis kapal yang ada di dunia berada pada nilai 28,7% Oil Tanker dan 2,3% Chemical Tanker (Gumilang, 2021). Pada dasarnya semua kapal modern saat ini tidak akan luput dari sistem kelistrikan tak terkecuali kapal tanker. Kelistrikan merupakan salah satu sistem yang penting yang harus ada pada kapal modern.

Kemajuan teknologi yang semakin maju sudah cukup banyak kendaraan – kendaraan yang menggunakan teknologi hybrid yang ramah lingkungan. Sistem hybrid merupakan penggabungan beberapa sumber energi berbeda. Untuk Indonesia sendiri penggunaan sistem hybrid dengan menggabungkan sel surya (Photovoltaic) dan juga diesel generator adalah salah satu opsi terbaik dikarenakan Indonesia yang berada di wilayah Tropis lebih tepatnya di Garis Khatulistiwa selalu disinari 10-12 jam dalam sehari. Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 4,5 kWh per meter persegi per hari, dan Indonesia bisa dibilang kaya akan sumber energi matahari karena memiliki potensi sinar matahari sebesar 2000 jam per tahun. (Putri.D.P, 2016, Kementrian ESDM, 2010).

Pada umumnya kapal di supply Generator Listrik yang menghasilkan Listrik AC. Penggunaan Distribusi Listrik AC pada kapal memiliki sisi positif dan negatif, sisi positifnya yaitu dapat disalurkan secara langsung pada peralatan-peralatan yang sebagian besar merupakan beban AC, sedangkan sisi negatifnya yaitu listrik AC memiliki nilai impedansi ( $Z$ ) yang lebih tinggi dibandingkan dengan listrik DC. Hal ini diakibatkan karena listrik AC tidak hanya terdapat nilai resistansi ( $R$ ) namun juga nilai reaktansi yang bergantung pada besarnya induktansi ( $L$ ), kapasitansi ( $C$ ), dan frekuensi ( $f$ ) (Rochman, 2012).

Dalam upaya untuk mengurangi besaran nilai impedansi yang ada maka dilakukanlah rekonfigurasi sistem distribusi listrik dari AC menjadi DC pada kapal tanker. Dengan menggunakan sistem DC besaran impedansi pada kelistrikan akan menurun karena hanya ada nilai resistansi ( $R$ ), akibatnya nilai tegangan jatuh dan rugi daya akan semakin kecil. Perubahan yang dilakukan akan mempengaruhi besaran arus short circuit yang mungkin terjadi. Sedangkan apabila kita menambahkan Photovoltaic berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Khan U.S., 2018) penambahan Solar Photovoltaic pada sistem listrik yang sudah ada maka akan terjadi peningkatan short circuit.

Short circuit merupakan gangguan yang sering timbul pada kelistrikan di kapal. Menurut IEC 60909 short circuit adalah sebuah gangguan berupa arus berlebih yang terjadi akibat adanya jalur konduktif yang tidak disengaja atau disengaja antara dua atau lebih bagian konduktif yang memaksa perbedaan potensial listrik antara bagian konduktif ini menjadi sama atau mendekati nol. Semakin dekat dengan sumber pembangkit atau generator maka arus short circuit semakin besar hal ini dikarenakan di dekat generator masih memiliki sedikit percabangan arus (Saputra, 2016). Akibat perubahan besaran short circuit pada sistem kelistrikan ini diperlukan pengaturan ulang koordinasi proteksi. Penggunaan proteksi pada distribusi listrik di kapal ditujukan untuk mengurangi potensi terjadinya kerusakan akibat gangguan short circuit. Pengaturan koordinasi proteksi yang dipakai disesuaikan dengan besaran arus yang ada agar mampu bekerja saat terjadinya short circuit sehingga tidak merusak peralatan-peralatan yang ada di kapal.

Untuk mempertimbangkan terjadinya arus short circuit di kapal tanker akibat rekonfigurasi sistem distribusi listrik AC menjadi DC sumber energi hybrid generator dan

photovoltaic, perlu adanya analisa berbasis simulasi agar dapat diketahui besaran arus short circuit serta dapat ditentukan proteksi yang harus digunakan. Dengan dilakukannya analisa berbasis simulasi ini maka diharapkan sistem kelistrikan di kapal tanker hybrid generator dan photovoltaic tetap aman meskipun sistem distribusi kelistrikannya diubah dari AC menjadi DC.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Berapa besarnya arus short circuit sistem distribusi listrik AC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic?
2. Berapa besarnya arus short circuit akibat rekonfigurasi sistem distribusi listrik AC menjadi DC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic?
3. Bagaimana perubahan sistem proteksi untuk pengaman sistem kelistrikan terhadap terjadinya gangguan short circuit akibat rekonfigurasi sistem distribusi listrik AC menjadi DC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Objek analisis menggunakan kelistrikan pada kapal tanker 17500 DWT.
2. Analisis hanya fokus kepada short circuit dan koordinasi proteksi.
3. Metode yang dilakukan adalah simulasi menggunakan perangkat lunak.
4. Tanpa melakukan perhitungan analisis ekonomi.

### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya arus short circuit sistem distribusi listrik dari AC menjadi DC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic.
2. Mengetahui besarnya arus short circuit akibat rekonfigurasi sistem distribusi listrik AC menjadi DC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic.
3. Mengetahui perubahan sistem proteksi untuk pengaman sistem kelistrikan terhadap terjadinya gangguan short circuit akibat rekonfigurasi sistem distribusi listrik AC menjadi DC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut

1. Sebagai perbandingan besarnya arus short circuit antara distribusi listrik AC dengan DC pada kapal tanker yang memiliki sumber listrik hybrid generator dan photovoltaic.
2. Dapat dijadikan dasar penentuan koordinasi proteksi yang harus digunakan setelah melakukan rekonfigurasi sistem distribusi listrik dari AC menjadi DC yang memiliki sumber listrik hybrid generator diesel dan photovoltaic.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Hasil Penelitian Terdahulu**

Berikut merupakan beberapa data penelitian atau studi terdahulu yang telah dilakukan serta dinilai serupa dan dapat menjadi pendukung dalam penelitian ini.

Perencanaan Sumber Listrik Hybrid

**1. JUDUL: Perencanaan Sumber Listrik Hybrid Generator dan PV pada Kapal Tanker**

Penulis Dhear Prima Putri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan (2016)

Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa salah satu solusi untuk untuk mencapai target kapal ecoship dan memenuhi aturan IMO TIER III yaitu dengan perencanaan system hybrid (Sel Surya dan Diesel Generator) dimana dalam penelitian dijelaskan bahwasannya pada kapal Tanker MT. Gunung Geulis bisa diletakkan 57 panel surya pada wingdeck dan 350 panel surya pada cargo area dengan jumlah total panen sebesar 882,021 kwh/hari dimana bisa menyuplai beban penerangan dan beban lainnya. Penghematan yang didapatkan bisa mencapai 15,5 % per tahun dan BEP yang dibutuhkan adalah 3,69 tahun. Perencanaan yang cukup prospektif tetapi belum ada kajian teknis

**2. JUDUL: Analisa Gangguan Short Circuit dan Pengaturan Koordinasi Proteksi pada Container Crane Disuplai Dengan Energi Terbarukan Berbasis Simulasi**

Penulis Sastri Ade Priyanga, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan (2020)

Dalam studi tersebut dilakukan penambahan PV pada Container Crane yang ada di Pelabuhan. Studi menggunakan basis simulasi ETAP dan menggunakan lima kondisi taitu motor hoist beroperasi, motor boom beroperasi, motor trolley beroperasi, motor gantry beroperasi dan motor hoist dan trolley beroperasi bersamaan.

Penggunaan Distribusi Listrik DC

**1. JUDUL: Analisis Short Circuit dan Pengaturan Koordinasi Proteksi Akibat Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC Pada Kapal Tanker Berbasis Simulasi**

Penulis: Ahlur Roi Novanto Gumilang, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan (2021)

Dalam studi tersebut dijelaskan bahwasannya short circuit merupakan salah satu masalah kelistrikan yang sering muncul dalam sistem kelistrikan. Penelitian ini menjadi pijakan saya dalam membuat rekonfigurasi sistem distribusi AC menjadi DC dimana jika rekonfigurasi dilakukan akan memeberikan nilai losses yang lebih rendah dikarenakan nilai impedansi yang lebih rendah. Pada penelitian ini juga menjelaskan bahwasannya terdapat penurunan nilai rata-rata short circuit yang sangat signifikan baik dalam kondisi loading/unloading , leaving/arriving port maupun at port. Sehingga dengan perbedaan nilai short circuit yang sangat jauh maka diperlukan pengaturan koordinasi proteksi dengan circuit breaker.

**2. JUDUL: Advantages of Using a DC Power System On Board Ship**

Penulis: Rene Prenc, Aleksandar Cuculić, dan Ivan Baumgartner, University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies (2016)

Secara umum dalam penelitian tersebut menjelaskan terkait perubahan atau rekonfigurasi dari distribusi listrik AC ke DC. Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa untuk proses rekonfigurasi AC ke DC terdapat tiga cara yaitu:

- AC IFEP - Meletakkan rectifier dan inverter tepat sebelum beban.
- Multidrive - Meletakkan rectifier dan inverter di satu lokasi yang sama pada bus DC.
- Distributed - Meletakkan rectifier tepat setelah generator dan inverter tepat sebelum beban.

Dalam konversi tegangan/arus AC ke DC menggunakan rectifier, maka aliran daya reaktif dapat diabaikan. Artinya bahwa kabel yang menghubungkan dari kumparan stator generator ke rectifier tidak akan mengandung daya reaktif. Karena tidak memiliki daya reaktif maka nilai faktor daya operasi generator sebesar satu ( $\cos \phi = 1$ ). Tetapi berbeda dengan kabel antara inverter dan beban AC terutama motor listrik, karena akan memiliki baik aliran daya aktif maupun daya reaktif, karena semua motor memerlukan medan magnet untuk transformasi listrik menjadi energi mekanik.

### 3. **JUDUL: Discrimination in Offshore and Marine DC Distribution Systems**

Penulis: Haugan, E., Rygg, H., Skjellnes, A., dan Barstad, L., IEEE (2016)

Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa baik pada distribusi AC ataupun DC masing-masing memiliki pro dan kontra. Salah satu keuntungan utama dengan distribusi AC adalah pemutusan arus mekanis karena penyilangan arus dan tegangan nol. Dalam sistem distribusi DC, pemutus mekanis standar tidak dapat digunakan untuk memutus arus beban. Namun, ketika beban terutama adalah inverter sumber DC, kebutuhan proteksi untuk pemutus arus dikurangi. Karena inverter memiliki perlindungan beban berlebih dan perlindungan short circuit, hanya perlindungan short circuit yang diperlukan. Perlindungan ini terutama diatur dengan fuse. Fungsi pemisah mekanis untuk DC terbatas pada isolator yang dioperasikan tanpa arus.

### 4. **JUDUL: Advantages of Using a DC Power System On Board Ship**

Penulis: Rene Prenc, Aleksandar Cuculić, dan Ivan Baumgartner, University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies (2016)

Secara umum dalam penelitian tersebut menjelaskan terkait perubahan atau rekonfigurasi dari distribusi listrik AC ke DC. Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa untuk proses rekonfigurasi AC ke DC terdapat tiga cara yaitu:

- AC IFEP - Meletakkan rectifier dan inverter tepat sebelum beban
- Multidrive - Meletakkan rectifier dan inverter di satu lokasi yang sama pada bus DC
- Distributed - Meletakkan rectifier tepat setelah generator dan inverter tepat sebelum beban

Dalam konversi tegangan/arus AC ke DC menggunakan rectifier, maka aliran daya reaktif dapat diabaikan. Artinya bahwa kabel yang menghubungkan dari kumparan stator generator ke rectifier tidak akan mengandung daya reaktif. Karena tidak memiliki daya reaktif maka nilai faktor daya operasi generator sebesar satu ( $\cos \phi = 1$ ). Tetapi berbeda dengan kabel antara inverter dan beban AC terutama motor listrik, karena akan memiliki baik aliran daya aktif maupun daya reaktif, karena semua motor memerlukan medan magnet untuk transformasi listrik menjadi energi mekanik.

### 5. **JUDUL : Discrimination in Offshore and Marine DC Distribution Systems**

Penulis: Haugan, E., Rygg, H., Skjellnes, A., dan Barstad, L. , IEEE (2016)



Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa baik pada distribusi AC ataupun DC masing-masing memiliki pro dan kontra. Salah satu keuntungan utama dengan distribusi AC adalah pemutusan arus mekanis karena penyilangan arus dan tegangan nol. Dalam sistem distribusi DC, pemutus mekanis standar tidak dapat digunakan untuk memutus arus beban. Namun, ketika beban terutama adalah inverter sumber DC, kebutuhan proteksi untuk pemutus arus dikurangi. Karena inverter memiliki perlindungan beban berlebih dan perlindungan short circuit, hanya perlindungan short circuit yang diperlukan. Perlindungan ini terutama diatur dengan fuse. Fungsi pemisah mekanis untuk DC terbatas pada isolator yang dioperasikan tanpa arus.

Pengaturan Sistem Proteksi Arus Lebih

**1. JUDUL: Perancangan Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Sistem Kelistrikan di Perencanaan Kapal Tanker Menggunakan Trip Device Electro Mechanical**

Penulis Riantini Karmina, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan, (2018)

Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa besarnya arus hubung singkat dapat dipengaruhi oleh beberapa sebab yaitu besarnya daya dari tiap peralatan dan frekuensi banyaknya peralatan yang digunakan di empat kondisi operasi kapal. Nilai arus hubung singkat terbesar terjadi pada saat kondisi bongkar muat sedangkan nilai terkecil pada saat manouvering. Pada pengaturan koordinasi proteksi arus hubung singkat di awal perlu dilakukan analisis load flow untuk menentukan nilai rating arus pada tiap circuit breaker. Setelah melakukan pengaturan circuit breaker selanjutnya perlu dianalisis apakah circuit breaker mampu memproteksi peralatan berdasarkan kurva arus waktu. Ketika terjadi gangguan urutan pemutusan arus akan dilakukan oleh circuit breaker yang terdekat dengan daerah gangguan untuk menghindari arus lebih masuk menuju peralatan, kemudian dilanjutkan dengan circuit breaker yang menghubungkan antara daerah gangguan dengan generator karena merupakan penghubung antara daerah gangguan dengan daerah normal, dan terakhir circuit breaker pada generator yang berpotensi memberikan arus hubung singkat terbesar pada daerah gangguan.

**2. JUDUL: Pengaturan Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan di Kapal Tanker dengan Simulasi**

Penulis Shanti Window Siana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan (2018)

Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa salah satu gangguan pada sistem kelistrikan yang sering muncul adalah gangguan arus short circuit dan beban berlebih. Gangguan tersebut dapat menimbulkan arus berlebih yang mana berpengaruh besar terhadap keamanan komponen – komponen operasional pada kapal tanker. Oleh karena itu untuk meminimalisir atau menanggulangi terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan kapal tanker perlu adanya sistem koordinasi proteksi. Terdapat berbagai cara untuk melakukan koordinasi proteksi, seperti halnya menggunakan circuit breaker. Salah satu jenis Circuit breaker yaitu solid trip dapat mengamankan arus lebih yang disebabkan oleh beban lebih dan hubung singkat. Pada penelitian ini fokus membahas tentang pengaturan koordinasi proteksi setiap circuit breaker pada komponen yang membutuhkan daya besar dengan arus hubung singkat maksimal. Pemilihan circuit breaker yang langsung melindungi komponen menggunakan instantaneous pick up. Untuk memudahkan pengaturan koordinasi proteksi alangkah baiknya semua generator memiliki tipe dan pengaturan circuit breaker yang sama.

### 3. JUDUL: DC Distribution Fault Analysis, Protection Solutions, and Example Implementations

Penulis: Qi, L., Antoniazzi, A., & Raciti, L., IEEE (2018)

Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa dalam pengaturan proteksi terhadap gangguan kelistrikan pada distribusi DC dapat menggunakan beberapa jenis proteksi. Dalam hal ini telah dilakukan perbandingan antara proteksi berbasis DCCB, berbasis converter, atau hybrid keduanya. Fokus utama dari solusi perlindungan distribusi DC berbasis DCCB dan konverter adalah alat perlindungan yang tepat, pengaturan koordinasi proteksi yang baik, dan kecepatan perlindungan kegagalan terhadap sautu gangguan.

Perlindungan berbasis DCCB dianggap lebih layak daripada perlindungan berbasis konverter, hal terutama karena fleksibilitas penanganan kesalahan, selektivitas, dan keandalannya. DCCB berkecepatan tinggi yang hemat biaya diperlukan untuk gangguan gangguan. Perlindungan berbasis konverter sangat bergantung pada teknologi konverter. Pembatasan arus gangguan konverter memerlukan desain konverter khusus tetapi memungkinkan persyaratan desain yang lebih longgar daripada bypass arus gangguan konverter. Konverter memiliki kelemahan utama dalam perlindungan kegagalan salah satunya yaitu keandalan yang rendah karena hilangnya catu daya di seluruh sistem.

## 2. 2 Dasar Teori

Pada sub bab ini, penulis memaparkan teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dasar teori yang telah dipastikan kebenarannya ditulis sebagai acuan atau pedoman untuk memecahkan masalah penelitian.

### 2.2.1 Tanker

Kapal adalah salah satu jenis alat transportasi yang bergerak di atas air. Secara umum menurut fungsinya kapal dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kapal pengangkut orang dan kapal pengangkut barang (kapal dagang). Kapal niaga digunakan untuk mengangkut barang untuk keperluan logistik baik di dalam maupun luar negeri. Kapal niaga memiliki jenis yang berbeda-beda tergantung dari jenis kargo yang diangkut, mulai dari Bulk Carriers, Container, Liquid Carriers (Oil Tanker) dan lain sebagainya.

Menurut (E.C. Tupper, 2013:386) kapal tanker adalah kapal yang mengangkut muatan cairan. Dimana jika diklasifikasikan berdasarkan muatan cairan tanker terdiri dari beberapa jenis seperti minyak mentah (*Crude Oil Carriers*), minyak proses (*Product Oil Tanker*), Gas (Gas Tanker) dan bahan kimia (*Chemical Carriers*). Kapal Tanker juga bisa diklasifikasikan berdasarkan ukuran kapal yaitu Very Large Crude Carrier (VLCC) dengan kapasitas 200.000 – 300.000 DWT dan Ultra Large Crude Carrier (VLCC) adalah kapal dengan kapasitas 300.000 DWT dan lebih. Pada beberapa class biasanya mengkhususkan satu atau dua bab membahas kapal tanker dikarenakan kapal tanker yang memiliki kewajiban untuk memiliki double hull, slope tank dan juga harus memiliki support pompa yang bisa mensupport muatan untuk unloading.

Penggunaan kapal tanker sangat penting untuk menjaga keseimbangan kebutuhan minyak di belahan dunia dari negara penghasil minyak ke negara pengimpor minyak. Menurut penelitian (Baldi,2014) dijelaskan bahwasannya konsumsi energi pada Auxiliary Engine berada di 14% dari total kebutuhan daya, dimana nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kapal yang lain. Sehingga bisa dibilang kapal tanker adalah kapal yang sangat baik jika kita jadikan sebagai objek penelitian.



Gambar 2.1 Kapal Tanker (flickr.com)

### 2.2.2 Sistem Kelistrikan pada Kapal Tanker

Kapal bisa dianalogikan seperti rumah atau bangunan di atas laut. Untuk beroperasi kapal didukung oleh berbagai sistem. Sistem kapal bervariasi, termasuk sistem bahan bakar (fuel system), sistem pelumasan (lubricating oil system), sistem pendingin (cooling system), sistem pengaturan udara (HVAC), sistem sanitasi (sanitation system), sistem ballast (ballast system), air sistem kolektor (sistem pengumpul air), sistem pemadam kebakaran (fire dispensing system) dan sistem kelistrikan (electrical system).

Sistem kelistrikan adalah sistem yang sangat penting yang sangat penting yang harus ada pada sebuah kapal kelistrikan. Sistem kelistrikan kapal merupakan kunci untuk menjalankan sistem lain, karena komponen atau alat yang digunakan membutuhkan listrik untuk beroperasi. Tanpa adanya sistem kelistrikan, tentunya sistem yang lain tidak akan dapat digunakan dengan baik. Sejak tahun 1960, listrik arus bolak-balik (AC) telah menjadi sistem kelistrikan mutakhir untuk kapal dan kegiatan lepas pantai (Haugan et al, 2016). Pada umumnya listrik arus bolak-balik dibangkitkan oleh generator listrik yang digerakkan oleh mesin diesel. Generator ini akan menghasilkan keluaran AC tiga fasa yang akan disuplai ke beban kapal.

#### 2.2.2.1 Distribusi Listrik Arus Bolak-balik (Alternating Current)

*Alternating Current* (AC) atau yang biasa disebut listrik arus bolak-balik merupakan sebuah penemuan oleh ilmuwan terkenal yaitu Nikola Tesla di tahun 1893. Seperti namanya listrik jenis ini memiliki besaran dan arus yang berubah-ubah secara bolak-balik membentuk sebuah gelombang sinusoida. Pada umumnya listrik AC diperoleh dari induksi elektromagnetik yang dihasilkan oleh generator.

Distribusi arus bolak-balik telah umum digunakan pada kapal. Kebutuhan listrik arus bolak-balik pada kapal dihasilkan dari generator listrik dengan jenis frekuensi baik 50 atau 60 Hz dengan variasi tegangan rendah, menengah, sampai tinggi. Sumber tenaga utama adalah mesin diesel atau turbin yang biasanya dihubungkan ke poros generator AC (Haugan et al, 2016). Listrik yang dihasilkan oleh generator disalurkan pada beban-beban AC. Untuk beban DC dengan distribusi dilengkapi dengan sebuah converter untuk mengubah arus dari AC ke DC.

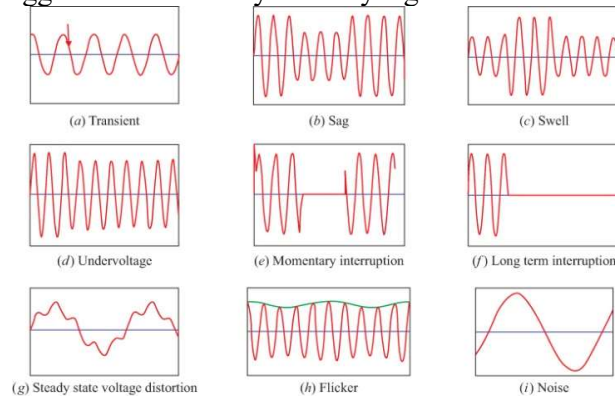
Penggunaan distribusi listrik arus bolak-balik memiliki beberapa keunggulan antara lain adalah:

1. Distribusi bisa langsung disalurkan ke alat-alat di kapal karena sebagian besar merupakan beban AC
2. Proses menaikkan dan menurunkan tegangan jauh lebih mudah dengan menggunakan transformator (Hammerstrom, 2007).

3. Sistem proteksi *circuit* pada listrik AC lebih berkembang serta diuntungkan karena skema periodik tegangan nol pada arus bolak-balik (Hammerstrom, 2007).

Selain memiliki keunggulan, pada distribusi listrik arus bolak-balik juga memiliki kelemahan antara lain adalah:

1. Karena terdapat frekuensi maka nilai impedansi pada listrik AC akan lebih besar karena tidak hanya bergantung pada resistansi namun juga reaktansi.
2. Terdapat suatu kondisi bernama voltage swell dan voltage sag yang dapat mempengaruhi kualitas daya pada sistem distribusi listrik AC. Voltage swell yaitu kondisi saat nilai tegangan meningkat di atas tegangan nominal sedangkan voltage sag adalah sebaliknya yaitu nilai tegangan menurun di bawah tegangan nominal (Rochman, 2012).
3. Karena pada listrik arus bolak-balik terdapat daya reaktif maka nilai faktor daya akan kurang dari satu sehingga tidak semua daya semu yang akan diubah menjadi daya aktif.



Gambar 2.2 Kualitas Daya (iopscience.iop.org)

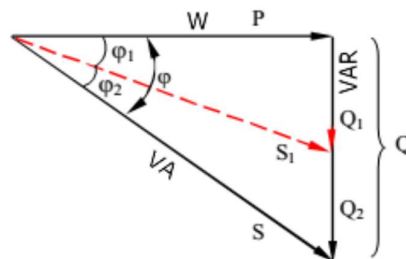
#### 2.2.2.2 Distribusi Listrik Arus Searah (Direct Current)

*Direct Current* (DC) atau yang biasa disebut listrik arus searah merupakan sistem distribusi listrik yang pertama kali ditemukan oleh Thomas Alva Edison pada tahun 1882. Seperti namanya distribusi listrik jenis ini memiliki tegangan dan arus searah yang jika digambarkan berbentuk gelombang lurus tanpa ada naik turun.

Distribusi listrik arus searah pada kapal tidak terlalu banyak digunakan, hanya pada alat-alat yang merupakan beban DC. Listrik arus searah di kapal dihasilkan oleh baterai dengan tegangan 12 atau 24V.

Sistem distribusi listrik searah memiliki beberapa keunggulan antara lain adalah:

1. Tidak terdapat nilai frekuensi sehingga besarnya impedansi hanya akan bergantung pada resistansi.
2. Karena tidak adanya daya reaktif maka sudut faktor daya akan bernilai 0 sehingga besarnya faktor daya sama dengan 1. Dengan begitu daya semu seluruhnya akan menjadi daya aktif (Rochman, 2012).



Gambar 2.3 Segitiga Daya (Fauzan dkk., 2017)

Perhitungan dan hubungan antara ketiga jenis daya sebagai berikut:

Daya Semu:

$$S (VA) = V \cdot I \quad (2.1)$$

Daya Aktif :

$$P (W) = S \cdot \cos \varphi \quad (2.2)$$

Daya Reaktif :

$$Q (VAR) = S \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

Faktor Daya :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.4)$$

3. Karena frekuensi DC sebesar 0 Hz maka distribusi kabel DC tidak akan mengalami masalah ketidaksama-rataan arus yang mengalir (*skin effect*) seperti pada distribusi AC (Prenc et al, 2016).

4. Arus listrik DC dapat diisi ulang dan dapat disimpan dalam waktu yang lama.

Selain memiliki keunggulan distribusi listrik arus searah juga tentu saja memiliki kelemahan antara lain adalah:

1. Pemutusan listrik arus searah lebih sulit dilakukan karena tidak adanya perpotongan titik nol (*zero crossing*) pada gelombang DC.
2. Konversi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan pada listrik DC lebih sulit dilakukan dibandingkan pada listrik AC (Rochman, 2012).
3. Sistem proteksi circuit pada listrik DC lebih tertinggal jika dibandingkan dengan listrik AC.

### 2.2.2.3 Impedansi

Impedansi adalah ukuran besarnya hambatan listrik pada listrik arus bolak-balik (AC). Hambatan listrik ini digambarkan sebagai hambatan yang menolak aliran arus listrik pada sebuah rangkaian. Besarnya nilai impedansi dipengaruhi oleh dua hal yaitu resistansi dan reaktansi sesuai dengan persamaan berikut:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.5)$$

Dimana:

Z= impedansi (Ohm)

R= resistansi (Ohm)

X<sub>L</sub>= reaktansi induktif (Ohm)

X<sub>C</sub>= reaktansi kapasitif (Ohm)

#### 1. Resistansi

Resistansi atau dalam Bahasa Inggris *resistance* disusun dari dua kata yaitu *resist* dan *ance*. *Resist* artinya menolak dan *ance* berarti aksi atau proses. Sederhananya resistansi adalah suatu proses penolakan yang berkebalikan terhadap suatu hal atau sistem yang bekerja. Pada sistem kelistrikan resistansi adalah besaran hambatan yang mencegah aliran arus listrik. Arus listrik merupakan muatan listrik yang mengalir pada suatu rangkaian listrik dalam tiap satuan waktu karena adanya pergerakan elektron-elektron pada konduktor sedangkan resistansi adalah penghambat aliran elektron tersebut. Resistansi dalam rangkaian listrik dilambangkan dengan (R) yang mana memiliki satuan ohm ( $\Omega$ ).

Berbeda dengan impedansi yang mana jumlah hambatan listrik akan berubah seiring dengan perubahan frekuensi sinyal sedangkan pada resistansi frekuensi yang ada tidak akan mempengaruhi nilai dari resistansi. Dalam hukum Ohm dijelaskan tentang hubungan antara tegangan, arus listrik, dan resistansi. Hubungan tersebut dapat digambarkan dalam persamaan berikut:

$$V = I \times R \text{ (2.6)}$$

Dimana:

V = tegangan listrik (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

R = resistansi (Ohm)

Pada suatu rangkaian listrik besarnya nilai resistansi akan bergantung pada beberapa hal sesuai dengan persamaan berikut:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \text{ (2.7)}$$

Dimana:

R = resistansi (Ohm)

$\rho$  = resistivitas (Ohm m)

$\ell$  = panjang kabel atau penghantar (m)

A = luas penampang kabel atau penghantar (m<sup>2</sup>)

## 2. Reaktansi

### a. Reaktansi Induktif

Reaktansi induktif atau *inductive reactance* adalah hambatan atau tahanan listrik induktor pada saat digunakan dalam rangkaian AC. Pada suatu rangkaian listrik besarnya nilai reaktansi induktif akan bergantung pada frekuensi dan induktansi sesuai dengan persamaan berikut:

$$X_L = 2\pi fL \text{ (2.8)}$$

Dimana:

$X_L$  = reaktansi induktif (Ohm)

$\pi = 3,142$

f = frekuensi (Hz)

L = induktansi (H)

### b. Reaktansi Kapasitif

Reaktansi kapasitif atau *capacitive reactance* adalah hambatan atau tahanan listrik kapasitor pada saat digunakan dalam rangkaian AC. Pada suatu rangkaian listrik besarnya nilai reaktansi kapasitif akan bergantung pada frekuensi dan kapasitansi sesuai dengan persamaan berikut:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \text{ (2.9)}$$

Dimana:

$X_C$  = reaktansi kapasitif (Ohm)

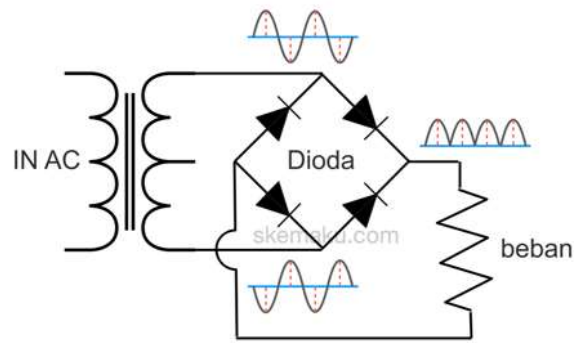
$\pi = 3,142$

f = frekuensi (Hz)

C = kapasitansi (Farad)

### 2.2.3 Rectifier

*Rectifier* atau yang sering disebut penyearah gelombang adalah sebuah komponen yang memiliki fungsi untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah (Nasional, 2003). Dalam hal ini jika dilihat pada gelombang listrik bolak-balik (AC) berbentuk gelombang sinusoida yang memiliki nilai puncak positif dan negatif memotong titik nol. Rectifier akan mengubah bentuk gelombang ini hanya pada nilai positif yang searah tanpa memotong titik nol. Umumnya komponen utama yang digunakan pada rectifier adalah dioda. Dioda adalah sebuah komponen elektronika dengan susunan konstruksi berupa dua elektroda yaitu anoda yang bernilai positif dan katoda yang bernilai negatif.



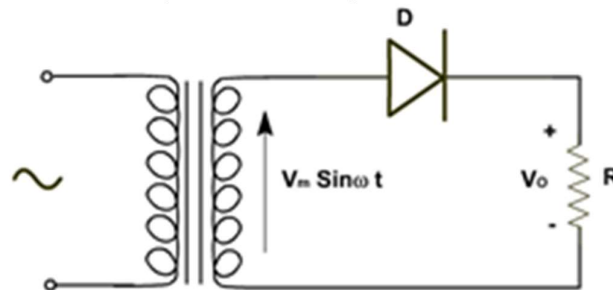
Gambar 2.4 Penyearah Gelombang (Skemaku.com)

*Rectifier* berdasarkan jumlah fasanya diklasifikasikan menjadi dua jenis antara lain adalah:

### 2.2.3.1 Rectifier Satu Fasa

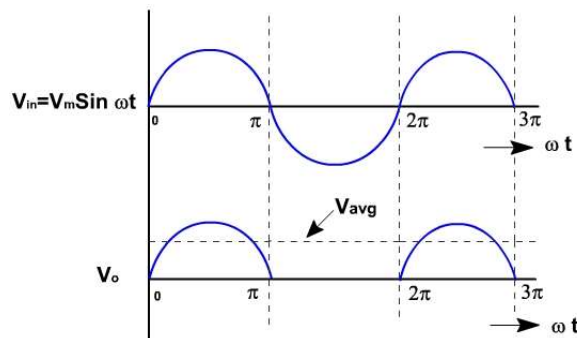
#### 1. Rectifier Setengah Gelombang

*Rectifier* setengah gelombang satu fasa adalah penyearah gelombang dengan struktur sangat sederhana dengan dilengkapi hanya satu dioda. Prinsip kerja penyearah jenis ini adalah ketika sinyal input berupa siklus positif maka dioda mendapat bias maju sehingga arus dapat diteruskan, namun saat sinyal negatif maka dioda mendapat bias mundur sehingga lajur arus akan dihambat (Nasional, 2003).



Gambar 2.5 Penyearah Setengah Gelombang Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id)

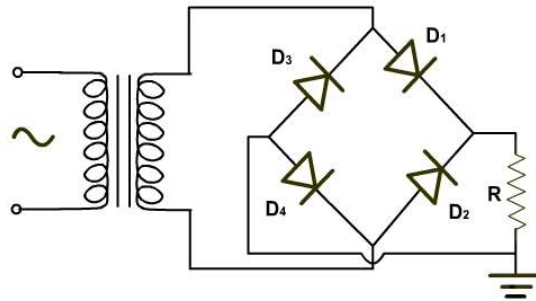
Karena sinyal negatif yang diblok tidak diteruskan maka bentuk gelombang selanjutnya hanya akan bernilai positif dan nilai sinyal negative yang tidak diteruskan tadi akan bernilai nol seperti pada gambar 2.7



Gambar 2.6 Keluaran Penyearah Gelombang Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id)

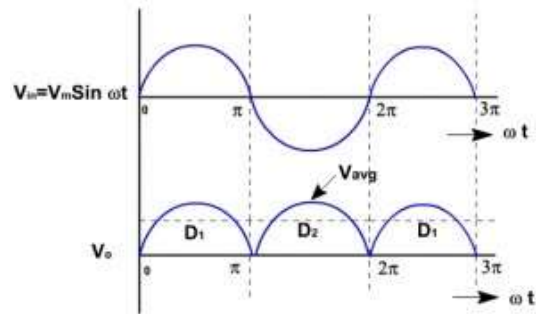
#### 2. Rectifier Gelombang Penuh

*Rectifier* gelombang penuh satu fasa adalah penyearah gelombang yang memiliki fungsi sama seperti halnya *rectifier* setengah gelombang yaitu untuk mengubah atau menyearahkan gelombang dari listrik arus bolak-balik (AC) ke listrik arus searah (DC). Terdapat perbedaan antara *rectifier* gelombang penuh dengan *rectifier* setengah gelombang yaitu penggunaan dioda lebih dari satu.



Gambar 2.7 Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id)

Prinsip kerja penyearah gelombang penuh adalah ketika sinyal positif maka dioda 2 dan dioda 3 akan off sehingga arus dilewatkan pada dioda 1 dan dioda 4, sedangkan ketika sinyal negatif maka dioda 1 dan dioda 4 akan off kemudian arus dilewatkan pada dioda 2 dan dioda 3 (Nasional, 2003). Dengan begini gelombang pada puncak negatif tidak hanya diblok menjadi bernilai nol namun juga akan sepenuhnya diubah menjadi searah bernilai positif.



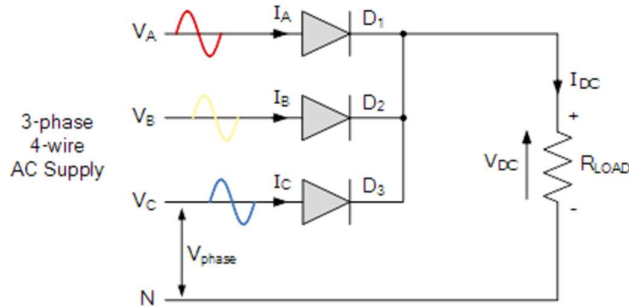
Gambar 2.8 Keluaran Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa (elektronika-dasar.web.id)

### 2.2.3.2 Rectifier Tiga Fasa

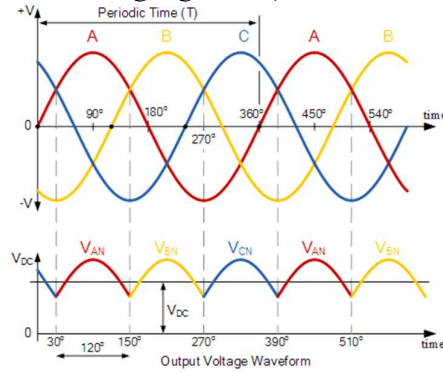
#### 1. Rectifier Setengah Gelombang

*Rectifier* setengah gelombang tiga fasa adalah sebuah penyearah dari AC ke DC dengan masukan listrik tiga fasa. Pada *rectifier* ini disusun oleh tiga dioda. Anoda dari setiap dioda dihubungkan ke masing-masing satu fasa dari supply tegangan, sedangkan katoda dari ketiga dioda dihubungkan bersama ke suatu titik positif yang sama. Titik bersama inilah yang menjadi terminal positif untuk beban sedangkan terminal negatif dari beban dihubungkan ke netral dari supply.





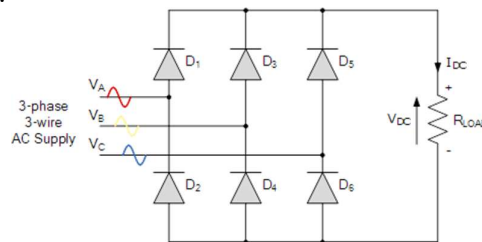
Gambar 2.9 Penyearah Setengah Gelombang Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws)



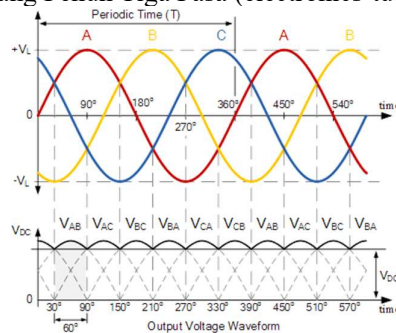
Gambar 2.10 Keluaran Penyearah Setengah Gelombang Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws)

## 2. Rectifier Gelombang Penuh

*Rectifier* gelombang penuh tiga fasa adalah sebuah penyearah dari AC ke DC dengan masukan listrik tiga fasa. Pada rectifier ini disusun oleh enam dioda. Anoda pada D1, D3, dan D5 akan disambungkan dengan masing-masing fasa dari supply tegangan. Sedangkan katoda dari ketiga dioda tersebut dihubungkan bersama ke suatu titik yaitu terminal positif dari beban. Untuk Anoda pada D2, D4, dan D6 akan dihubungkan dengan terminal negatif dari beban.



Gambar 2.11 Penyearah Gelombang Penuh Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws)



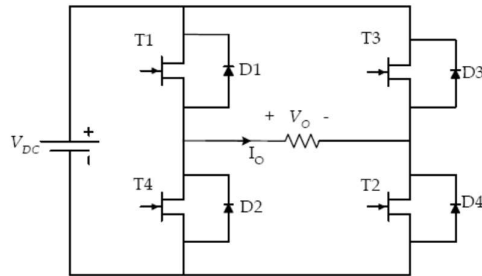
Gambar 2.12 Keluaran Penyearah Gelombang Penuh Tiga Fasa (electronics-tutorials.ws)

## 2.2.4 Inverter

*Inverter* adalah sebuah komponen yang memiliki fungsi berkebalikan dengan *rectifier* yaitu untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) (Nasional, 2003). Dalam hal ini jika dilihat pada gelombang listrik arus searah (DC) berbentuk gelombang searah yang bernilai positif. *Inverter* akan mengubah bentuk gelombang ini menjadi gelombang sinusoida. *Inverter* diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *inverter* satu fasa dan tiga fasa.

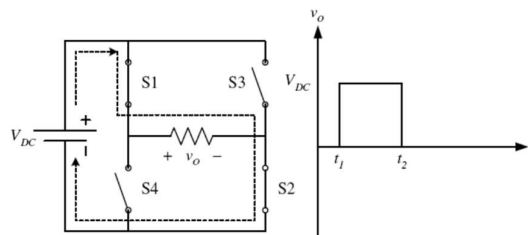
### 2.2.4.1 Inverter Satu Fasa

Pada inverter satu fasa rangkaiannya tersusun atas empat saklar elektronik. Tiap saklar yang ada memiliki fungsi untuk dihidupkan atau dimatikan.



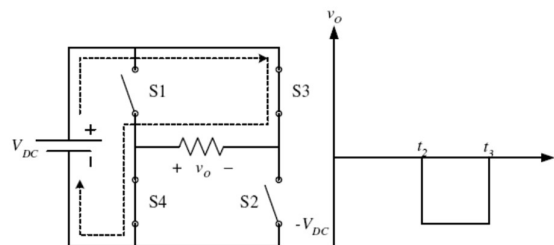
Gambar 2.13 Rangkaian *Inverter* Satu Fasa (Ali, 2018)

Prinsip kerja dari inverter ini adalah dengan membuat pengaturan kombinasi nyala dan mati dari keempat saklar. Ketika saklar pada S1 dan S2 dihidupkan sedangkan S3 dan S4 dimatikan maka arus listrik dari supply akan mengalir melewati S1 dan S2 serta melalui beban dari terminal positif ke negatif seperti pada gambar 2.15 (Ali, 2018:126).



Gambar 2.14 Arah Arus dan Bentuk Gelombang (Ali, 2018)

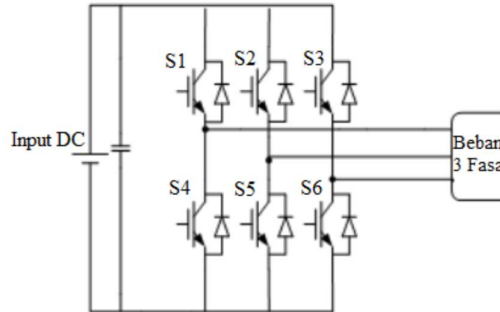
Selanjutnya kombinasi yang perlu dilakukan adalah dengan S1 dan S2 mati sedangkan S3 dan S4 nyala, maka arah aliran arus akan melewati S3 dan S4 sehingga melalui beban dari terminal negatif ke positif seperti pada gambar 2.16 (Ali, 2018:127). Dengan terus menerus mengkombinasikan nyala dan mati pada keempat saklar maka akan didapatkan sebuah gelombang sinusoida kotak.



Gambar 2.15 Arah Arus dan Bentuk Gelombang (Ali, 2018)

#### 2.2.4.2 Inverter Tiga Fasa

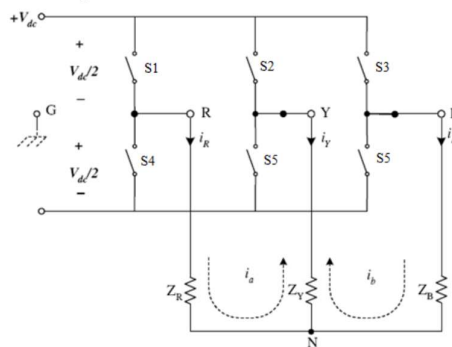
Inverter tiga fasa adalah sebuah alat elektronika yang digunakan untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC 3 fasa. Hampir mirip dengan inverter satu fasa yang terdiri oleh saklar-saklar namun dengan jumlah yang berbeda, jika inverter satu fasa tersusun dari tiga saklar sedangkan inverter tiga fasa tersusun dari enam saklar. Prinsip kerja dari inverter tiga fasa memerlukan kombinasi pengendalian saklar dengan frekuensi yang sesuai (Ali, 2018:129).



Gambar 2. 16 Rangkaian *Inverter* Tiga Fasa (Ali, 2018)

Pengaturan penyalan saklar dengan perbedaan masing-masing fasa  $120^\circ$  dilakukan agar menghasilkan gelombang output listrik tiga fasa (Ali, 2018). Kombinasi penyalan saklar akan dilakukan sebagai berikut:

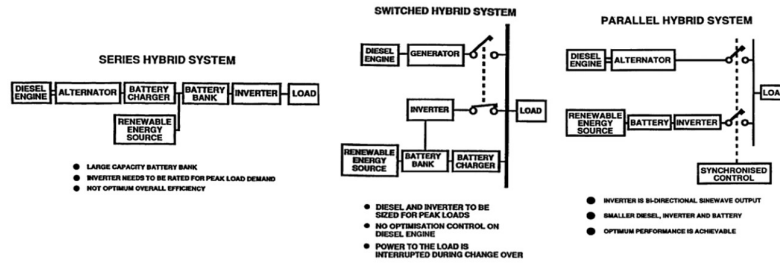
1. Saklar S1, S5 dan S6 nyala sedangkan S2, S3 dan S4 mati.
2. Saklar S1, S2 dan S6 nyala sedangkan S3, S4 dan S5 mati.
3. Saklar S2, S4 dan S6 nyala sedangkan S1, S3 dan S5 mati.
4. Saklar S2, S3 dan S4 nyala sedangkan S1, S5 dan S6 mati.
5. Saklar S3, S4 dan S5 nyala sedangkan S1, S2 dan S6 mati.
6. Saklar S1, S3 dan S5 nyala sedangkan S2, S3 dan S6 mati.
7. Saklar S4, S5 dan S6 nyala sedangkan S1, S2 dan S3 mati.
8. Saklar S1, S2 dan S3 nyala sedangkan S4, S5 dan S6 mati.



Gambar 2.17 Rangkaian Saklar *Inverter* Tiga Fasa (Ali, 2018)

#### 2.2.5 Konfigurasi Sistem Listrik Hybrid

Secara definisi sistem *hybrid* adalah sebuah sistem dimana dirancang untuk menggabungkan dua energi atau menggabungkan diesel dengan subsistem baterai yang memanfaatkan energi terbarukan atau yang tak terbarukan. Sistem pembangkit listrik bisa diklasifikasikan menjadi dua menurut (Nayar dkk.,1993) yaitu seri, *switched hybrid*, dan paralel. Salah satunya adalah penggabungan *Photovoltaic* dan Diesel Generator. Konsep dari sistem ini adalah mengurangi daya yang dihasilkan oleh generator sehingga dapat mengurangi biaya operasional bahan bakar (A. Kurniawan, 2016).



Gambar 2.18 Konfigurasi Sistem Pembangkit Hybrid (Sumber: Nayar, 1993)

### 2.2.5.1 Generator Diesel

Generator Diesel adalah sebuah pembangkit listrik yang menggabungkan motor diesel dengan generator listrik. Generator Diesel pada umumnya menggunakan bahan bakar cair tapi berkembangnya teknologi terdapat generator diesel yang menggunakan bahan bakar cair atau gas alam (Khamis dkk., 2017). Generator diesel pada kapal biasanya menjadi *back-up* atau menjadi pembangkit utama.

### 2.2.5.2 Photovoltaic (PV)

*Photovoltaic* adalah sebuah teknologi pembangkit energi terbarukan yang memiliki potensi yang sangat tinggi di Indonesia dikarenakan Indonesia berada di Garis Khatilistiwa yang memiliki lama waktu penyinaran cukup lama yaitu 8 jam (Kementerian ESDM, 2014). *Photovoltaic* adalah pembangkit energi yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. PV pada umumnya dikemas dalam suatu modul (Safitri., Rihayat, 2019). Jenis – jenis PV bila diklasifikasikan dari bahannya dapat dibagi menjadi:

1. *Monocrystalline (Mono c-Si)* adalah jenis PV dari potongan halus batang kristal silicon murni. Sehingga bagian dari sel surya akan identik satu sama lain dan efisiensi lebih tinggi yaitu 15-20 % tetapi memiliki kelamhan lebih mahal dan dan performa akan berkurang semakin tinggi temperatur.
2. *Polycrystalline (Poly c-Si)* adalah jenis PV dari beberapa potong kristal silicon yang dilebut/meleleh kemudian dituangkan ke dalam cetakan. Nilai efisiensinya lebih rendah yaitu 13- 16 % tetapi prosesnya yang lebih sederhana dan biaya yang lebih rendah.
3. *Thin Film Solar Cell (TSFC)* adalah jenis PV diproduksi dengan menambah satu atau lebih lapisan bahan sel surya tipis ke lapisan dasar, Sel surya ini jenis ini sangat tipis sehingga sangat ringan dan fleksibel. Berdasarkan materialnya. TSFC dibagi menjadi *Amorphous Sillicon (a-Si) Sollar Cells* dengan efisiensi 6 – 8 % , *Cadmium Telluride (CdTe) Sollar Cells* dengan efisiensi 9 – 11 % , *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Sollar Cells* dengan efisiensi 10–12%.

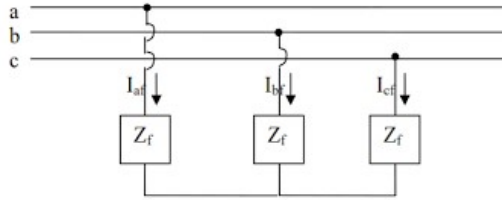
### 2.2.6 Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit)

*Short circuit* adalah gangguan umum yang sering timbul pada kelistrikan di kapal baik karena faktor internal maupun eksternal. *Short circuit* adalah sebuah gangguan berupa arus berlebih dari normalnya arus nominal. Dalam beberapa kasus arus *short circuit* bisa melonjak tinggi hingga ribuan kali dari arus nominal. Pada saat terjadi gangguan arus short circuit, diketahui terdapat tiga kondisi arus pada generator, meliputi arus sub peralihan (*sub transient*), arus peralihan (*transient*), dan arus tetap (*steady state*) (Siana, 2018).

Gangguan hubung singkat (*short circuit*) dibedakan menjadi dua jenis yaitu gangguan hubung singkat simetris dan tidak simetris. Gangguan hubung singkat simetris terdiri hanya satu macam yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa sedangkan untuk gangguan hubung singkat asimetris terdapat tiga macam meliputi gangguan hubung singkat satu fasa ke netral, antar fasa, dan dua fasa ke netral.

1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat ini paling sering terjadi pada sistem kelistrikan dengan melibatkan ketiga fasa.



Gambar 2.19 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa (ojs.unud.ac.id)

Arus short circuit pada gangguan ini dapat didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$I_{a1} = I_a = I_f = \frac{V_f}{\sqrt{3} \times Z_1} \quad (2.10)$$

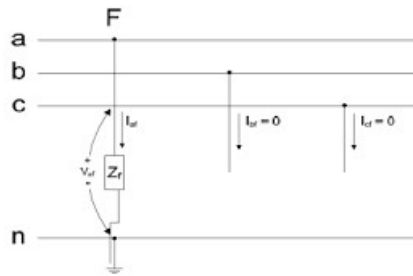
Dimana:

$V_f$  = tegangan nominal antar fasa

$Z_1$  = impedansi

### 2. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Netral

Gangguan hubung singkat jenis ini adalah gangguan yang terjadi hanya pada satu fasa saja terhadap ground.



Gambar 2.20 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Netral (ojs.unud.ac.id)

Arus short circuit pada gangguan ini dapat didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad (2.11)$$

Dimana:

$V_f$  = tegangan nominal antar fasa

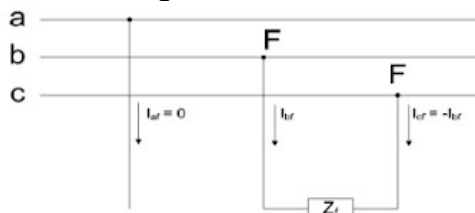
$Z_1$  = impedansi

$Z_2$  = impedansi

$Z_0$  = impedansi

### 3. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan hubung singkat jenis ini adalah gangguan hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa adanya netral atau ground.



Gambar 2.21 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa (ojs.unud.ac.id)

Arus short circuit pada gangguan ini dapat didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.12)$$

Dimana:

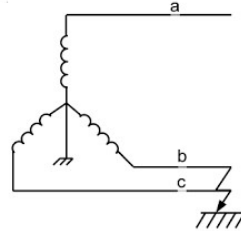
$V_f$  = tegangan nominal antar fasa

$Z_1$  = impedansi

$Z_2$  = impedansi

#### 4. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Netral

Gangguan hubung singkat ini adalah yang terjadi antara dua fasa dengan netral atau ground.



Gambar 2.22 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Netral (ojs.unud.ac.id)

Arus short circuit pada gangguan ini dapat didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2}} \quad (2.13)$$

Dimana:

$V_f$  = tegangan nominal antar fasa

$Z_1$  = impedansi

$Z_2$  = impedansi

$Z_0$  = impedansi

##### 2.2.6.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih

Koordinasi proteksi adalah suatu pengaturan pada kelistrikan untuk merencanakan sistem proteksi atau pengaman pada peralatan-peralatan listrik di kapal. Hal utama yang dilakukan pada koordinasi proteksi ini adalah menentukan pengaturan proteksi dan pemutus arus. Mengapa perlu dilakukan koordinasi proteksi tujuannya adalah untuk mengurangi terjadinya kerusakan peralatan-peralatan saat terjadinya gangguan arus berlebih. Dalam upaya membantu mengurangi kerusakan pada peralatan listrik dan melindungi *crew* dari bahaya, koordinasi proteksi perlu dilakukan dengan cara dan fault clearing time yang tepat.

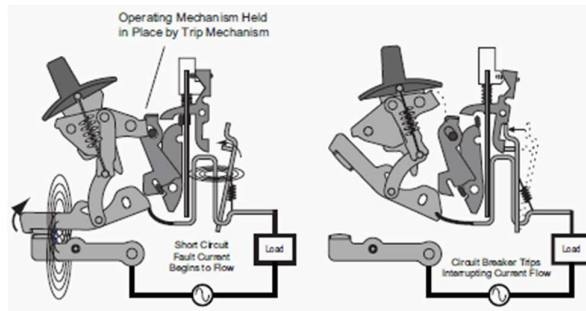
Dalam melakukan studi untuk pengaturan koordinasi proteksi terdapat beberapa hal yang perlu dikerjakan. Pertama yaitu perlu dilakukan analisa terhadap sistem kelistrikan untuk mengukur serta mengetahui besarnya arus *short circuit* yang kemungkinan terjadi. Setelah diketahui besaran arus short circuit kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan proteksi atau pemutus arus yang harus digunakan.

Pada perancangan sistem proteksi di kapal terdapat salah satu komponen yang berperan penting yaitu *circuit breaker*. *Circuit breaker* atau pemutus arus adalah sebuah komponen kelistrikan yang mana didesain untuk memproteksi sistem kelistrikan dari kerusakan akibat adanya arus berlebih atau *short circuit*. Prinsip dasarnya yaitu *circuit breaker* akan memutus aliran arus ketika relay mengidentifikasi arus yang melebihi jauh dari batas nominal. Agar dapat beroperasi dengan cepat dan memiliki sensitivitas yang tinggi dalam merasakan serta mengisolasi gangguan pada peralatan sekitarnya maka perlu dilakukan pengaturan waktu *pick up* pada suatu circuit breaker (Siana, 2018).

### 2.2.6.2 Prinsip Kerja Circuit Breaker pada Hubung Singkat

Aliran arus yang melalui circuit breaker akan menciptakan medan magnet yang berlawanan yang mana ketika gangguan hubung singkat (*short circuit*) terjadi, gaya berlawanan ini meningkat secara signifikan.

Arus listrik yang mengalir melalui kontak juga mengalir pada konduktor yang lewat di dekat unit trip *circuit breaker*. Pada saat terjadi arus gangguan, medan magnet yang mengelilingi konduktor ini memberikan gaya sehingga mampu membuka kunci unit trip dan trip pemutus.



Gambar 2.23 *Circuit Breaker* (electrical-engineering-portal.com)

### 2.2.7 Aturan Short Circuit dan Koordinasi Proteksi

Dalam simulasi *short circuit* untuk mengetahui gangguan arus hubung singkat pada distribusi kelistrikan akan mengacu pada aturan atau standar yang berlaku. Aturan- aturan yang berlaku akan menjadi acuan baik terhadap perhitungan besarnya nilai arus *short circuit* sampai dengan penentuan sistem proteksi yang akan digunakan sebagai perlindungan.

#### 2.2.7.1 Aturan Short Circuit (IEC 60909-0)

Simulasi untuk menganalisis besarnya arus *short circuit* yang terjadi akan menggunakan aturan dari IEC. Hal-hal yang diatur pada IEC adalah faktor tegangan dalam perhitungan *short circuit* pada simulasi. Aturan yang berlaku pada IEC 60909-0 *Short-circuit currents in three-phase a.c system* dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2. 1 *Voltage Factor* (IEC 60909-0)

Nominal Voltage $U_n$	Voltage factor $c$ for the calculation of	
	Maximum short-circuit currents $c_{max}^{1)}$	Minimum short-circuit currents $c_{min}$
Low Voltage 100 V to 1000 V (IEC 60038, table 1)	1,05 <sup>3)</sup> 1,10 <sup>4)</sup>	0,95
Medium Voltage >1 kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1,10	1,00
High Voltage <sup>2)</sup> >35 kV (IEC 60038, table		

Nominal Voltage $U_n$	Voltage factor c for the calculation of	
	Maximum short-circuit currents $c_{max}^{1)}$	Minimum short-circuit currents $c_{min}$
IV)		
1) $c_{max}U_n$ should not exceed the highest voltage $U_m$ for equipment of power system		
2) If no nominal voltage is defined $c_{max}U_n = U_m$ or $c_{min}U_n = 0,90 \times U_m$ should be applied		
3) For low voltage systems with a tolerance of +6 % for example systems renamed from 380 V to 400 V		
4) For low voltage systems with a tolerance of +10 %		

#### 2.2.7.2 Aturan Koordinasi Proteksi (Class NK Part H Chapter 2)

Berdasarkan *Class NK Part H Chapter 2* terdapat beberapa aturan dalam penentuan proteksi sebagai perlindungan terhadap sistem kelistrikan di kapal. Hal-hal berkaitan dengan proteksi terhadap arus *short circuit* adalah sebagai berikut:

1. *Breaking capacity* dari proteksi device tidak boleh kurang dari nilai arus short circuit maksimum yang mengalir pada titik-titik pemasangan.
2. *Making Capacity* dari proteksi device tidak boleh kurang dari nilai arus short circuit maksimum pada titik pemasangan.



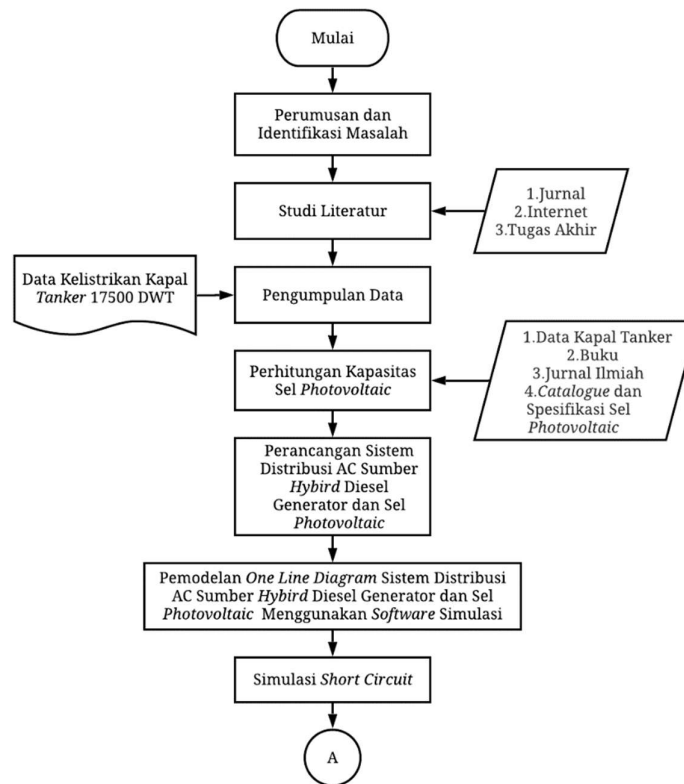
## BAB III METODOLOGI

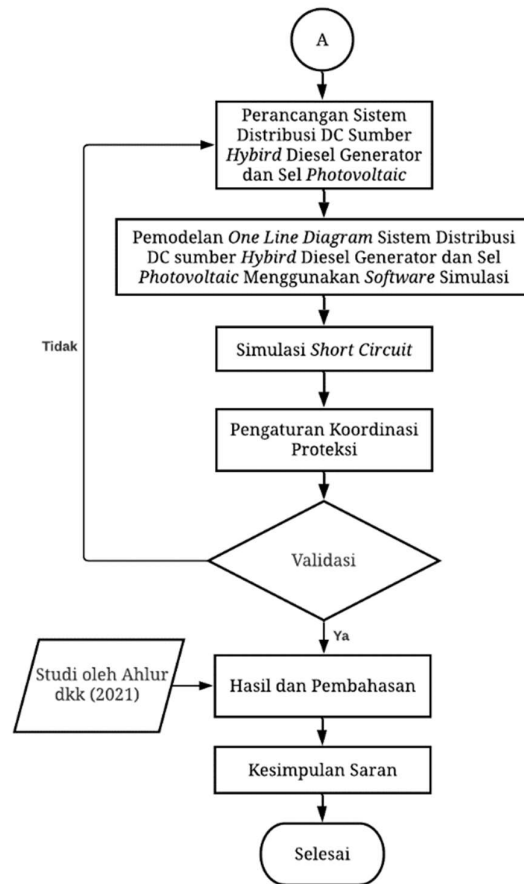
### 3.1 Metode yang digunakan

Bab ini akan membahas tentang gambaran alur penelitian yang akan dikerjakan. Dimulai dari identifikasi dan perumusan masalah. Lalu dilanjutkan dengan studi literatur terkait teori atau studi terdahulu. Lalu mengumpulkan data General Arrangement dan data kelistrikan untuk merencanakan berapa solarcell yang bisa dibuat dan selanjutnya memodelkan kelistrikan dengan software simulator sistem distribusi listrik. Dengan menggunakan simulasi yang dimana permodelannya sudah selesai akan mengetahui besaran short circuit yang mana hasilnya akan menjadi dasar dalam penentuan circuit breaker. Ketika pengaturan koordinasi dianggap sudah valid selanjutnya adalah proses pembahasan untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dikerjakan.

### 3.2 Diagram Alur Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah pengerjaan yang digambarkan pada flowchart:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3. 3 Langkah Penelitian

#### 1. Perumusan dan Identifikasi Masalah

Di tahap ini akan dilakukan perumusan masalah dengan mengidentifikasi suatu masalah dari objek penelitian. Penelitian ini akan membahas mengenai Analisis Short Circuit dan Pengaturan Koordinasi Proteksi Akibat Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC pada Kapal Tanker Sumber Listrik Hybrid Diesel Generator dan Sel Photovoltaic Berbasis Simulasi.

#### 2. Studi Literatur

Setelah mengidentifikasi permasalahan, penulis akan melakukan studi literatur dari dasar dasar – dasar teori dan studi terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan untuk memberikan dasar penelitian dan pendahuluan. Studi Literatur dilakukan dengan menggunakan berbagai informasi yang diperoleh dari jurnal, buku dan karya-karya terbaru. Fokus utama yang dicari dari data ini terkait dengan rekonfigurasi sistem listrik AC ke DC, analisis gangguan arus short circuit, dan koordinasi proteksi.

#### 3. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data adalah tahap yang dilakukan untuk mengumpulkan data-data kelistrikan dari kapal tanker 17500 DWT. Data kelistrikan tersebut berupa spesifikasi Teknik dari peralatan-peralatan yang ada mulai dari generator, motor-motor listrik, sampai dengan panel-panel yang digunakan.

#### 4. Perhitungan Kapasitas Sel Photovoltaic

5. Pada tahap awal kita akan menganalisa jumlah panel surya semaksimal mungkin yang bisa kita gunakan pada kapal tanker 17500 DWT. Disesuaikan dengan Data Kapal Tanker, Buku, Jurnal Ilmiah, Catalogue dan Spesifikasi Sel Photovoltaic.
6. Perancangan Sistem Distribusi AC Sumber Hybrid Generator dan Sel Photovoltaic  
 Pada tahap awal ini kita akan merancang sistem distribusi AC dengan sumber Hybrid Generator dan Sel Photovoltaic. Tahap ini lebih fokus kepada penyusunan bus-bus yang ada dan pengelompokan berdasarkan beban tiap bus. Penelitian ini menggunakan acuan Single Line Diagram dari penelitian Ahlur dkk (2021) dan juga menggunakan jumlah Kapasitas Sel Photovoltaic dari tahap sebelumnya. Sistem Photovoltaic direncanakan menggunakan sistem off-grid. Pembagian single line diagram distribusi dibagi menjadi beberapa tahap:
  - Pemasangan dan pengaturan generator utama.
  - Pengaturan bus-bus utama seperti MSB, ESB, Generator Panel.
  - Pengaturan bus-bus beban.
7. Pemasangan dan pengaturan kabel-kabel.  
 Pemasangan dan pengaturan peralatan pada tiap bus-bus beban.
8. Pemodelan Single Line Diagram Distribusi AC Menggunakan Software Simulator Sistem Distribusi Listrik  
 Tahap ini akan memindahkan single line diagram yang sudah dirancang pada tahap sebelumnya ke software / perangkat lunak simulator sistem distribusi listrik.
9. Simulasi Short Circuit Pada Pemodelan Single Line Diagram Distribusi AC  
 Setelah pemodelan selesai, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi dengan perangkat lunak. Running dilakukan pada distribusi AC single line diagram yang telah dilakukan sebelumnya. Tujuan simulasi ini adalah mencari besaran nilai arus short circuit pada distribusi AC sumber Hybrid Diesel Generator dan Sel Photovoltaic.
10. Perancangan Sistem Distribusi DC Sumber Hybrid Diesel Generator dan Sel Photovoltaic  
 Pada tahap awal ini kita akan merancang sistem distribusi DC dengan sumber hybrid Generator dan Sel Photovoltaic dimana akan data Single Line Diagram tersebut sudah didapatkan dari penelitian sebelumnya oleh Ahlur dkk (2021). Rekonfigurasi sistem distribusi AC ke DC memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:
  - Pemasangan dan pengaturan rectifier setelah keluaran generator.
  - Pengelompokan bus-bus beban dalam sebuah kelompok berdasarkan lokasi deck.
  - Pemasangan dan pengaturan inverter pada tiap kelompok.
11. Pemodelan Single Line Diagram Distribusi DC Menggunakan Software Simulator Sistem Distribusi Listrik  
 Setelah melakukan pemodelan dan simulasi distribusi AC, proses rekonfigurasi distribusi AC ke DC akan dimulai. Dalam hal ini, sistem kelistrikan pada tanker AC terlebih dahulu akan diubah menjadi DC. Prosesnya hampir sama, hanya kali ini model disajikan dalam bentuk single line diagram distribusi DC di software simulator sistem distribusi listrik.
12. Simulasi Short Circuit Pemodelan Single Line Diagram Distribusi DC  
 Setelah pemodelan selesai, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi dengan perangkat lunak. Pengerjaan dilakukan pada skema distribusi DC single line yang telah dilakukan sebelumnya. Tujuan utama yang diperoleh dari simulasi ini adalah untuk mengukur besarnya arus hubung singkat pada distribusi DC

13. Pengaturan Koordinasi Proteksi

Setelah melewati tahap simulasi, diketahui nilai short circuit pada distribusi DC. Berikutnya adalah proses pengaturan koordinasi proteksi, memutuskan jenis circuit breaker apa yang akan digunakan untuk melindungi dari terjadinya gangguan arus short circuit

14. Validasi

Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem kelistrikan sudah berjalan optimal dalam pemutusan arus lebih. Dilakukan secara validasi apakah sistem koordinasi proteksi sudah yang dibuat sudah optimal

15. Hasil dan Pembahasan

Bab ini akan fokus membahas hasil dari penelitian yang telah dilakukan berupa hasil pengukuran nilai short circuit dari hasil simulasi dan pengaturan proteksi yang telah disusun

16. Kesimpulan dan Saran

Setelah seluruh proses selesai, langkah terakhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan untuk menjawab tantangan dan tujuan penelitian. Poin-poin kunci dari temuan ini dapat digunakan sebagai panduan untuk penelitian lebih lanjut di masa depan. Terakhir, penulis akan memberikan saran atas kekurangan penelitian, serta memberikan rekomendasi yang tepat untuk penelitian berikutnya.

## BAB IV Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Pendahuluan

Bab ini akan membahas terkait analisis *short circuit* dan pengaturan koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan kapal *Tanker*. Langkah pertama adalah pemodelan *single line diagram* / *one line diagram* menggunakan *software* simulator sistem distribusi listrik ada distribusi listrik AC yang memiliki sumber listrik *hybrid* (*photovoltaic* dan diesel generator). Dalam distribusi AC akan mengikuti data yang sudah didapatkan tanpa penyesuaian atau pengubahan apapun seperti : kabel , *circuit breaker* , dan *equipment*. Melainkan akan mengikuti dari data-data yang telah diperoleh. Tetapi ditambahkan *Photovoltaic* , *Inverter* dan juga penambahan beberapa kabel yang akan menghubungkan *Photovoltaic* dengan sistem kelistrikan. Lalu akan dilakukan simulasi *loadflow* yang bertujuan untuk mengetahui aliran arus operasi pada sistem kelistrikan. Selanjutnya adalah melakukan simulasi *short circuit* untuk mengetahui kondisi nilai *short circuit* pada sistem distribusi AC. Setelah melakukan analisa sistem distribusi listrik AC maka akan dilakukan analisa sistem distribusi listrik DC , sebelumnya akan dilakukan rekonfigurasi *single line diagram* menjadi distribusi listrik DC dan ditambahkan *photovoltaic*. Sehingga hasil analisis dan simulasi akan mendapatkan nilai arus operasi dan juga arus *short circuit* , dimana nantinya nilai tersebut akan menjadi dasar untuk pemilihan spesifikasi kabel dan *circuit breaker* yang baru.

### 4.2 Data Utama Kapal

Pada Tabel 4.1 berikut merupakan data utama kapal *tanker* yang digunakan sebagai objek penelitian.

Tabel 4. 1 *Principle Dimension*

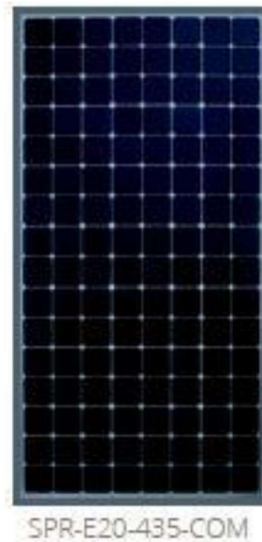
Jenis Kapal	Product Oil Tanker
DWT	17500 DWT
LPP	154 m
B	26 m
T	7 m
Main Generator	650 kW, 813 kVA, 450 V, 60 Hz, 3ph, 3 sets
Em'cy Generator	96 kW, 120 kVA, 450 V, 60 Hz, 3ph, 1 set

### 4.3 Data Spesifikasi *Photovoltaic* dan Inverter

Sebelum kita merangkai penambahan *photovoltaic* dan inverter pada simulasi maka kita menentukan menggunakan spesifikasi teknis dari *photovoltaic* yang akan digunakan . Pada penelitian ini penulis menggunakan spesifikasi seperti pada Gambar 4.1 berikut :

Type : SunPower E20-435-COM  
Output Power : 435 Wp  
Max. Power Voltage : 72,9

<i>Max Power Current</i>	:	5,97 A
<i>Open Circuit Voltage</i>	:	85,6 A
<i>Short Circuit Current</i>	:	6,43 A
<i>Efficiency</i>	:	20,3%
<i>Size</i>	:	2067 x 1046 x 46 mm
<i>Weight</i>	:	25,4 kg

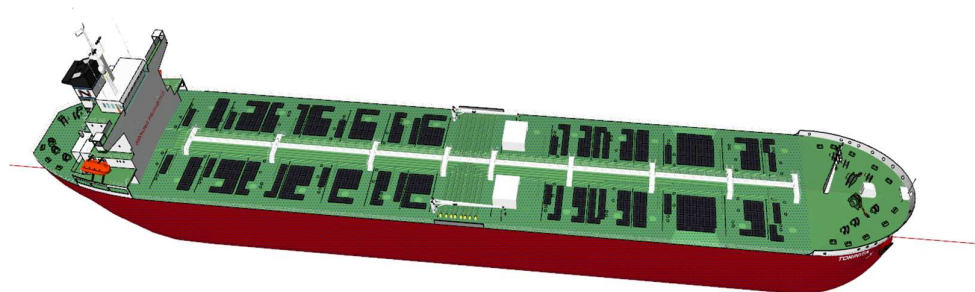


Gambar 4. 1 Panel Surya *SunPower*

Type	:	150KW Pure Sine Wave Off Grid Solar Inverter
<i>Count Output Power</i>	:	435 Wp
<i>DC Input</i>	:	72,9
<i>AC Output</i>	:	5,97 A
<i>Efficiency</i>	:	85,6 A

#### 4. 4 Perhitungan Sel Photovoltaic

Setelah kita menentukan spesifikasi photovoltaic yang akan digunakan selanjutnya adalah peletakkan photovoltaic pada cargo tank menggunakan simulasi sesuai dengan ukuran asli , sehingga didapatkan jumlah Photovoltaic yang digunakan adalah berjumlah 294 panel yang disusun secara paralel yang bisa dilihat pada gambar 4.2 dibawah berikut.



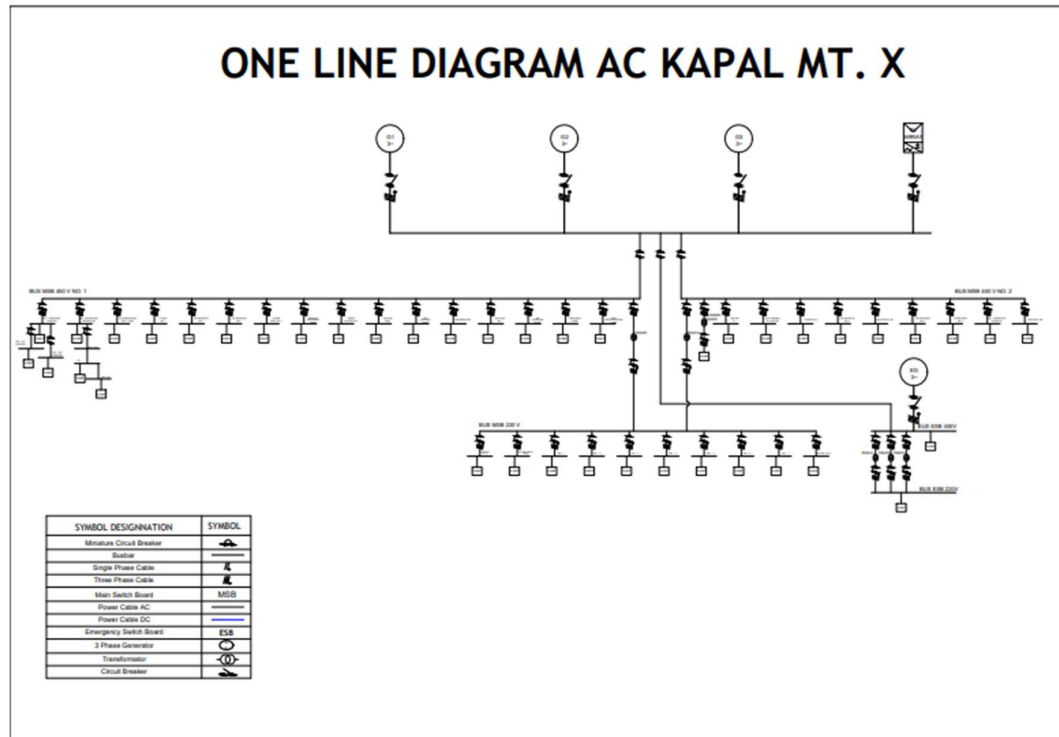
Gambar 4. 2 Peletakkan Photovoltaic

#### 4. 5 Pemodelan *Single Line Diagram* Distribusi AC

Sebelum melakukan sebuah analisis melalui simulasi baik itu terhadap load flow untuk

mengetahui arus operasi serta arus short circuit perlu dibuat pemodelan single line diagram pada software simulator sistem distribusi listrik. Dalam penyusunan single line diagram pada distribusi AC ini spesifikasi dari tiap beban peralatan, kabel-kabel, serta circuit breaker dibuat sama persis dengan data-data yang telah diperoleh.

Pada Gambar 4.3 berikut dijelaskan penyusunan single line diagram dimulai dari generator dengan sambungan kabel menuju generator panel. Dari generator panel akan bercabang menuju tiga arah, dari kiri yaitu MSB 450 V No. 1, tengah menuju ESB 450 V, dan yang paling kanan menuju MSB 450 V No. 2.

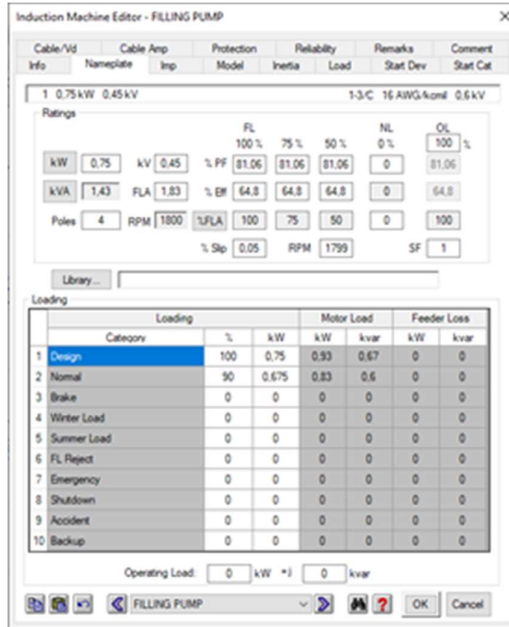


Gambar 4. 3 Single Line Diagram Distribusi AC

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 distribusi dari MSB 450 V No. 1 dan MSB 450 V No. 2 masing-masing akan menuju percabangan ke bus-bus kelompok beban. Bus-bus kelompok beban ini dikumpulkan berdasarkan kedekatan lokasi dari tiap peralatan. Dari bus percabangan inilah yang nanti akan dialirkan menuju ke peralatan- peralatan.

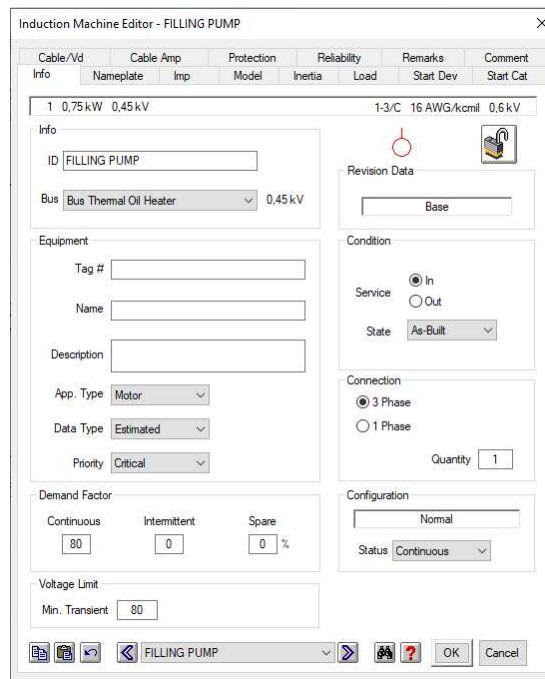
#### 4. 5. 1 Pengaturan Equipment

Salah satu bagian terpenting dalam single line diagram adalah beban-beban peralatan atau equipment. Equipment dalam hal ini adalah objek yang menjadi tujuan penyaluran arus listrik. Secara umum beban-beban terbagi menjadi dua jenis yaitu beban dinamis berupa motor-motor listrik dan beban statis seperti lampu-lampu penerangan. Pada Gambar 4.4 ditunjukkan contoh langkah-langkah pengisian dan pengaturan equipment motor listrik pada single line diagram.



Gambar 4. 4 Pengaturan Rating Equipment

Langkah awal yang perlu dilakukan dalam pengaturan *equipment* adalah pengisian *nameplate*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 *nameplate* ini berupa pengaturan power yang dibutuhkan, *voltage* yang digunakan, putaran motor, dan nilai *full load ampere*. Kemudian setelah mengisi *nameplate* dari *equipment* selanjutnya yaitu pengaturan info umum, seperti yang dicontohkan pada Gambar 4.5 berupa pengisian pada peralatan *filling pump* meliputi nama id, status, dan *demand factor*. *Demand factor* disini berupa pengisian kondisi service dari peralatan apakah tergolong *continuous* atau *intermitten* serta presentase yang digunakan.



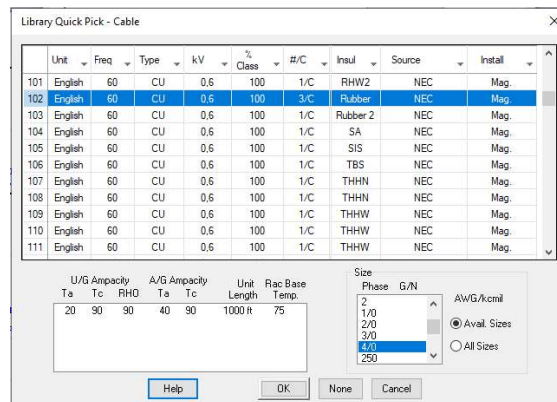
Gambar 4. 5 Pengaturan Demand Factor Equipment



#### 4. 5. 2 Pengaturan Kabel

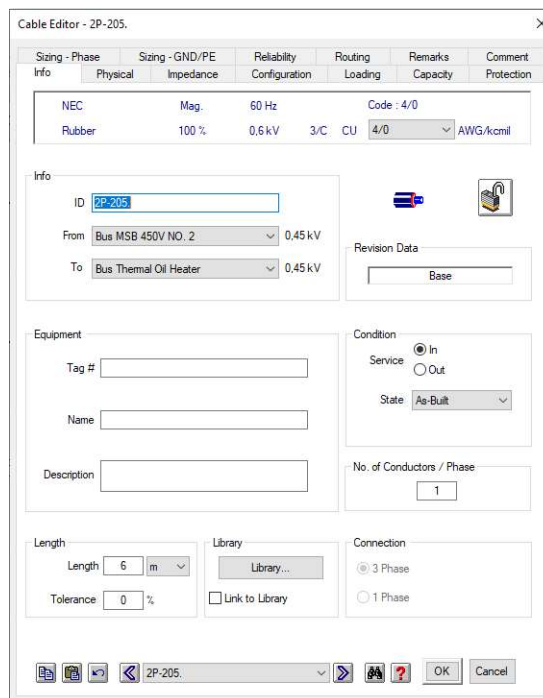
Dalam sebuah sistem distribusi kelistrikan dibutuhkan suatu komponen untuk mengalirkan arus listrik dari generator menuju beban-beban peralatan, maka pada *single line diagram* akan dipasang kabel-kabel. Spesifikasi dari kabel-kabel yang digunakan mengikuti dari data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Berikut akan dijelaskan langkah-langkah pemasangan dan pengaturan spesifikasi kabel pada *single line diagram* melalui *software* simulator sistem distribusi listrik.

Langkah pertama dalam pengaturan kabel yaitu menentukan spesifikasi kabel pada *library* dengan memilih unit, frekuensi yang digunakan, jenis konduktor, tegangan, insulasi, dan yang terpenting ukuran luas penampang kabel seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pengaturan Library Kabel

Selanjutnya yaitu memasukkan panjang kabel dan nama id kabel untuk membedakan satu kabel dengan kabel lainnya seperti pada Gambar 4.7. Panjang kabel akan disesuaikan dengan berapa jauh jarak penyaluran dari bus menuju ke posisi dari peralatan tersebut.

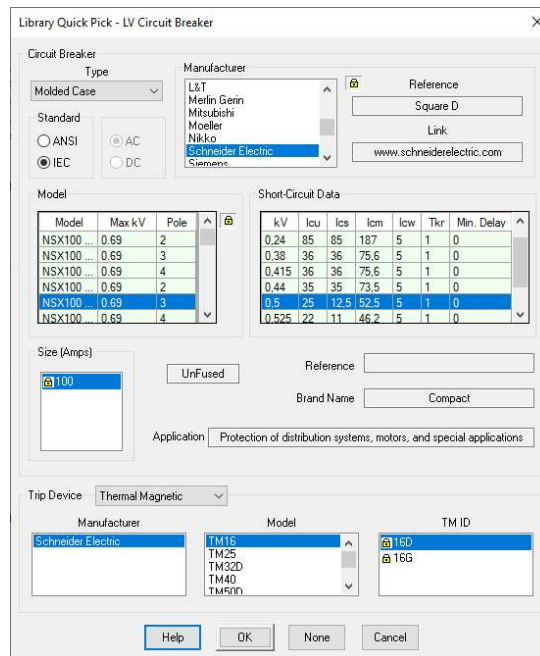


Gambar 4.7 Pengaturan Panjang Kabel

### 4. 5. 3 Pengaturan Circuit Breaker

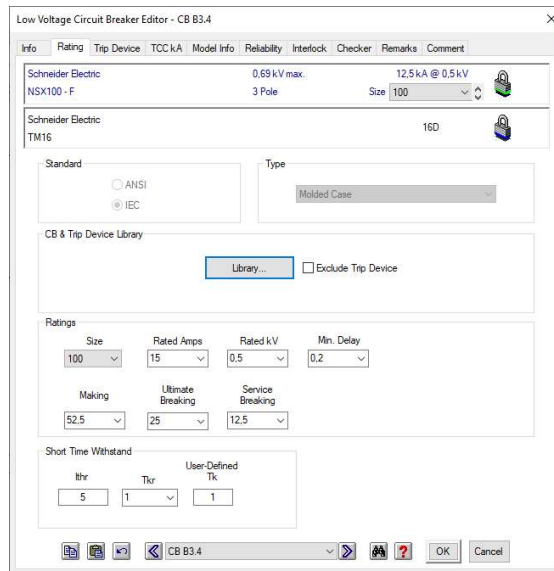
Dalam pemasangan *circuit breaker* akan ditentukan besarnya *rating* dan *trip device* yang digunakan. Spesifikasi dari *circuit breaker* yang digunakan mengikuti dari data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Berikut merupakan langkah-langkah pengaturan *circuit breaker* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Langkah pertama yaitu menentukan spesifikasi *circuit breaker* meliputi manufaktur, model beserta tegangan, dan *short circuit* data. Selanjutnya Langkah kedua menentukan *trip device* meliputi jenis *trip device*, manufaktur, dan model. Dalam hal ini spesifikasi *circuit breaker* dan *trip device* yang dipilih akan sesuai persis dengan data- data dari kapal yang telah dikumpulkan sebelumnya.



Gambar 4.8 Pengaturan *Circuit Breaker* & *Trip Device*

Pada Gambar 4.9 merupakan langkah terakhir yaitu mengatur besarnya *rated amps* dan *min. delay* dari *circuit breaker*. Untuk pemilihan *rated amps* idealnya harus di atas dari nilai *full load ampere*, namun dalam distribusi AC kali ini tidak ada penyesuaian hanya akan disamakan persis dengan data spesifikasi yang diperoleh.



Gambar 4.9 Pengaturan *Rating Circuit Breaker*

#### 4. 6 Simulasi Load Flow

Simulasi *Load Flow* dilakukan pada *Single Line Diagram* yang telah selesai dimodelkan. Simulasi ini dilakukan pada tiap kondisi *sailing, loading/unloading, leaving/arriving port, at port, dan emergency*. Tujuan simulasi ini untuk mengetahui nilai arus nominal yang beroperasi pada tiap beban peralatan di masing-masing kondisi seperti yang terlihat pada Tabel 4.2. Dari nilai arus operasi yang telah didapatkan akan dapat menjadi dasar pedoman dalam pemilihan *rating circuit breaker*. Selain itu melalui simulasi *load flow* ini dapat digunakan untuk memastikan bahwa tegangan tidak sedang dalam kondisi *overvoltage* ataupun *undervoltage*.

Tabel 4.2 *Load Flow*

Bus	Arus Operasi				Circuit Breaker(A)
	Sailing (A)	Loading- Unloading(A)	At Port (A)	Leaving/ Arriving Port (A)	
GSP 1	251,3	151,3	100,7	301,9	500
GSP 2	246,1	135,5	85,46	296,1	500
No. 1 DB E/R DB Purifier	30,5	0,112	0,008	30,53	50
No. 2 DB E/R DB Workshop	14,65	12,12	14,65	12,14	100
Accomodation Vent. Fan	9,817	9,835	9,817	9,833	15
Floor No. 1	17,55	732,5	17,55	53,82	800
E/R 2nd Deck No. 1	34,19	2,757	34,19	2,757	50
E/R 3rd Deck No. 1	60,65	54,12	54,31	123,9	150
Upper Deck No. 1	10,35	10,3	1,471	100,6	175
Sewage Treatment Plan	4,885	4,707	4,885	4,706	15
Fresh Water Hyd.	15,17	15,16	15,17	15,15	15
Vacuum Pump	0	27,43	0	0	40
Hyd. Control Valve	6,002	5,994	6,002	5,994	15
Incenerator	31,24	0	0	4,357	30
Air Condition Plant	81,48	81,48	81,48	81,47	150

Bus	Arus Operasi				Circuit Breaker(A)
	Sailing (A)	Loading-Unloading(A)	At Port (A)	Leaving/Arriving Port (A)	
Provision Crane	0	21,11	21,16	0	15
Prov. Refrigeration Plan	19,69	19,66	19,69	19,65	15
DB G-1	57,45	57,48	57,45	57,48	75
Thermal Oil Heater	161,3	0	0	161,3	175
Floor No. 2	214	394,1	18,74	55,09	400
E/R 2nd Deck No. 2	61,16	0	31,43	29,64	70
E/R 3rd Deck No. 2	63,22	60,5	58,59	63,04	70
Upper Deck No. 2	14,45	84,59	20,17	169,1	180
No. 1 DB E/R DB Purifier	14	0	0	13,99	50
Sanitary SW	13,24	13,22	13,24	13,22	15
DB G-2	27,83	27,8	27,83	27,8	50
E/R 3rd Deck-220V	49,95	50,24	49,95	50,24	75
DB L-1	20,52	20,58	20,52	20,58	30
DB L-2	1,982	2	1,982	2	30
DB L-3 (A Deck)	4,824	4,842	4,824	4,843	30
DB/ACC	3,097	3,066	3,097	3,066	30
DB L-6	1,238	1,253	1,238	1,253	30
DB L-4	4,952	4,967	4,952	4,968	30
DB L-5(C Deck)	4,644	4,657	4,644	4,658	30
DB L-7	7,968	7,982	7,968	7,983	30
ESB 450 V	37,72	34,17	33,97	42,13	175
ESB 220 V	35,14	35,11	35,14	35,11	30
<b>Total</b>	<b>1632,259</b>	<b>2090,642</b>	<b>862,278</b>	<b>1830,4</b>	

Berdasarkan hasil simulasi *load flow* didapatkan nilai arus operasi yang mengalir pada tiap kondisi di masing-masing peralatan dan bus. Jika dilihat pada Tabel 4.2 di atas terdapat perbedaan nilai dari *load flow* dari sebelum dan sesudah ditambahkan *photovoltaic*. Perubahan memiliki penambahan dan juga pengurangan. Rata-rata memiliki nilai perbedaan yang relatif kecil tetapi terdapat beberapa bus yang memiliki penambahan dan pengurangan yang cukup besar seperti yang paling besar adalah pada bus ESB 450 V pada kondisi sailing dimana sebelum dilakukan penambahan *photovoltaic* memiliki nilai arus operasi 19,34 A lalu Ketika sesudah ditambahkan menjadi 37,72 A. Dimana nilainya naik hampir dua kali lipat. Tetapi tetap nilai Circuit Breaker masih jauh diatas nilai operasinya.

Dan juga beberapa *circuit breaker* yang memiliki nilai *rating ampere* lebih kecil dari arus operasi yang mengalir pada bus. Dapat disimpulkan bahwa pada bus yang memiliki *circuit breaker* dengan *rating ampere* lebih kecil dari arus operasi akan terjadi pemutusan pada kondisi normal meskipun tidak sedang ada gangguan. Hal ini dianggap bahwa pemasangan *rating circuit breaker* kurang tepat sehingga tidak bekerja sesuai fungsinya yaitu untuk memutuskan aliran listrik saat terjadi arus berlebih.

#### 4. 7 Nilai Arus *Short Circuit* Distribusi AC

Simulasi *short circuit* dilakukan pada beberapa kondisi utama kapal yaitu *sailing*, *loading/unloading*, *leaving/arriving port*, dan *at port*. Melalui simulasi yang dilakukan akan diketahui nilai *short circuit* yang terjadi pada tiap peralatan dan bus seperti yang terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Short Circuit* pada Setiap Bus (Sebelum Rekonfigurasi)

Bus	Arus <i>Short Circuit</i> AC				Circuit Breaker(A)
	Sailing (kA)	Loading-Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)	
GSP 1	22,929	31,593	11,060	30,19	500
GSP 2	22,655	31,033	10,988	29,72	500
No. 1 DB E/R DB Purifier	1,784	1,704	1,636	1,79	50
No. 2 DB E/R DB Workshop	1,478	1,487	1,454	1,48	100
Accomodation Vent. Fan	2,191	2,217	2,108	2,21	15
Floor No. 1	22,010	30,491	10,844	28,64	800
E/R 2nd Deck No. 1	18,253	23,075	10,067	22,16	50
E/R 3rd Deck No. 1	22,669	31,167	11,001	29,79	150
Upper Deck No. 1	21,554	29,198	10,735	28,00	175
Sewage Treatment Plan	14,843	17,601	9,171	17,08	15
Fresh Water Hyd.	2,147	2,171	2,073	2,17	15
Vacuum Pump	4,465	4,765	4,014	4,58	40
Hyd. Control Valve	0,887	0,891	0,877	0,89	15
Incenerator	2,787	2,669	2,490	2,68	30
Air Condition Plant	16,208	19,865	9,493	19,20	150
Provision Crane	4,915	5,316	4,612	5,05	15
Prov. Refrigeration Plan	3,455	3,526	3,232	3,51	15
DB G-1	13,963	16,373	8,850	15,92	75
Thermal Oil Heater	21,571	28,818	10,681	27,83	175
Floor No. 2	22,138	30,201	10,840	28,63	400
E/R 2nd Deck No. 2	21,156	28,273	10,653	27,06	70
E/R 3rd Deck No. 2	22,326	30,589	10,926	29,18	70
Upper Deck No. 2	22,195	30,403	10,894	29,09	180
No. 1 DB E/R DB Purifier	7,620	8,030	6,004	8,03	50
Sanitary SW	2,569	2,605	2,455	2,60	15
DB G-2	5,883	6,016	5,466	5,99	50
E/R 3rd Deck-220V	26,820	31,798	16,678	30,97	70
DB L-1	4,627	4,699	4,404	4,68	30
DB L-2	1,436	1,442	1,419	1,44	30
DB L-3 (A Deck)	1,267	1,271	1,254	1,27	30
DB/ACC	2,029	2,041	1,993	2,04	30
DB L-6	0,983	0,985	0,975	0,98	30
DB L-4	1,202	1,206	1,191	1,21	30
DB L-5(C Deck)	0,983	0,985	0,975	0,98	30
DB L-7	0,983	0,985	0,975	0,98	30
ESB 450 V	20,874	27,891	10,559	26,73	175
ESB 220 V	2,414	2,450	2,295	2,44	30
<b>Rata-rata</b>	10,494	13,401	6,090	12,897	

Dari simulasi *short circuit* yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa kondisi dengan nilai rata-rata arus *short circuit* terbesar terjadi pada kondisi *loading/unloading* sebesar **13,401 kA**. Berdasarkan Tabel 4.3, untuk rata-rata seluruh nilai arus *short circuit* pada tiap bus berada jauh lebih tinggi di atas *rated ampere circuit breaker* kecuali pada bus Sewage Treatment Plant pada kondisi *leaving /arriving* dan *at port* memiliki nilai *short circuit* yang lebih besar dibandingkan *circuit breaker* . Sehingga berdasarkan hasil rata-rata arus *short*

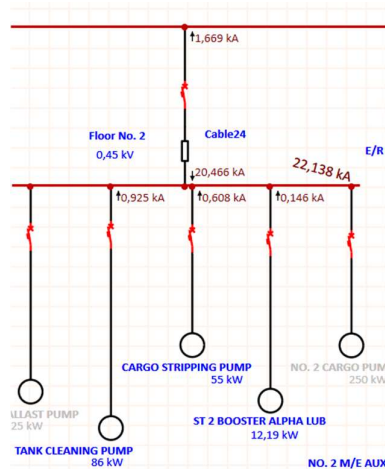
*circuit* pada tiap bus yang lebih rendah daripada *circuit breaker*nya akan terjadi pemutusan karena nilai *rated ampere* dari *circuit breaker* telah disesuaikan dengan arus nominal maupun FLA. Sehingga nilai rata-rata *short circuit* pada semua kondisi sebelum direkonfigurasi adalah **10,72 kA**

#### 4.7.1 Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Sailing

*Sailing* atau sesuai dengan artinya yaitu berlayar adalah kondisi ketika kapal melaju dari *port* asal ke *port* tujuan. Pada kondisi ini beroperasi beberapa peralatan- peralatan utama untuk menunjang kerja sistem-sistem selama pelayaran berlangsung. Dari hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi *sailing* adalah sebesar **10,494 kA**. Pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.10 terlihat peralatan yang memberikan nilai arus *short circuit* terbesar yaitu *Tank Cleaning Pump* pada *Bus Floor* No. 2 sebesar **0,925 kA**. Jika kita bandingkan dengan nilai *short circuit* sebelum penambahan *Photovoltaic* maka terdapat penambahan nilai pada bus *Floor No.2* sedangkan pada equipment tidak ada penambahan.

Tabel 4.4 *Short Circuit* Kondisi *Sailing* (Bus Floor No. 2)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing(kA)	Loading- Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
MSB 450 V No. 2	20,466	27,42	10,699	28,206
No. 2 Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
Tank Cleaning Pump	0,925	-	-	-
Cargo Stripping Pump	0,608	-	-	-
ST 2 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
No. 2 Cargo Pump	-	2,364	-	-
<b>Total</b>	<b>22,138</b>	<b>30,201</b>	<b>10,84</b>	<b>28,626</b>



Gambar 4.10 *Short Circuit* Kondisi *Sailing* (Bus Floor No. 2)

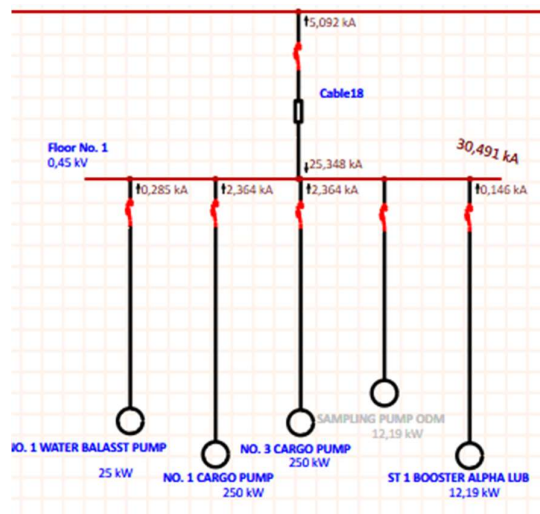
#### 4.7.2 Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Loading/Unloading

*Loading/unloading* adalah kondisi dimana kapal melakukan bongkar muat di *port*. Pada kondisi ini beberapa alat yang dibutuhkan untuk bongkar muat akan dioperasikan baik untuk memasukkan muatan minyak (*loading*) ataupun mengeluarkan muatan minyak (*unloading*).

Dari hasil simulasi *short circuit* yang dilakukan *loading/unloading* menjadi kondisi dengan nilai rata-rata arus *short circuit* terbesar dibandingkan kondisi lainnya yaitu **13,401 kA** dimana didapatkan penurunan nilai *short circuit* jika dibandingkan tanpa menggunakan *photovoltaic*. Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.11 terlihat peralatan yang menyumbang nilai arus *short circuit* cukup besar adalah No. 1 *Cargo Pump* dan No. 3 *Cargo Pump* pada *bus Floor* No. 1. Masing-masing memberikan nilai *short circuit* sebesar **2,364 kA**. Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.13 terlihat total arus *short circuit* di kondisi *loading/unloading* pada *bus Floor* No. 1 sebesar **30,491 kA**

Tabel 4.5 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* (*Bus Floor* No. 1)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
MSB 450 V No. 1	21,869	25,348	10,702	28,221
No. 1 Water Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
No. 1 Cargo Pump	-	2,364	-	-
No. 3 Cargo Pump	-	2,364	-	-
Sampling Pump ODM	-	-	-	-
ST 1 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
<b>Total</b>	<b>22,01</b>	<b>30,491</b>	<b>10,84</b>	<b>28,641</b>

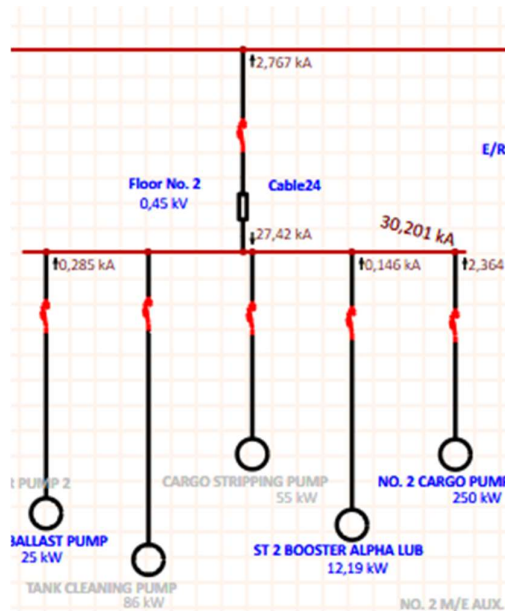


Gambar 4.11 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* (*Bus Floor* No. 1)

Selain No. 1 *Cargo Pump* dan No. 3 *Cargo Pump* terdapat peralatan No. 2 *Cargo Pump* pada *bus Floor* No. 2 yang juga memberikan nilai arus *short circuit* sama besar yaitu **2,364 kA**. Ketiga peralatan ini dioperasikan untuk melakukan bongkar muat muatan minyak. Pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.12 terlihat total arus *short circuit* di kondisi *loading/unloading* pada *bus Floor* No. 2 sebesar **30,201 kA**.

Tabel 4.6 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* (Bus Floor No. 2)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
MSB 450 V No. 2	20,466	27,42	10,699	28,206
No. 2 Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
Tank Cleaning Pump	0,925	-	-	-
Cargo Stripping Pump	0,608	-	-	-
ST 2 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
No. 2 Cargo Pump	-	2,364	-	-
<b>Total</b>	<b>22,138</b>	<b>30,201</b>	<b>10,84</b>	<b>28,206</b>



Gambar 4.12 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* (Bus Floor No. 2)

#### 4.7.3 Nilai Arus *Short Circuit* pada Kondisi *Leaving/Arriving Port*

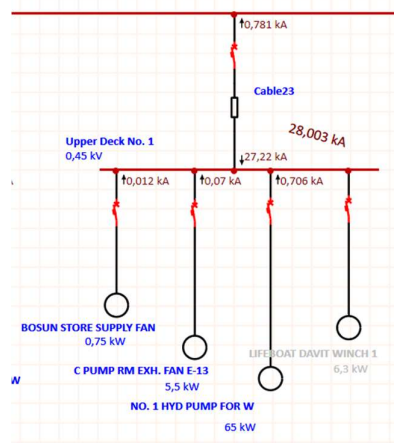
*Leaving/Arriving Port* adalah suatu kondisi ketika kapal akan memasuki atau meninggalkan port. Pada kondisi ini beberapa peralatan utama dioperasikan dengan menggunakan *supply* dari dua generator. Dari hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi ini sebesar **12,897 kA**. Pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.13 terlihat peralatan yang memiliki kontribusi nilai arus *short circuit* terbesar yaitu No. 1 *Hyd. Pump For W* pada *bus Upper Deck No. 1* sebesar **0,706 kA**.

Tabel 4.7 *Short Circuit* Kondisi *Leaving/Arriving Port* (Bus *Upper Deck* No. 1)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing(kA)	Loading-Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
MSB 450 V No. 1	21,476	29,121	10,715	27,22



Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing(kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bosun Store Supply Fan	0,012	0,012	0,012	0,012
C. Pump RM Exh. Fan E-13	0,070	0,070	-	0,070
No. 1 Hyd. Pump For W	-	-	-	0,706
Lifeboat Davit Winch 1	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>21,533</b>	<b>29,121</b>	<b>10,735</b>	<b>28,003</b>



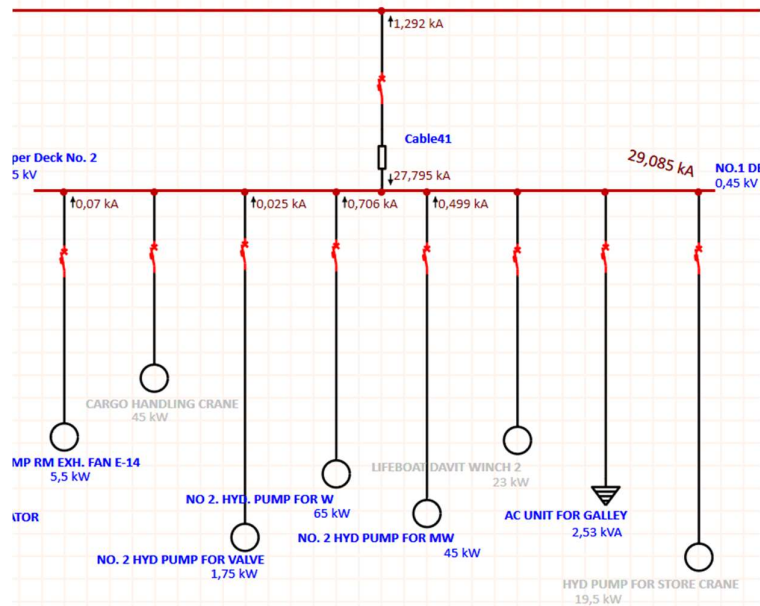
Gambar 4.13 *Short Circuit* Kondisi *Leaving/Arriving Port* (Bus *Upper Deck* No. 1)

Selain No. 1 *Hyd. Pump For W* terdapat peralatan No. 2 *Hyd. Pump For W* pada bus *Upper Deck* No. 2 yang juga memberikan nilai arus *short circuit* sama besar yaitu **0,706 kA**. Kedua peralatan ini digunakan untuk mengoperasikan *winch* atau jangkar. Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.14 terlihat total arus *short circuit* di kondisi *leaving/arriving* pada bus *Upper Deck* No. 2 sebesar **29,085 kA**.

Tabel 4.8 *Short Circuit* Kondisi *Leaving/Arriving Port* (Bus *Upper Deck* No. 2)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing(kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
MSB 450 V No. 2	22,107	29,597	10,647	27,795
C. Pump RM Exh. Fan E-14	0,070	0,070	-	0,070
Cargo Handling Crane	-	0,499	-	-
No. 2 Hyd Pump For Valve	0,025	0,025	0,025	0,025
No. 2 Hyd. Pump For W	-	-	-	0,706
No. 2 Hyd Pump For MW	-	-	-	0,499
Lifeboat Davit Winch 2	-	-	-	-
AC Unit For Galley	-	-	-	-
Hyd Pump For Store Crane	-	0,228	0,228	-

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing(kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
<b>Total</b>	<b>22,195</b>	<b>30,403</b>	<b>10,894</b>	<b>29,085</b>



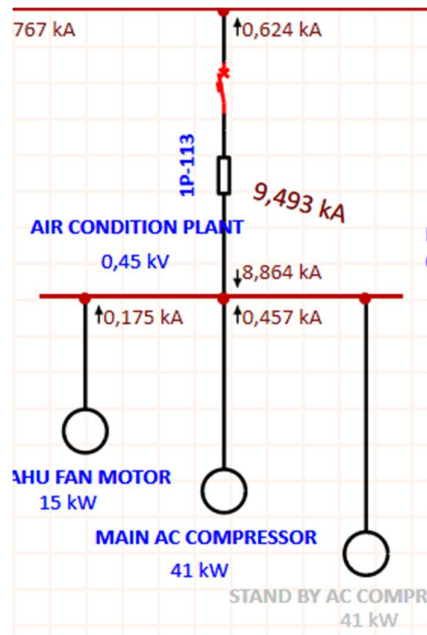
Gambar 4.14 Short Circuit Kondisi Leaving/Arriving Port (Bus Upper Deck No. 2)

#### 4.7.4 Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi at Port

Sesuai dengan namanya *at port* adalah kondisi ketika kapal bersandar di *port*. Berbeda dengan kondisi *sailing* atau *leaving/arriving port* yang memerlukan kapal untuk bergerak kondisi *at port* hanya perlu diam berlabuh di pelabuhan. Karena dalam keadaan tidak sedang beroperasi secara penuh maka pada kondisi ini hanya beberapa peralatan yang beroperasi sedangkan yang lain dalam kondisi mati karena tidak dibutuhkan. Dari hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi ini sebesar **6,090kA**. Pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.15 terlihat peralatan dengan *short circuit* terbesar yaitu *Main AC Compressor* pada *bus Air Condition Plant* sebesar **0,457 kA**.

Tabel 4.9 Short Circuit Kondisi at Port (Bus Air Condition Plant)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
MSB 450 V No. 1	19,268	19,198	8,8 64	18,602
AHU Fan Motor	0,175	0,175	0,1 75	0,175
Main AC Compressor	0,457	0,457	0,4 57	0,457
Stand By AC Compressor	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>16,208</b>	<b>19,865</b>	<b>9,4 93</b>	<b>19,199</b>

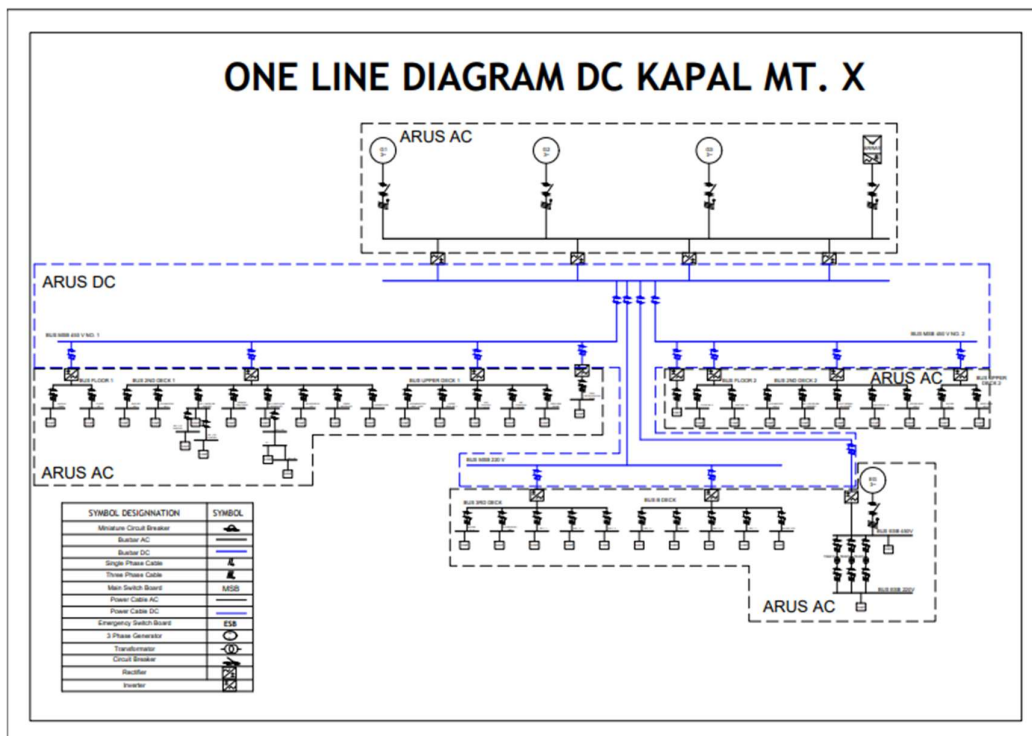


Gambar 4.15 Short Circuit Kondisi at Port (Bus Air Condition Plant)

#### 4. 8 Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC

Dalam proses rekonfigurasi perubahan sistem distribusi AC menjadi DC diperlukan banyak tahap dimana yang paling utama adalah penambahan komponen converter. Dimana converter yang akan digunakan terdiri dari *rectifier* dan *inverter*. *Rectifier* memiliki fungsi mengubah listrik AC menjadi DC dan *inverter* memiliki fungsi untuk mengubah kembali listrik DC menjadi listrik AC

Seperti terlihat pada Gambar 4.16 *Rectifier* diletakkan setelah keluaran listrik AC yang dihasilkan oleh generator. Setelah melalui *rectifier*, distribusi listrik utama akan berupa listrik DC. Karena perubahan itu komponen distribusi bus, kabel, atau *circuit breaker* akan disesuaikan menggunakan jenis DC. Seperti tertera pada Gambar 4.16 bus generator panel yang pada awalnya merupakan bus AC akan berubah menjadi bus DC



Gambar 4.16 Konversi Listrik AC Menjadi DC Menggunakan *Rectifier* (1)

Selain *bus generator panel* dapat dilihat pada Gambar 4.16 terjadi perubahan pula pada *bus MSB 450V No. 1* dan *bus MSB 450V No. 2* yang awalnya *bus AC* menjadi *bus DC*. Sedangkan pada bus MSB 220V selain berubah menjadi *bus DC* juga terjadi perubahan pada tegangan yang digunakan menjadi 450V dengan nama *bus MSB 450V No. 3*. Perubahan tersebut terjadi dikarenakan proses penurunan tegangan yang awalnya dilakukan sebelum masuk bus MSB 220V diganti sebelum memasuki bus percabangan.

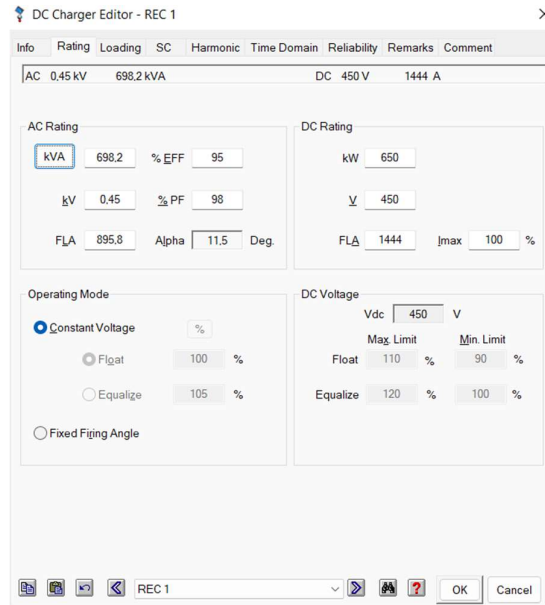
Distribusi listrik utama yang telah diubah menjadi listrik DC tetap harus diubah kembali menjadi listrik AC dikarenakan kebutuhan beban-beban peralatan yang membutuhkan listrik AC. Untuk mengubah kembali listrik DC menjadi AC digunakan *inverter*. *Inverter* ditempatkan sebelum memasuki bus-bus beban agar ketika menuju tiap peralatan sudah berupa listrik AC. Sebelum mulai memasang *inverter* beberapa bus beban akan terlebih dahulu dikelompokkan dalam satu bus kelompok sesuai lokasi deck. Dari kelompok bus inilah yang masing-masing akan disambungkan dengan satu *inverter*. Dengan cara dikelompokkan seperti ini akan meminimalisir jumlah penggunaan *inverter* yang terlalu banyak.

#### 4.8.1 Pengaturan Rectifier

Dalam proses rekonfigurasi sistem distribusi kelistrikan dari AC menjadi DC membutuhkan suatu komponen penting yaitu *rectifier*. *Rectifier* mampu mengubah listrik yang pada awalnya AC menjadi DC. Dalam pengaturan *rectifier* akan ditentukan nilai *rating* meliputi nilai *input* daya AC dalam nilai kVA dan nilai *output* daya DC dalam nilai kW. Pengaturan input dilakukan sesuai dari spesifikasi daya yang mampu dihasilkan oleh tiap *generator*.

Seperti terlihat pada Gambar 4.17 berikut nilai *input* daya AC diatur sebesar 813 kVA dengan nilai FLA sebesar 1043 A. Sedangkan pada *output* yang dihasilkan berupa listrik DC

dengan *power factor* 79,95% atau sebesar 650 kW serta nilai FLA sebesar 1444 A. Selain pengaturan daya terdapat pengatur nilai tegangan antara *input* dan *output*. Dalam hal ini dikarenakan tegangan yang ingin digunakan tetap sama seperti yang dihasilkan *generator* maka baik *input* dan *output* akan diisi nilai tegangan yang sama yaitu 450V.



Gambar 4. 17 Pengaturan Rectifier

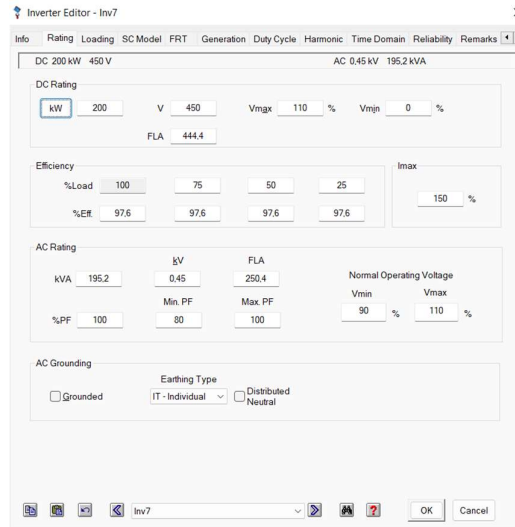
#### 4.8.2 Pemasangan Inverter

Distribusi listrik utama akan diubah kembali menjadi listrik AC sebelum memasuki bus beban-beban peralatan. Hal ini dilakukan karena kebutuhan peralatan untuk menggunakan listrik AC agar beroperasi. Pengubahan kembali listrik DC menjadi AC memanfaatkan peralatan konverter berupa inverter. Dalam pengaturan inverter akan ditentukan nilai rating meliputi efisiensi inverter yang disesuaikan dengan spesifikasi inverter yang sudah ada seperti pada Gambar 4.22. Kemudian pengaturan nilai output daya dalam kVA yang menyesuaikan dengan kebutuhan beban-beban peralatan pada bus tersebut. Karena dalam hal ini satu inverter akan menampung untuk beberapa bus beban dalam satu kelompok maka nilai output daya yang dimasukkan adalah penjumlahan total daya kVA dari bus-bus beban yang ada pada kelompok bus tersebut.

Pengelompokan bus-bus beban terbagi menjadi sepuluh kelompok bus sebagai berikut:

1. Kelompok 1 dengan Inverter 1 meliputi Bus Floor No. 1 dan Bus Vacuum Pump dengan efisiensi 97,6
2. Kelompok 2 dengan Inverter 2 meliputi Bus No. 1 DB E/R DB Purifier, Bus E/R 2<sup>nd</sup> Deck No. 1, Bus Sewage Treatment Plan, Bus No. 2 DB E/R DB Workshop, Bus E/R 3<sup>rd</sup> Deck No. 1, Bus Fresh Water Hyd., Bus GSP 1, dan Bus Incenerator dengan efisiensi 97,6
3. Kelompok 3 dengan Inverter 3 meliputi Bus Accomodation Vent Fan, Bus Upper Deck No. 1, Bus Hyd. Control Valve, Bus Air Condition Plant, dan Bus Provision Crane dengan efisiensi 97,6
4. Kelompok 4 dengan Inverter 4 meliputi Bus Prov. Refrigeration Plan dengan efisiensi 95
5. Kelompok 5 dengan Inverter 5 meliputi Bus Floor No. 2 dan Bus Sanitary SW dengan efisiensi 97,6
6. Kelompok 6 dengan Inverter 6 meliputi Bus E/R 2<sup>nd</sup> Deck No. 2, Bus No. 1 DB E/R DB

- Purifier, Bus Thermal Oil Heater, Bus GSP 2, dan Bus E/R 3<sup>rd</sup> Deck No. 2* dengan efisiensi 97,6
7. Kelompok 7 dengan *Inverter 7* meliputi *Bus DB G-1 dan Bus Upper Deck No. 2* dengan efisiensi 97,6
  8. Kelompok 8 dengan *Inverter 8* meliputi *Bus E/R 3<sup>rd</sup> Deck-220 V, DB L-1, DB L- 2, DB G-2, dan DB L-3* dengan efisiensi 95
  9. Kelompok 9 dengan *Inverter 9* meliputi *DB L-4, DB L-5, DB/ACC, DB L-6, dan DB L* dengan efisiensi 93
  10. Kelompok 10 dengan *Inverter 10* meliputi *ESB 450 V* dengan efisiensi 95



Gambar 4.18 Pengaturan *Inverter*

#### 4. 9 Simulasi *Load Flow* Distribusi DC

Setelah proses rekonfigurasi untuk mengubah distribusi listrik AC menjadi DC selesai, maka dilakukan simulasi *load flow* untuk menganalisis besarnya nilai arus nominal yang mengalir. *Load flow* akan dilakukan pada tiap kondisi meliputi *sailing, loading/unloading, leaving/arriving port, dan at port*. Selain itu pada Tabel 4.10 *load flow* distribusi DC hanya berfokus pada beberapa titik distribusi yang alirannya menggunakan arus DC yaitu *bus generator panel, MSB 450 V No. 1, MSB 450 V No. 2, dan MSB 450 V No. 3*. Sedangkan *load flow* distribusi AC ke masing-masing *bus* beban memiliki nilai yang sama dengan saat belum direkonfigurasi.

Tabel 4.10 Load Flow Distribusi DC

Dari	Ke	Arus Operasi			
		Sailing(A)	Loading- Unloading(A)	At Port(A)	Leaving/Arriving Port (A)
GeneratorPanel	MSB 450 VNo.1	951,1	1900	612,1	1260
	MSB 450 VNo.2	1386	1234	465,5	1406
	MSB 450 VNo.3	91,7	91,7	91,7	91,7
	Inverter 10	56,2	50	50	66,9
	Inverter 1	28	1268	28	87,6

Dari	Ke	Arus Operasi			
		Sailing(A)	Loading- Unloading(A)	At Port(A)	Leaving/Arriving Port (A)
MSB 450 V No. 1	Inverter 2	719,2	394,5	360,7	814,5
	Inverter 3	173,2	206,7	192,7	326,8
	Inverter 4	30,6	30,6	30,6	30,6
MSB 450 V No. 2	Inverter 5	376,3	678,2	50,5	110,1
	Inverter 6	891,8	322	287,7	919,4
	Inverter 7	108,1	224,2	117,6	366,7
MSB 450 V No. 3	Inverter 8	75,8	75,8	75,8	75,8
	Inverter 9	15,9	15,9	15,9	15,9

#### 4. 10 Nilai Arus *Short Circuit* Setelah Rekonfigurasi

Sama seperti sebelum dilakukan rekonfigurasi, simulasi *short circuit* dilakukan pada beberapa kondisi utama kapal yaitu *sailing*, *loading/unloading*, *leaving/arriving port*, dan *at port*. Melalui simulasi yang dilakukan akan diketahui nilai arus *short circuit* yang terjadi pada tiap peralatan dan bus. Pada Tabel 4.11 diperoleh data hasil simulasi yang akan dapat dianalisis untuk dibandingkan dengan nilai arus *short circuit* saat sebelum rekonfigurasi. Pada tabel bisa dilihat bahwasannya nilai rata-rata short circuit setelah dilakukan rekonfigurasi pada semua kondisi adalah **1,694 kA**

Tabel 4.11 *Short Circuit* pada Setiap Bus (Setelah Rekonfigurasi)

Bus	Arus <i>Short Circuit</i> DC				Circuit Breaker(A)
	Sailing (kA)	Loading- Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arrivin g Port (kA)	
GSP 1	4,630	2,994	2,853	5,060	500
GSP 2	5,257	2,548	2,634	5,403	500
No. 1 DB E/R DB Purifier	2,789	2,017	1,912	2,898	50
No. 2 DB E/R DB Workshop	1,773	1,694	1,670	1,806	20
Accommodation Vent. Fan	1,056	1,172	1,131	1,416	15
Floor No. 1	1,378	6,441	1,378	1,646	800
E/R 2nd Deck No. 1	4,552	2,960	2,828	4,958	50
E/R 3rd Deck No. 1	4,594	2,981	2,843	5,026	150
Upper Deck No. 1	1,249	1,576	1,506	1,933	175
Sewage Treatment Plan	4,256	2,847	2,720	4,623	15
Fresh Water Hyd.	1,691	1,614	1,592	1,723	20
Vacuum Pump	1,373	6,362	1,373	1,639	40
Hyd. Control Valve	0,759	0,812	0,803	0,866	15
Incenerator	3,182	2,145	2,257	3,258	50
Air Condition Plant	1,249	1,569	1,501	1,917	150
Provision Crane	1,222	1,552	1,486	1,873	25
Prov. Refrigeration Plan	0,182	0,182	0,182	0,182	40
DB G-1	0,715	1,400	0,863	1,848	75
Thermal Oil Heater	5,216	2,530	2,617	5,356	175
Floor No. 2	2,403	3,884	0,931	1,203	630
E/R 2nd Deck No. 2	5,165	2,523	2,620	5,291	70
E/R 3rd Deck No. 2	5,222	2,542	2,629	5,363	70
Upper Deck No. 2	0,717	1,418	0,867	1,881	180

Bus	Arus Short Circuit DC				Circuit Breaker(A)
	Sailing (kA)	Loading-Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)	
No. 1 DB E/R DB Purifier	3,912	2,266	2,328	3,993	50
Sanitary SW	1,858	2,747	0,870	1,095	15
DB G-2	0,184	0,184	0,184	0,184	50
E/R 3rd Deck-220V	0,184	0,184	0,184	0,184	75
DB L-1	0,184	0,184	0,184	0,184	30
DB L-2	0,175	0,175	0,175	0,175	30
DB L-3 (A Deck)	0,174	0,174	0,174	0,174	30
DB/ACC	0,049	0,049	0,049	0,049	30
DB L-6	0,048	0,048	0,048	0,048	30
DB L-4	0,048	0,048	0,048	0,048	30
DB L-5(C Deck)	0,048	0,048	0,048	0,048	30
DB L-7	0,048	0,048	0,048	0,048	30
ESB 450 V	0,253	0,164	0,164	0,253	175
ESB 220 V	0,442	0,304	0,304	0,442	30
<b>Rata-rata</b>	<b>1,844</b>	<b>1,686</b>	<b>1,243</b>	<b>2,003</b>	

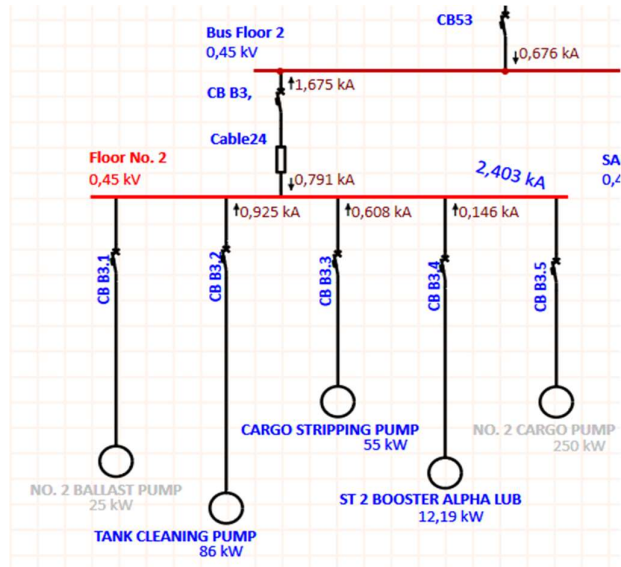
#### 4.10.1 Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Sailing Setelah Rekonfigurasi

Secara teknis baik sebelum dan setelah rekonfigurasi pada kondisi ini tetap dioperasikan beberapa peralatan-peralatan utama untuk menunjang kerja sistem-sistem selama pelayaran berlangsung. Setelah proses rekonfigurasi dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai arus *short circuit* yang terjadi pada kondisi tersebut. Dari hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi *sailing* adalah sebesar **1,844 kA**. Pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.19 terlihat peralatan yang memberikan nilai arus short circuit terbesar yaitu *Tank Cleaning Pump* pada *Bus Floor No. 2* sebesar **0,925 kA**.

Tabel 4.12 *Short Circuit* Kondisi *Sailing* Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading (kA)	At Port(kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bus Floor 2	0,791	1,241	0,791	0,791
No. 2 Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
Tank Cleaning Pump	0,925	-	-	-
Cargo Stripping Pump	0,608	-	-	-
ST 2 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
No. 2 Cargo Pump	-	2,364	-	-
<b>Total</b>	<b>2,403</b>	<b>3,884</b>	<b>0,931</b>	<b>1,203</b>





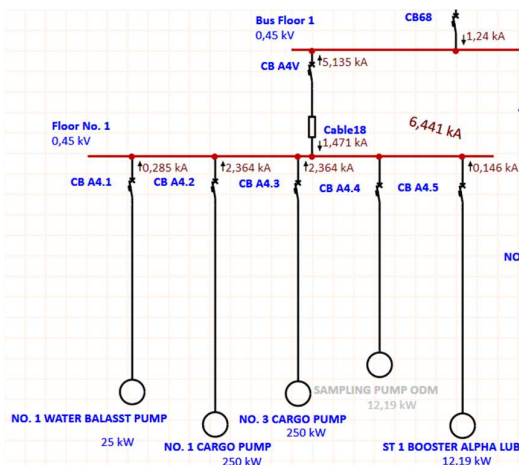
Gambar 4.19 *Short Circuit* Kondisi *Sailing* Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2)

#### 4.10.2 Nilai Arus *Short Circuit* pada Kondisi *Loading/Unloading* Setelah Rekonfigurasi

Sama seperti sebelum dilakukan rekonfigurasi, pada kondisi *loading/unloading* juga dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai arus *short circuit* yang terjadi. Dari hasil simulasi ini didapatkan hasil bahwa nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi *loading/unloading* adalah sebesar **1,686 kA**. Pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.20 terlihat peralatan yang memberikan nilai arus *short circuit* terbesar yaitu No. 1 *Cargo Pump* dan No. 3 *Cargo Pump* pada *bus Floor No. 1* yang dioperasikan untuk melakukan bongkar muat muatan minyak. Masing-masing memberikan nilai arus *short circuit* sebesar **2,364 kA**. Sedangkan untuk *bus* beban yang memiliki total nilai arus *short circuit* terbesar adalah *Floor No. 1* sebesar **6,441 kA**.

Tabel 4.13 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 1)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bus Floor 1	1,239	1,471	1,239	1,239
No. 1 Water Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
No. 1 Cargo Pump	-	2,364	-	-
No. 3 Cargo Pump	-	2,364	-	-
Sampling Pump ODM	-	-	-	-
ST 1 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
<b>Total</b>	<b>1,378</b>	<b>6,441</b>	<b>1,378</b>	<b>1,646</b>

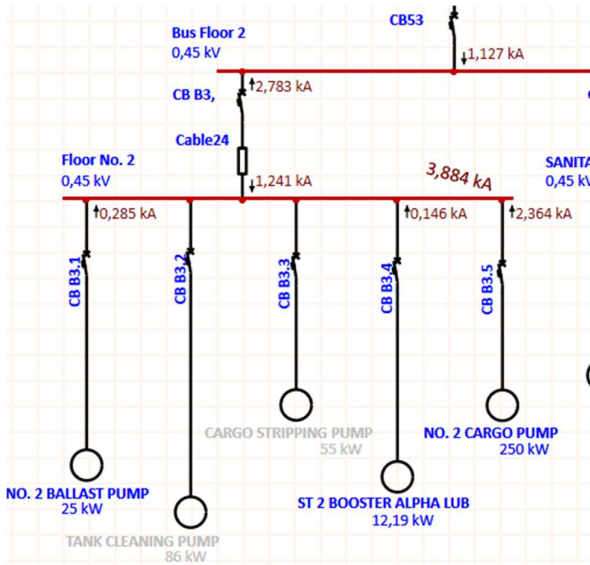


Gambar 4.20 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 1)

Selain No. 1 *Cargo Pump* dan No. 3 *Cargo Pump* terdapat peralatan No. 2 *Cargo Pump* pada bus Floor No. 2 yang juga memberikan nilai arus *short circuit* sama besar yaitu **2,364 kA**. Ketiga peralatan ini dioperasikan untuk melakukan bongkar muat muatan minyak. Pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.21 terlihat total arus *short circuit* di kondisi *loading/unloading* pada bus Floor No. 2 sebesar **3,884 kA**.

Tabel 4.14 *Short Circuit* Kondisi *Loading/Unloading* Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bus Floor 2	0,791	1,241	0,791	0,791
No. 2 Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
Tank Cleaning Pump	0,925	-	-	-
Cargo Stripping Pump	0,608	-	-	-
ST 2 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
No. 2 Cargo Pump	-	2,364	-	-
<b>Total</b>	<b>2,403</b>	<b>3,884</b>	<b>0,931</b>	<b>1,203</b>



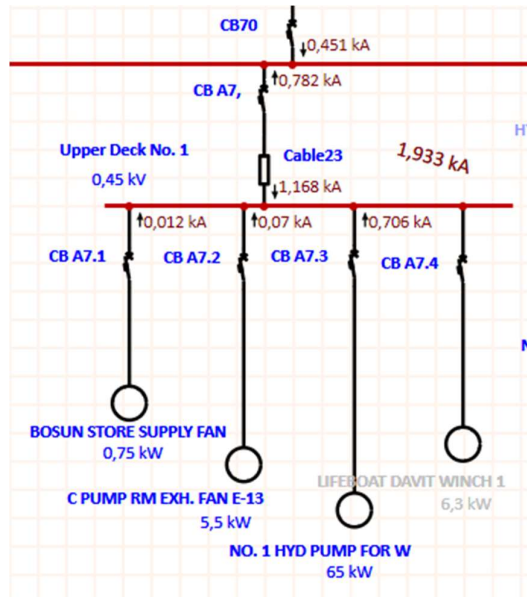
Gambar 4.21 *Short Circuit* Kondisi Loading/Unloading Setelah Rekonfigurasi (Bus Floor No. 2)

#### 4.10.3 Nilai Arus Short Circuit pada Kondisi Leaving/Arriving setelah Rekonfigurasi

Simulasi untuk mengetahui nilai arus *short circuit* juga dilakukan pada kondisi *leaving/arriving*. Setelah dilakukan analisis diperoleh bahwa nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi *leaving/arriving* adalah sebesar **2,003 kA**. Pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.22 terlihat peralatan yang memiliki kontribusi nilai arus *short circuit* terbesar yaitu No. 1 *Hyd. Pump For W* pada bus *Upper Deck No. 1* sebesar **0,706 kA**. Sedangkan bus beban yang memiliki total nilai arus *short circuit* terbesar pada kondisi ini adalah GSP 2 sebesar **5,403 kA**.

Tabel 4.15 *Short Circuit* Kondisi Leaving/Arriving Port Setelah Rekonfigurasi (Bus Upper Deck No. 1)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bus Upper Deck 1	1,168	1,495	1,495	1,168
Bosun Store Supply Fan	0,012	0,012	0,012	0,012
C. Pump RM Exh. Fan E-13	0,070	0,070	-	0,070
No. 1 Hyd. Pump For W	-	-	-	0,706
Lifeboat Davit Winch 1	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1,249</b>	<b>1,576</b>	<b>1,506</b>	<b>1,933</b>

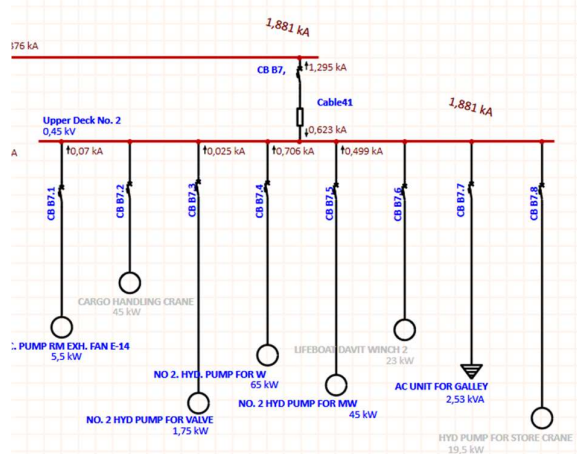


Gambar 4.22 Short Circuit Kondisi Leaving/Arriving Port Setelah Rekonfigurasi (Bus Upper Deck No. 1)

Selain No. 1 *Hyd. Pump For W* terdapat peralatan No. 2 *Hyd. Pump For W* pada bus Upper Deck No. 2 yang juga memberikan nilai arus *short circuit* sama besar yaitu **0,706 kA**. Kedua peralatan ini digunakan untuk mengoperasikan *winch* atau jangkar. Pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.23 terlihat total arus *short circuit* di kondisi *leaving/arriving* pada bus Upper Deck No. 2 sebesar **1,881 kA**.

Tabel 4.16 Short Circuit Kondisi Leaving/Arriving Port Setelah Rekonfigurasi (Bus Upper Deck No. 2)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading-Unloading(kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bus Upper Deck 2	0,623	0,623	0,623	0,623
C. Pump RM Exh. Fan E-14	0,070	0,070	-	0,070
Cargo Handling Crane	-	0,499	-	-
No. 2 Hyd Pump For Valve	0,025	0,025	0,025	0,025
No. 2 Hyd. Pump For W	-	-	-	0,706
No. 2 Hyd Pump For MW	-	-	-	0,499
Lifeboat Davit Winch 2	-	-	-	-
AC Unit For Galley	-	-	-	-
Hyd Pump For Store Crane	-	0,228	0,228	-
<b>Total</b>	<b>0,717</b>	<b>1,418</b>	<b>0,867</b>	<b>1,881</b>



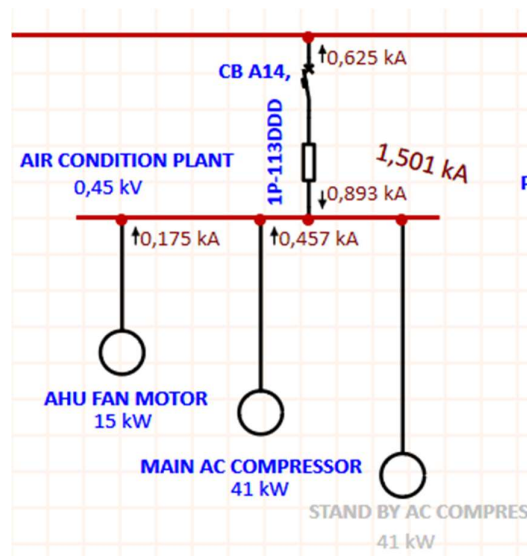
Gambar 4.23 *Short Circuit* Kondisi *Leaving/Arriving Port* Setelah Rekonfigurasi (Bus Upper Deck No. 2)

#### 4.10.4 Nilai Arus *Short Circuit* pada Kondisi at Port Setelah Rekonfigurasi

Kondisi terakhir yang dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai arus *short circuit* adalah *at port*. Pada kondisi ini terbilang memiliki kontribusi arus *short circuit* yang lebih kecil dibandingkan kondisi yang lain dikarenakan pada kondisi ini peralatan yang beroperasi lebih sedikit. Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan nilai rata-rata arus *short circuit* pada kondisi ini sebesar **1,243 kA**. Pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.24 terlihat peralatan dengan arus *short circuit* terbesar yaitu *Main AC Compressor* pada *bus Air Condition Plant* sebesar **0,457 kA**.

Tabel 4.17 *Short Circuit* Kondisi at Port Setelah Rekonfigurasi (Bus Air Condition Plant)

Kontribusi	Short Circuit			
	Sailing (kA)	Loading- Unloading(kA)	At Port(kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Bus Upper Deck 1	0,647	0,96	0,893	1,292
AHU Fan Motor	0,175	0,175	0,175	0,175
Main AC Compressor	0,457	0,457	0,457	0,457
Stand By AC Compressor	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1,249</b>	<b>1,569</b>	<b>1,501</b>	<b>1,917</b>



Gambar 4.24 Short Circuit Kondisi at Port Setelah Rekonfigurasi (Bus Air ConditionPlant)

#### 4.11 Perbandingan Sebelum dan Setelah Rekonfigurasi

Pada sub bab berikut akan dilakukan analisis untuk membandingkan nilai arus *short circuit* yang terjadi pada *bus-bus* utama sebelum dan setelah dilakukan rekonfigurasi. *Bus-bus* utama yang terdapat pada sistem distribusi tersebut meliputi *generator panel*, MSB 450 V No. 1, MSB 450 V No. 2, dan MSB 220 V. Tiap-tiap *bus* utama akan dilakukan analisis besarnya nilai arus *short circuit* yang terjadi pada *bus* tersebut.

Sebelum dilakukan rekonfigurasi *bus-bus* utama pada sistem distribusi *bus* AC yang mana memiliki kontribusi arus *short circuit* dari beberapa sumber baik dari *generator* sampai dengan beban-beban peralatan. Pada *bus generator panel* total arus *short circuit* dihasilkan oleh *generator* dari arah atas dan kumulatif beban-beban peralatan dari arah bawah baik itu dari MSB 450 V No. 1, MSB 450 V No. 2, dan MSB 220 V. Pada Tabel 4.18 ditampilkan total nilai arus *short circuit* pada *generator panel*, MSB 450 V No. 1, dan MSB 450 V No. 2 yang memiliki besaran sama yaitu 23,096 kA di kondisi *sailing*, 32,041 kA di kondisi *loading/unloading*, 30,613 kA di kondisi *leaving/arriving*, dan 11,333 *at port*. Sedangkan pada MSB 220 V memiliki total arus *short circuit* sebesar 29,898 kA di kondisi *sailing*, 36,353 kA di kondisi *loading/unloading*, 35,391 kA di kondisi *leaving/arriving*, dan 18,079 kA *at port*.

Tabel 4.18 Short Circuit pada Bus Utama (Sebelum Rekonfigurasi)

Kondisi	Bus	Short Circuit (kA)		
		kA Real	kA Imaginary	Magnitude
Sailing	Generator Panel	5,860	-22,341	23,096
	MSB 450 V No. 1	5,860	-22,341	23,096
	MSB 450 V No. 2	5,860	-22,341	23,096
	MSB 220 V	9,041	-28,499	29,898
Loading/unloading	Generator Panel	6,112	-31,453	32,041
	MSB 450 V No. 1	6,112	-31,453	32,041
	MSB 450 V No. 2	6,112	-31,453	32,041
	MSB 220 V	10,145	-34,908	36,353
	Generator Panel	6,769	-29,855	30,613

Kondisi	Bus	Short Circuit (kA)		
		kA Real	kA Imaginary	Magnitude
Leaving/arriving	MSB 450 V No. 1	6,769	-29,855	30,613
	MSB 450 V No. 2	6,769	-29,855	30,613
	MSB 220 V	10,391	-33,831	35,391
At Port	Generator Panel	3,165	-10,882	11,333
	MSB 450 V No. 1	3,165	-10,882	11,333
	MSB 450 V No. 2	3,165	-10,882	11,333
	MSB 220 V	5,485	-17,227	18,079

Setelah dilakukan rekonfigurasi terdapat beberapa perubahan yang terjadi pada *bus-bus* utama. Perubahan pertama yaitu pada seluruh *bus* utama yang pada awalnya adalah *bus* AC diubah menjadi *bus* DC. Kemudian pada *bus* MSB 220 V berganti menjadi MSB 450 V No. 3 karena yang sebelumnya memiliki *rating* tegangan 220 V sekarang berubah menjadi 450 V menyesuaikan dengan titik pemasangan *inverter* yang berperan sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) sekaligus penurun tegangan. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.19 total nilai arus *short circuit* yang terjadi pada *generator panel*, MSB 450 V No. 1, dan MSB 450 V No. 2 masih memiliki nilai yang sama yaitu 7,333 kA di kondisi *loading/unloading*, 4,333 *at port*, serta 6,500 pada kondisi *sailing* dan *leaving/arriving*.

Tabel 4.19 *Short Circuit* pada *Bus* Utama (Setelah Rekonfigurasi)

Bus	Short Circuit (kA)			
	Sailing	Loading	Port	Leaving
Generator Panel	6,500	7,333	4,333	6,500
MSB 450 V No. 1	6,500	7,333	4,333	6,500
MSB 450 V No. 2	6,500	7,333	4,333	6,500
MSB 450 V No. 3	6,500	7,333	4,333	6,500

Jika dibandingkan dengan sebelum rekonfigurasi dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai arus *short circuit* setelah dilakukan rekonfigurasi. Penurunan ini disebabkan oleh beberapa faktor, yang pertama yaitu dikarenakan *bus* utama sudah berbentuk *bus* DC, maka untuk *short circuit* yang dihasilkan beban-beban peralatan AC dari arah bawah tidak lagi berkontribusi pada *bus-bus* utama tersebut. Arus *short circuit* yang berkontribusi pada *bus-bus* utama tersebut hanya diberikan oleh *generator* dari arah atas serta besarnya arus *short circuit* yang mengalir bergantung dari berapa banyak *generator* yang dioperasikan pada tiap-tiap kondisi. Kedua, sebelum dilakukan rekonfigurasi *bus-bus* utama menggunakan *bus* AC yang mana pada distribusinya berbentuk arus AC. Pada distribusi arus AC besar arus *short circuit* akan bergantung kepada daya aktif yang mempengaruhi besarnya kA *real* serta daya reaktif pada kA *imaginary* yang bernilai negatif sebagai tanda bilangan imajiner. Dengan begitu nilai *short circuit* yang terjadi bisa terbilang akan cukup besar karena akan dipengaruhi oleh dua nilai tersebut, sedangkan setelah rekonfigurasi distribusi yang mengalir menuju *bus* utama adalah arus DC yang tidak dipengaruhi adanya daya reaktif sehingga nilai arus *short circuit* hanya ditentukan oleh daya aktif saja.

Selain pada nilai arus *short circuit* antara sebelum dan setelah rekonfigurasi juga terjadi perubahan terhadap beberapa *circuit breaker*. Perubahan tersebut terjadi karena beberapa alasan, pertama perubahan pada nilai *rated ampere circuit breaker* dikarenakan nilai *rated ampere circuit breaker* lebih kecil dari arus yang mengalir sehingga perlu penyesuaian. Pada Tabel 4.20 ditampilkan *Circuit Breaker* yang mengalami perubahan nilai *rated ampere*

meliputi CB A4.5 pada ST 1 *booster alpha lub*, CB A9 pada *bus fresh water hyd.*, CB A12 pada *bus incinerator*, CB A15 pada *bus provision crane*, CB A16 pada *bus prov. Refrigeration plan*, dan CB B3 pada *bus floor no. 2*. Kedua, dikarenakan terdapat penambahan bus kelompok baru untuk pemasangan *inverter* maka diperlukan *circuit breaker* baru pula sebagai proteksi *inverter*. *Circuit breaker* tersebut adalah CB 68 pada *inverter 1*, CB 69 pada *inverter 2*, CB 70 pada *inverter 3*, CB 53 pada *inverter 5*, CB 61 pada *inverter 6*, CB 62 pada *inverter 7*, CB 75 pada *inverter 8*, CB 77 pada *inverter 9* dan CB PV pada Photovoltaic.

Tabel 4.20 Perubahan *Circuit Breaker*

Name ID	Perubahan Circuit Breaker	
	Rating Ampere (A)	
	Sebelum	Setelah
CB A9	15	20
CB A12	30	50
CB A15	15	25
CB A16	15	40
CB B3	400	630
CB A4.5	15	20
CB B4.5	15	20
CB 68	-	1250
CB 69	-	630
CB 70	-	200
CB 53	-	800
CB 61	-	630
CB 62	-	250
CB 75	-	150
CB 77	-	30
CB PV	-	200

#### 4.12 Perbandingan Nilai Short Circuit Simulasi dan Perhitungan Manual

Setelah melakukan simulasi *load flow* dan *short circuit* pada semua kondisi sebelum direkonfigurasi dan setelah direkonfigurasi. Didapatkan nilai arus operasi dan *short circuit* pada semua kondisi sebelum rekonfigurasi dan setelah direkonfigurasi. Perbandingan Nilai *Short Circuit* antara Simulasi dan Perhitungan Manual diperlukan memastikan apakah ada deviasi antara dua metode tersebut.

Arus gangguan hubungan singkat atau *short circuit* adalah nilai tegangan dibagi dengan nilai impedansi. Tegangan didapat dari data yang diperoleh saat pengumpulan data, sedangkan impedansi diperoleh dari hasil simulasi hubungan singkat seperti pada Gambar 4.25. Sehingga berdasarkan rumus hubungan singkat perhitungan manual dengan sampel analisa *short circuit* kondisi *Sailing* setelah direkonfigurasi pada bus Floor No.2

Bus		Positive Seq. Imp. (ohm)			Negative Seq. Imp. (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
Floor No. 2	0.450	0.05187	0.14368	0.15276	0.04949	0.19021	0.19654

Gambar 4. 25 Report Hasil Simulasi Impedansi Bus *Floor No.2*

$$Z = 0,05187 + j0,14368 \Omega = 0,15276 \Omega$$

$$V = 0,45 \text{ kV}$$



$$Ea = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$Ea = \frac{0,45 \text{ kV}}{\sqrt{3}}$$

$$Ea = 0.2598076211 \text{ kV}$$

1. Perhitungan *Short Cicuit* Pada Floor 2

$$Ia = \frac{Ea}{Z}$$

$$Ia = \frac{0.2598076211 \text{ kV}}{0,15276 \Omega}$$

$$Ia = 1,700756 \text{ kA}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka di dapatkan perbedaan nilai short circuit antara hasil simulasi dan perhitungan. Bisa kita lihat bahwasannya pada simulasi didapatkan nilai **2,403 kA** sedangkan pada hasil perhitungan didapatkan **1,700 kA**. Nilai simulasi memiliki perbedaan hampir 1,5 dari perhitungan manual. Perbandingan rating arus hubung

singkat perhitungan manual berbeda dengan hasil simulasi dikarenakan oleh beberapa faktor, yaitu : ketelitian, pembulatan angka di belakang koma, dan pemahaman rumus

#### 4.13 Pengaturan Koordinasi Proteksi

Setelah melakukan rekonfigurasi untuk mengubah distribusi listrik dari AC menjadi DC maka perlu dilakukan koordinasi ulang pada proteksi yang digunakan. Koordinasi proteksi dilakukan untuk memastikan pemasangan proteksi yang digunakan mampu bekerja saat terjadinya gangguan. Pada koordinasi proteksi ini akan dilakukan perhitungan kebutuhan proteksi pada aliran distribusi melalui pengaturan pada *trip device* yang digunakan.

Dalam pemasangan sistem proteksi perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan pengaturan *trip device* pada *circuit breaker*. Dalam pemasangan *circuit breaker* terdapat beberapa nilai pengaturan yang perlu diperhitungkan terlebih dahulu yaitu pengaturan arus *long time pick up* dan *short time pick up*. Untuk menghitung kedua nilai tersebut berpedoman pada Standard British 142 yaitu rentang *setting long time pick up* pada 1,05 – 1,4 FLA dan *short time pick up* pada 1,6 FLA – 0,8 Isc minimum. Perhitungan pengaturan *trip device* ini akan dilakukan pada beberapa skenario analisis di tiap-tiap kondisi. Berikut adalah skenario yang akan dilakukan:

1. Skenario 1: Kondisi *Sailing, Tank Cleaning Pump* dengan nilai arus *short circuit* sebesar 0,925 kA.
2. Skenario 2: Kondisi *Loading/Unloading, No. 1 Cargo Pump* dengan nilai arus *short circuit* sebesar 2,364 kA.
3. Skenario 3: Kondisi *Leaving/Arriving, No. 2 Hyd. Pump For W* dengan nilai arus *short circuit* sebesar 0,706 kA.
4. Skenario 4: Kondisi at Port, *Main AC Compressor* dengan nilai arus *short circuit* sebesar 0,457 kA.

##### 4.13.1. Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 1

Perhitungan *trip device* pada Tabel 4.21 menunjukkan sebuah skenario kondisi *sailing*. Pada skenario tersebut terdapat sebuah pengamanan dengan susunan tiga level proteksi. Pada level terendah terdapat CB B3.2 sebagai proteksi pertama yang melindungi *Tank Cleaning Pump*. CB B3.2 akan menunda aliran arus pada beban 105% untuk kemudian akan

*trip* ketika menyentuh 175 A karena sudah dianggap beban berlebih.

Tabel 4.21 Perhitungan Arus Long Time Pick Up Skenario 1

Long Time Pick Up					
No	Id CB	FLA (A)	1,05 FLA (A)	Iset(A)	1,4 FLA
1	CB B3.2	146,8	154,14	175	205,52
2	CB B3	393,6	413,28	420	551,04
3	CB 53	406,7	427,035	441	569,38

Sama halnya seperti perhitungan *trip device* pada *long time pick up*, terlihat pada Tabel 4.22 dijelaskan bahwa perhitungan *short time pick up* juga memiliki tiga level proteksi. Proteksi pertama yaitu CB B3.2 yang merupakan pengamanan langsung untuk *Tank Cleaning Pump*. Sebagai proteksi pertama, CB B3.2 akan melakukan *trip* ketika arus yang mengalir mencapai 400 A. Perhitungan ini diperuntukkan untuk pengaturan proteksi saat terjadi arus berlebih karena gangguan *short circuit*.

Tabel 4.22 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 1

Short Time Pick Up						
No	Id CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6 FLA(A)	Iset(A)	0,8 Isc Min (A)
1	CB B3.2	146,8	1505	234,88	350	1204
2	CB B3	393,6	791	629,76	630	632,8
3	CB 53	406,7	676	650,72	661,5	540,8

#### 4.13.2. Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 2

Pada perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4.23 berikut menunjukkan sebuah skenario pada kondisi *loading/unloading*. Pada skenario 2 ini memiliki pengamanan dengan susunan tiga level proteksi. Pada level terendah terdapat CB A4.2 sebagai proteksi pertama yang melindungi *No. 1 Cargo Pump*. Ketika terjadi arus lebih karena beban berlebih, CB A4.2 akan menunda aliran arus pada beban saat 105%. Kemudian sewaktu beban berlebih menyentuh 400 A akan terjadi *trip* karena sudah dianggap beban berlebih.

Tabel 4.23 Perhitungan Arus Long Time Pick Up Skenario 2

Long Time Pick Up					
No	Id CB	FLA (A)	1,05 FLA (A)	Iset (A)	1,4 FLA
1	CB A4.2	375,2	393,96	400	525,28
2	CB A4	731,5	768,075	780	1024,1
3	CB 68	758,5	796,425	800	1061,9

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.24 perhitungan *trip device* untuk *short time pick up* tersusun dalam tiga level proteksi. Pada level terendah CB B3.2 bertindak sebagai proteksi pertama dari *No. 1 Cargo Pump*. CB B3.2 akan melakukan *trip* ketika arus yang mengalir mencapai 800 A. Perhitungan ini diperuntukkan untuk pengaturan proteksi saat terjadi gangguan arus *short circuit*.

Tabel 4. 24 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 2

Short Time Pick Up						
No	Id CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6 FLA(A)	Iset(A)	0,8 Isc Min (A)
1	CB A4.2	375,2	2364	600,32	800	1891,2
2	CB A4	731,5	6441	1170,4	1170	5152,8

Short Time Pick Up						
No	Id CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6 FLA(A)	Iset(A)	0,8 Isc Min (A)
3	CB 68	758,5	6431	1213,6	1200	5144,8

#### 4.13.3. Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 3

Pada perhitungan *trip device* yang ditampilkan pada Tabel 4.25 menunjukkan sebuah skenario pada kondisi *leaving/arriving*. Skenario 3 memiliki pengaman dengan susunan tiga level proteksi. Pada level terendah terdapat CB B7.4 sebagai proteksi pertama yang melindungi No. 2 Hyd. Pump For W. Ketika terjadi arus lebih karena beban berlebih, CB B7.4 akan menunda aliran arus pada beban 105%. Kemudian sewaktu beban berlebih menyentuh 150 A akan terjadi *trip* karena sudah dianggap beban berlebih.

Tabel 4.25 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 2

Long Time Pick Up					
No	Id CB	FLA (A)	1,05 FLA (A)	Iset (A)	1,4 FLA
1	CB B7.4	112,1	117,705	125	156,94
2	CB B7	169,1	177,555	200	236,74
3	CB B1	225,8	237,09	250	316,12

Sama halnya seperti perhitungan *trip device* pada *long time pick up*, terlihat pada Tabel 4.26 dijelaskan bahwa perhitungan *short time pick up* juga memiliki tiga level proteksi. Pada level terendah terdapat CB B7.4 sebagai proteksi pertama dari No. 2 Hyd. Pump For W. Sebagai proteksi pertama, CB B7.4 akan melakukan *trip* ketika arus yang mengalir mencapai 225 A. Perhitungan ini diperuntukkan untuk pengaturan proteksi saat terjadi gangguan arus berlebih karena gangguan *short circuit*.

Tabel 4.26 Perhitungan Arus Short Time Pick Up Skenario 3

Short Time Pick Up						
No	Id CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6 FLA (A)	Iset (A)	0,8 Isc Min (A)
1	CB B7.4	112,1	1192	179,36	250	953,6
2	CB B7	169,1	623	270,56	300	498,4
3	CB B1	225,8	376	361,28	375	300,8

#### 4.13.4. Perhitungan Pengaturan Trip Device Skenario 4

Pada perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4.27 berikut menunjukkan sebuah skenario dengan susunan tiga level proteksi. Pada level terendah terdapat CB 149 sebagai proteksi pertama yang melindungi *main ac compressor*. CB 149 akan menunda aliran arus pada beban 105% untuk kemudian akan *trip* ketika menyentuh 96 A karena sudah dianggap beban berlebih

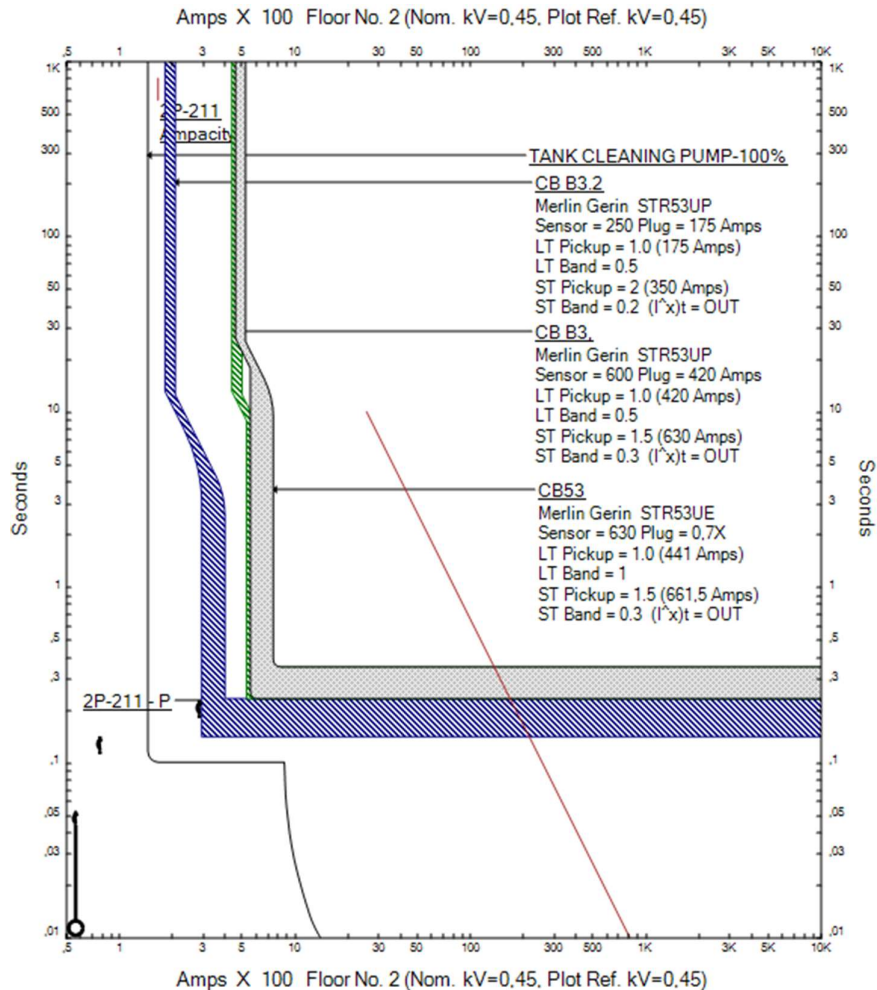
Tabel 4.27 Perhitungan Arus Long Time Pick Up Skenario 4

Long Time Pick Up					
No	Id CB	FLA (A)	1,05 FLA (A)	Iset (A)	1,4 FLA
1	CB 149	72,56	76,188	92,4	101,584
2	CB A14	81,1	85,155	126	113,54
3	CB A15	198,4	208,32	225	277,76



Jika dilihat pada Gambar 4.26 terdapat urutan pemutusan *circuit breaker* saat terjadi gangguan. Pada pemutusan gangguan arus *short circuit* tersebut akan dilakukan koordinasi proteksi *circuit breaker* mulai dari yang terdekat CB B3.2, CB B3, dan CB 53. Dilihat dari lokasi terdekat CB B3.2 sebagai proteksi pertama akan melindungi *Tank*

*Cleaning Pump* sekaligus pengaman untuk *Bus Floor No. 2*. Kemudian CB B3 sebagai proteksi dari *bus Floor 2* sekaligus *back up* proteksi apabila CB B3.2 gagal melakukan proteksi. Kemudian yang terakhir adalah CB 53 sebagai *back up* proteksi terakhir sekaligus perlindungan untuk *inverter*.



Gambar 4.27 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 1

Melalui kurva arus waktu pada Gambar 4.27 di atas dapat diamati beberapa komponen yang bekerja mulai dari kurva *Tank Cleaning Pump* serta kurva *circuit breaker* CB B3.2, CB B3, dan CB 53. Analisis yang diperoleh melalui simulasi skenario 1 adalah sebagai berikut:

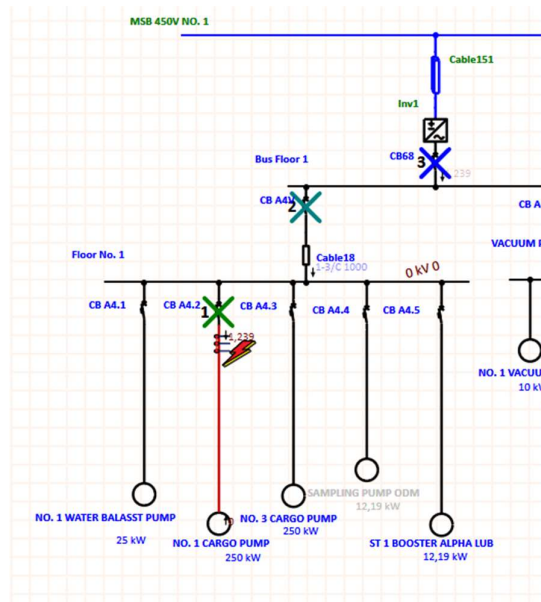
1. Kurva *tank cleaning pump* dari bawah ke atas terlihat diawali dengan besaran arus start motor yang kemudian kembali ke arus nominal sesuai nilai FLA setelah 0,1 detik.
2. Kurva CB B3.2 dengan warna biru merupakan *circuit breaker* yang bertindak sebagai proteksi pertama dari *tank cleaning pump*. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pickup* sebesar 175 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih sampai atau lebih dari 175 A maka dapat terdeteksi oleh *circuit breaker* ini dalam waktu 1 detik untuk kemudian *trip* dengan *delay* waktu 15 – 50 detik. Karena terdapat *delay* waktu 4 – 12

detik maka *circuit breaker* tidak akan langsung memutuskan arus lebih tersebut. Selain itu pada *circuit breaker* ini terdapat nilai *short time pick up* sebesar 350 A yang artinya ketika aliran arus berlebih yang terjadi karena gangguan *short circuit* mencapai 350 A akan dapat dideteksi dalam 2 detik untuk kemudian akan *trip* dalam waktu 0,2 detik.

3. Kurva CB B3 dengan warna hijau merupakan *circuit breaker* yang bertindak sebagai proteksi dari *bus Floor 2* sekaligus *back up* dari CB B3.2 apabila gagal memproteksi. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pick up* sebesar 420 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih yang mengakibatkan arus mengalir sampai lebih dari 420 A dapat terdeteksi selama 2 detik untuk kemudian *trip* dalam waktu 6 – 12 detik. Selain itu juga terdapat nilai *short time pick up* sebesar 630 A yang dapat terdeteksi dalam 1,5 detik ketika arus lebih karena gangguan *short circuit* mencapai 630 A untuk kemudian *trip* dalam waktu 0,3 detik
4. Kurva CB 53 dengan warna abu-abu memiliki kurva yang berada paling kanan, merupakan *circuit breaker* yang menjadi proteksi *inverter* sekaligus *back up* terakhir apabila CB B3.2 dan CB B3 gagal memproteksi. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pick up* sebesar 441 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih sampai atau lebih dari 441 A maka dapat terdeteksi oleh *circuit breaker* ini dalam waktu 1 detik untuk kemudian *trip* dengan *delay* waktu 7 – 50 detik. Selain itu juga terdapat nilai *short time pick up* sebesar 661,5 A yang dapat terdeteksi dalam 1,5 detik ketika arus lebih karena gangguan *short circuit* mencapai 661,5 A untuk kemudian *trip* dalam waktu 0,3 detik.

#### 4.14.2 Analisis Skenario 2

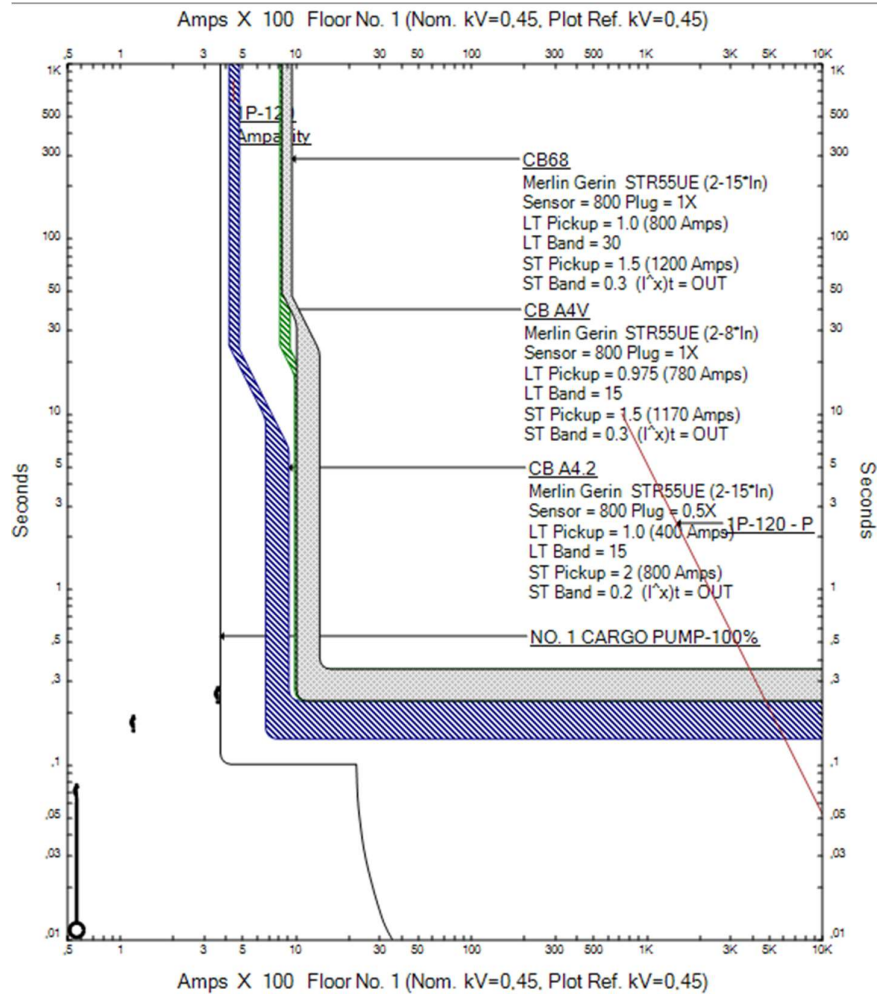
Skenario 2 adalah sebuah skenario pada kondisi sailing, pada kondisi ini peralatan No. 1 *Cargo Pump* yang beroperasi mengalami gangguan. Gangguan diberikan secara sengaja pada peralatan tersebut menggunakan *star – protection & coordination* pada *software* simulator sistem distribusi listrik.



Gambar 4.28 Urutan Pemutusan Kontak Skenario 2

Jika dilihat pada Gambar 4.28 di atas terdapat urutan pemutusan *circuit breaker* saat terjadi gangguan. Pada pemutusan gangguan arus *short circuit* tersebut akan dilakukan koordinasi proteksi *circuit breaker* mulai dari yang terdekat CB A4.2, CB A4, dan CB 68. Dilihat dari lokasi terdekat CB A4.2 sebagai proteksi pertama akan melindungi No. 1 *Cargo Pump*

*Pump* sekaligus pengamanan untuk *Bus Floor No. 1*. Kemudian CB A4 sebagai proteksi dari *bus Floor 1* sekaligus *back up* proteksi apabila CB A4.2 gagal melakukan proteksi. Kemudian yang terakhir adalah CB 68 sebagai *back up* proteksi terakhir sekaligus perlindungan untuk *inverter*.



Gambar 4.29 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 2

Melalui kurva arus waktu pada Gambar 4.29 di atas dapat diamati beberapa komponen yang bekerja mulai dari kurva *No. 1 Cargo Pump* serta kurva *circuit breaker* CB A4.2, CB A4, dan CB 68. Analisis yang diperoleh melalui simulasi skenario 2 adalah sebagai berikut:

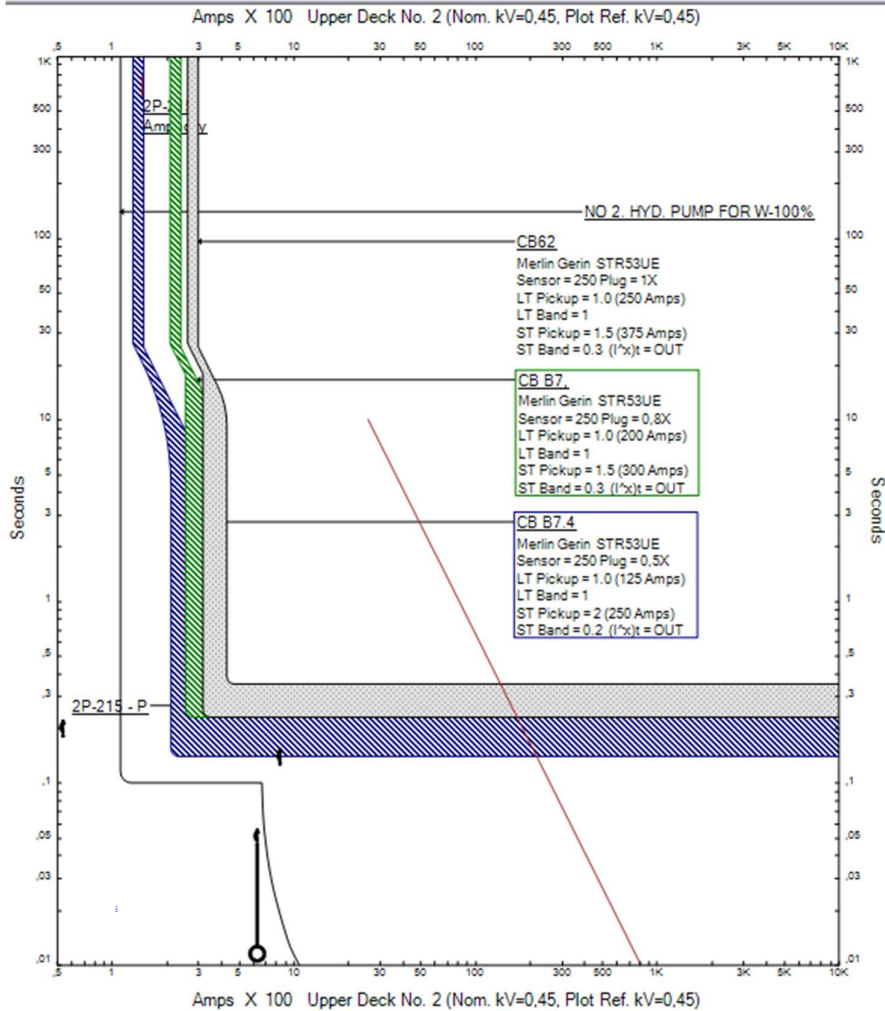
1. Kurva *No. 1 Cargo Pump* dari bawah ke atas terlihat diawali dengan besaran arus start motor yang kemudian kembali ke arus nominal sesuai nilai FLA setelah 0,1 detik.
2. Kurva CB A4.2 dengan warna biru merupakan *circuit breaker* yang bertindak sebagai proteksi pertama dari *No. 1 Cargo Pump*. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pick up* sebesar 400 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih sampai atau lebih dari 400 A maka dapat terdeteksi oleh *circuit breaker* ini dalam waktu 1 detik untuk kemudian *trip* dengan *delay* waktu 6 – 25 detik. Karena terdapat *delay* waktu 6 – 24 detik maka *circuit breaker* tidak akan langsung memutus arus lebih tersebut. Selain itu pada *circuit breaker* ini terdapat nilai *short time pick up* sebesar 800 A yang artinya ketika aliran arus berlebih yang terjadi karena gangguan *short circuit* mencapai 800 A akan dapat dideteksi dalam 2 detik untuk kemudian akan *trip* dalam waktu 0,2 detik.
3. Kurva CB A4 dengan warna hijau merupakan *circuit breaker* yang bertindak sebagai proteksi dari *bus Floor 1* sekaligus *back up* dari CB A4.2 apabila gagal memproteksi.







Jika dilihat pada Gambar 4.30 di atas terdapat urutan pemutusan *circuit breaker* saat terjadi gangguan. Pada pemutusan gangguan arus *short circuit* tersebut akan dilakukan koordinasi proteksi *circuit breaker* mulai dari yang terdekat CB B7.4, CB B7, dan CB 62. Dilihat dari lokasi terdekat CB B7.4. sebagai proteksi pertama akan melindungi *No. 2 Hyd. Pump for W.* sekaligus pengaman untuk *Bus Upper Deck No. 2*. Kemudian CB B7 sebagai proteksi dari *bus upper deck 2* sekaligus *back up* proteksi apabila CB B7.4 gagal melakukan proteksi. Kemudian yang terakhir adalah CB 62 sebagai *back up* proteksi terakhir sekaligus perlindungan untuk *inverter*.

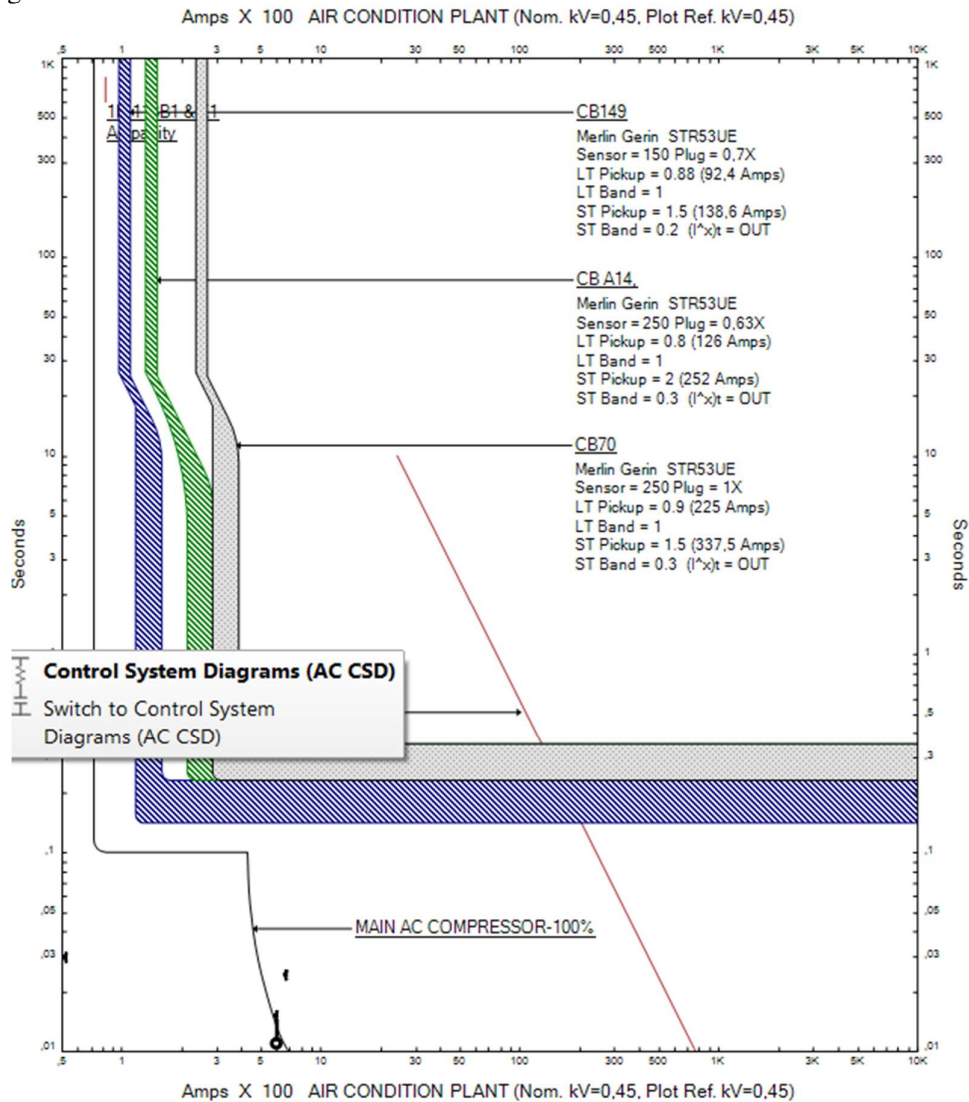


Gambar 4.31 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 3

Melalui kurva arus waktu pada Gambar 4.31 di atas dapat diamati beberapa komponen yang bekerja mulai dari kurva *Main AC Compressor* serta kurva *circuit breaker* CB B7.4, CB B7, dan CB 62. Analisis yang diperoleh melalui simulasi skenario 3 adalah sebagai berikut:



Seperti terlihat pada Gambar 4.32 di atas peralatan *Main AC Compressor* dengan sengaja diberikan gangguan arus *short circuit* menggunakan *star protection coordination* melalui *software* simulator sistem distribusi listrik. Untuk mengatasi gangguan arus *short circuit* tersebut akan dilakukan pengamanan melalui koordinasi proteksi berupa *circuit breaker* mulai dari yang terdekat CB 149, CB A14, dan CB 70. Dilihat dari lokasi terdekat CB 149 sebagai proteksi pertama akan melindungi *Main AC Compressor* sekaligus pengamanan untuk *bus Air Condition Plant*. Kemudian CB A14 sebagai proteksi dari bus *upper deck 1* sekaligus *back up* proteksi apabila CB 149 gagal melakukan proteksi. Kemudian yang terakhir adalah CB 70 sebagai *back up* proteksi terakhir sekaligus perlindungan untuk *inverter*.



Gambar 4. 33 Kurva Koordinasi Proteksi Skenario 4

Melalui kurva arus waktu pada Gambar 4.33 di atas dapat diamati beberapa komponen yang bekerja mulai dari kurva *Main AC Compressor* serta kurva *circuit breaker* CB 149, CB A14, dan CB 70. Analisis yang diperoleh melalui simulasi skenario4 adalah sebagai berikut:

1. Kurva *Main AC Compressor* dari bawah ke atas terlihat diawali dengan besaran arus start motor yang kemudian kembali ke arus nominal sesuai nilai FLA setelah 0,1 detik.
2. Kurva CB 149 dengan warna biru merupakan *circuit breaker* yang bertindak sebagai proteksi pertama dari *Main AC Compressor*. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pickup* sebesar 92,4 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih sampai

atau lebih dari 92,4 A maka dapat terdeteksi oleh *circuit breaker* ini dalam waktu 0,88 detik untuk kemudian *trip* dengan *delay* waktu 12 – 25 detik. Karena terdapat *delay* waktu 12 – 25 detik maka *circuit breaker* tidak akan langsung memutus arus lebih tersebut. Selain itu pada *circuit breaker* ini terdapat nilai *short time pick up* sebesar 184,8 A yang artinya ketika aliran arus berlebih yang terjadi karena gangguan *short circuit* mencapai 184,8 A akan dapat dideteksi dalam 2 detik untuk kemudian akan *trip* dalam waktu 0,2 detik.

3. Kurva CB A14 dengan warna hijau merupakan *circuit breaker* yang bertindak sebagai proteksi dari *bus upper deck* 1 sekaligus *back up* dari CB 149 apabila gagal memproteksi. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pick up* sebesar 126 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih yang mengakibatkan arus mengalir sampai lebih dari 126 A dapat terdeteksi selama 0,9 detik untuk kemudian *trip* dalam waktu 10 – 50 detik. Selain itu juga terdapat nilai *short time pick up* sebesar 270 A yang dapat terdeteksi dalam 2 detik ketika arus lebih karena gangguan *short circuit* mencapai 270 A untuk kemudian *trip* dalam waktu 0,3 detik.
4. Kurva CB 70 dengan warna abu-abu memiliki kurva yang berada paling kanan, merupakan *circuit breaker* yang menjadi proteksi bus *provision crane* sekaligus *back up* terakhir apabila CB 149 dan CB A14 gagal memproteksi. Pada *circuit breaker* ini memiliki nilai *long time pick up* sebesar 225 A yang mengartikan bahwa ketika terjadi beban berlebih sampai atau lebih dari 225 A maka dapat terdeteksi oleh *circuit breaker* ini dalam waktu 0,9 detik untuk kemudian *trip* dengan *delay* waktu 12 – 25 detik. Selain itu juga terdapat nilai *short time pick up* sebesar 337,5 A yang dapat terdeteksi dalam 1,5 detik ketika arus lebih karena gangguan *short circuit* mencapai 337,5 A untuk kemudian *trip* dalam waktu 0,3 detik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **Kesimpulan dan Saran**

#### **5.1 Gambaran Umum Penelitian**

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis *short circuit* dan pengaturan koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan kapal tanker dengan sumber listrik *hybrid* diesel generator dan *photovoltaic* pada sistem distribusi listrik utama AC yang direkonfigurasi menjadi DC.

#### **5.2 Kesimpulan**

1. Jika dilihat dari semua kondisi nilai rata-rata arus *short circuit* yang terjadi sebelum dilakukan rekonfigurasi adalah sebesar **10,72 kA** sedangkan setelah rekonfigurasi sebesar **1,694 kA**. Berdasarkan empat kondisi yang telah dilakukan analisis didapatkan kesimpulan bahwa setelah dilakukan proses rekonfigurasi terjadi penurunan nilai rata-rata arus *short circuit* yang terjadi baik di tiap *bus* beban ataupun di tiap kondisi. Perubahan nilai *short circuit* terjadi dikarenakan perubahan komposisi penyusunan dengan penambahan *bus* baru untuk pemasangan *inverter*. Sebelum rekonfigurasi arus *short circuit* yang diterima pada suatu bus beban dipengaruhi oleh peralatan-peralatan yang ada dan kontribusi *short circuit* dari *bus-bus* beban lain yang terkumpul menjadi satu pada *bus* MSB 450V hingga akhirnya masuk ke *bus* beban tersebut. Sedangkan setelah rekonfigurasi terjadi pengelompokan *bus-bus* beban sesuai lokasi *deck* untuk pemasangan *inverter*. Karena hal itu kontribusi arus *short circuit* yang masuk dari *bus-bus* beban lain jauh lebih sedikit sehingga nilai rata-rata arus *short circuit* yang diterima jauh lebih kecil.
2. Berdasarkan dari proteksi yang sudah ada, setelah dianalisis melalui simulasi sebagian besar proteksi masih bisa menggunakan *circuit breaker* yang telah terpasang sebelumnya, namun terdapat beberapa yang memerlukan pengaturan ulang pada nilai *rated ampere circuit breaker* contohnya CB A9 pada *bus Fresh Water Hyd.* dari 15 A menjadi 20 A. Selain itu dari hasil simulasi dan analisis yang dilakukan dikarenakan terdapat penambahan *inverter* pada tiap *bus* kelompok percabangan maka terjadi penambahan beberapa *circuit breaker* untuk memproteksi *inverter*. *Circuit breaker* tersebut contohnya adalah CB 68 pada kelompok *bus Floor 1* dengan *rated ampere* 1250 A. Serta penambahan *circuit breaker* akibat penambahan *photovoltaic* yaitu CB PV dengan *rate ampere* 200 A.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian serupa di kemudian hari yaitu :

1. Diperlukan penelitian analisis ekonomi
2. Diperlukan penelitian lanjutan penambahan penggunaan *battery* dengan sistem PV *off-grid*
3. Diperlukan penelitian *hybrid* dengan sumber Energi Terbarukan Lain seperti angin
4. Dapat menggunakan kapal jenis lain

## DAFTAR PUSTAKA

- Kementrian ESDM (2010). Dikutip Februari 4, 2022, dari *esdm.go.id*
- Putri D.P. (2016) Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid* (Sel Surya dan Diesel Generator) Pada Kapal Tanker PT. Pertamina (Persero) Perkapalan (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Gumilang A.R.N (2021) “Analisis Short Circuit dan Pengaturan Koordinasi Proteksi Akibat Rekonfigurasi Sistem Distribusi Listrik AC Menjadi DC Pada Kapal Tanker Berbasis Simulasi” (Institut Teknolgo Sepuluh Nopember)
- Khan U.S, Arbab M.N (2018) Impact of Solar PV Integration on Short Circuit Current and Protection of Distribution System. *International Journal of Engineering Works*
- Tupper E. (2013) *Introduction to Naval Architecture*
- Ali, M. (2018). *APLIKASI ELEKTRONIKA DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK*. Yogyakarta: Muhamad Ali
- Hammerstrom, D. J. (2007, June). AC versus DC distribution systems did we get it right? In *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting* (pp. 1-5). IEEE.
- Haugan, E., Rygg, H., Skjellnes, A., & Barstad, L. (2016, June). Discrimination in offshore and marine dc distribution systems. In *2016 IEEE 17th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)* (pp. 1-7). IEEE.
- Karina, R. (2017). *Perancangan Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Sistem Kelistrikan Di Perencanaan Kapal Tanker Menggunakan Trip Device Electro Mechanical* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Nasional, D. P. (2003). *Teknik Dasar Rectifier dan Inverter*.
- Prenc, R., Cuculić, A., & Baumgartner, I. (2016). Advantages of using a DC power system on board ship. *Pomorski zbornik*, 52(1), 83-97.
- Rochman, A. (2012). Analisis perbandingan sistem kelistrikan AC dan DC pada jaringan tegangan rendah= Comparison analysis of AC and DC system in low voltage grid.
- Saputra, V. B. (2016). Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik Di Kso Pertamina Ep–Geo Cepu Indonesia Distrik 1 Kawangan Menggunakan Software Etap 12.6 (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Siana, S. W. (2018). Pengaturan Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan di Kapal Tanker dengan Simulasi (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Qi, L., Antoniazzi, A., & Raciti, L., IEEE (2018) DC Distribution Fault Analysis Protection Solutions, and Example Implementations. IEEE
- Nayar, C. v., Phillips, S. J., James, W. L., Pryor, T. L., & Remmer, D. (1993). NOVEL WIND / DIESEL / BATTERY HYBRID ENERGY SYSTEM (Vol. 51, Issue 1).
- Kurniawan, A. (2016). A Review of Solar-Powered Boat Development. *The Journal for Technology and Science*, 27(1).
- Safitri, N., & Rihayat, T. (2019). *BUKU TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*. Politeknik Negeri Lhokseumawe. <https://www.researchgate.net/publication/341909134>
- Sastri A. P. (2020) Analisa Gangguan Short Circuit dan Pengaturan Koordinasi Proteksi pada Container Crane Disuplai Dengan Energi Terbarukan Berbasis Simulasi (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Khamis,A.,Ghani,M.R.A.,Gan, C.I.,Aras,M.S.M.,Shah,H.N.M.,&Rashid,M.Z.Ab.(2017) Design and Analysis of Diesel Generator With Batteray Storage for Microgrid System. *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology (IJAERT)*
- Statista Research Department. (2020). Number of ships in the world merchant fleet. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/264024/number-of-merchantships-worldwide-by-type>

Baldi F., Johnson H., Gabrieli C., Andersson K. (2014). Energy Analysis of Ship Energy System- The Case of Chemical Tanker. International Conference on Applied Energy: Swedia.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### *Short Circuit AC (Setelah Rekonfigurasi)*

Bus	Equipment	Short Circuit			
		Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
GSP 1	Bus 2nd Deck 1	2,707	1,865	2,853	2,74
	Main Central Cool SW Pump 1	0,426	-	-	0,426
	Aux. Cool SW Pump	-	0,29	0,29	-
	Central Cool FW Pump 1	0,608	-	-	0,608
	Main LO Pump 1	0,382	-	-	0,382
	FO Transfer Pump 1	0,049	0,049	0,049	0,049
	HT FW Pump 1	0,079	-	-	0,079
	Fire & GS Pump 1	-	0,393	-	0,393
	M/E Air Cooler Cleaning	-	-	-	-
	Bilge Pump 1	0,017	0,017	0,017	0,017
	Purifier Rm Space Exh. Fan	0,03	0,03	0,03	0,03
	E/R Supply Fan 1	0,371	0,371	0,371	0,371
	Workshop Exh. Fan	0,017	0,017	0,017	0,017
	<b>Total</b>	<b>4,63</b>	<b>2,994</b>	<b>2,853</b>	<b>5,06</b>
GSP 2	Bus 2nd Deck 2	3,347	1,541	2,004	3,105
	Main Central Cool SW Pump 2	0,426	-	-	0,426
	Central Cool FW Pump Port	-	0,274	0,274	0,608
	Central Cool FW Pump 2	0,608	-	-	-
	Main LO Pump 2	0,382	-	-	0,382
	Jacket Water Preheating P	0,025	-	-	0,025
	HT Fresh Water Pump 2	0,079	-	-	0,079
	Fire & GS Pump 2	-	0,393	-	0,393
	DO Transfer Pump	0,017	-	-	0,017
	LO Transfer Pump	0,017	-	-	0,017
	Sludge Pump	0,017	-	-	0,017
	E/R Supply Fan 2	0,371	0,371	0,371	0,371
	<b>Total</b>	<b>5,257</b>	<b>2,548</b>	<b>2,634</b>	<b>5,403</b>
No. 1 DB E/R DB Purifier	Bus 2nd Deck 1	2,545	2,017	2,328	2,658
	LO Separator Motor 1	0,049	-	-	0,049
	LO Feed Pump 1	0,007	-	-	0,007
	FO Separator Motor 1	0,07	-	-	0,049
	FO Feed Pump 1	0,012	-	-	0,007
	ST For No. 1 Supp. Pump	0,025	-	-	0,025
	ST For No. 1 Circul. Pump	0,019	-	-	0,019
	ST For OWS	0,012	-	-	0,012
	Motor Homogenizer 1	0,064	-	-	0,064
<b>Total</b>	<b>2,789</b>	<b>2,017</b>	<b>2,328</b>	<b>2,989</b>	

Bus	Equipment	Short Circuit			
		Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
No. 2 DB E/R DB Workshop	Bus 2nd Deck 1	1,625	1,529	1,503	1,66
	Workshop Lathe	0,056	0,056	0,056	0,056
	Drill Machine	0,034	0,034	0,034	0,034
	Grinder	0,015	0,015	0,015	0,015
	M/E Turning Gear	0,022	0,022	0,022	0,022
	Electric Welder	-	-	-	-
	Test Panel	-	-	-	-
	Recep For Electric Welder	-	-	-	-
	Traveling	0,012	-	-	-
	Hoisting	0,03	-	-	-
	Travesting	0,008	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1,773</b>	<b>1,694</b>	<b>1,67</b>	<b>1,806</b>	
Accomodation Vent. Fan	Bus Upper Deck 1	0,981	1,101	1,061	1,416
	Galley Exh. Fan E-1	0,017	0,017	0,017	0,017
	Galley Supply Fan S-3	0,006	0,006	0,006	0,006
	Prov. Store Exh. Fan E-2	0,006	0,006	0,006	0,006
	Ldry & Dry RM Exh. Fan E-3	0,009	0,009	0,009	0,009
	Lavatory PS Exh. Fan E-4	0,006	0,006	0,006	0,006
	Lavatory SS Exh. Fan E-5	0,006	0,006	0,006	0,006
	Paint Store Exh. Fan E-19	0,006	0,006	0,006	0,006
	Smoking Room Exh. Fan E-17	0,006	0,006	0,006	0,006
	CO2 Room Exh. Fan E-10	0,006	0,006	0,006	0,006
	Change Room Exh. Fan E-18	0,006	0,006	0,006	0,006
	<b>Total</b>	<b>1,056</b>	<b>1,172</b>	<b>1,131</b>	<b>1,416</b>
Floor No. 1	Bus Floor 1	1,239	1,471	1,239	1,239
	No. 1 Water Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
	No. 1 Cargo Pump	-	2,364	-	-
	No. 3 Cargo Pump	-	2,364	-	-
	Sampling Pump ODM	-	-	-	-
	ST 1 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
	<b>Total</b>	<b>1,378</b>	<b>6,441</b>	<b>1,378</b>	<b>1,646</b>
E/R 2nd Deck No. 1	Bus 2nd Deck 1	4,282	2,934	2,561	4,932
	No. 1 M/E Aux. Blower	0,247	-	0,247	
	No. 1 A/E MDO Feed Pump	0,012	0,012	0,012	0,012
	No. 1 LO Priming Pump	0,015	0,015	0,015	0,015
	<b>Total</b>	<b>4,552</b>	<b>2,96</b>	<b>2,828</b>	<b>4,958</b>

Bus	Equipment	Short Circuit			
		Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
E/R 3rd Deck No. 1	Bus 2nd Deck 1	4,044	2,568	2,432	3,985
	No. 1 Main Air Compressor	0,426	0,426	0,426	0,426
	AC Unit No. 1 For ECR	-	-	-	-
	CP For ICCP	-	-	-	-
	No. 2 Hyd. Pump For ST Gear	0,133	-	-	0,133
	No. 1 Hyd Pump For MW	-	-	-	0,499
	<b>Total</b>	<b>4,594</b>	<b>2,981</b>	<b>2,843</b>	<b>5,026</b>
Upper Deck No. 1	Bus Upper Deck 1	1,168	1,495	1,495	1,168
	Bosun Store Supply Fan	0,012	0,012	0,012	0,012
	C. Pump RM Exh. Fan E-13	0,07	0,07	-	0,07
	No. 1 Hyd. Pump For W	-	-	-	0,706
	Lifeboat Davit Winch 1	-	-	-	-
	<b>Total</b>	<b>1,249</b>	<b>1,576</b>	<b>1,506</b>	<b>1,933</b>
Sewage Treatment PLan	Bus 2nd Deck 1	4,212	2,804	2,676	4,579
	Discharge Pump	0,022	0,022	0,022	0,022
	Blower STP	0,022	0,022	0,022	0,022
	<b>Total</b>	<b>4,256</b>	<b>2,847</b>	<b>2,72</b>	<b>4,623</b>
Fresh Water Hyd.	Bus 2nd Deck 1	1,599	1,508	1,484	1,632
	Pump 1 FW Hyd	0,059	0,059	0,059	0,059
	Pump 2 FW Hyd	0,059	0,059	0,059	0,059
	<b>Total</b>	<b>1,691</b>	<b>1,614</b>	<b>1,592</b>	<b>1,723</b>
Vacuum Pump	Bus Floor 1	1,373	6,123	1,373	1,639
	No. 1 Vacuum Pump	-	0,121	-	-
	No. 2 Vacuum Pump	-	0,121	-	-
	<b>Total</b>	<b>1,373</b>	<b>6,362</b>	<b>1,373</b>	<b>1,639</b>
Hyd. Control Valve	Bus Upper Deck 1	0,71	0,765	0,756	0,821
	No. 1 Hyd. Pump For Valve	0,025	0,025	0,025	0,025
	No. 2 Hyd. Pump For Valve	0,025	0,025	0,025	0,025
	<b>Total</b>	<b>0,759</b>	<b>0,812</b>	<b>0,803</b>	<b>0,866</b>
Incenerator	Bus 2nd Deck 1	2,945	2,145	2,257	3,224
	Flue Gas Fan Motor	0,104	-	-	-
	Fuel Gas Dumper Motor	0,103	-	-	-
	WO Circulating Pump	0,034	-	-	0,034
	<b>Total</b>	<b>3,182</b>	<b>2,145</b>	<b>2,257</b>	<b>3,258</b>
Air Condition Plant	Bus Upper Deck 1	0,647	0,96	0,893	1,292
	AHU Fan Motor	0,175	0,175	0,175	0,175
	Main AC Compressor	0,457	0,457	0,457	0,457
	Stand By AC Compressor	-	-	-	-
	<b>Total</b>	<b>1,249</b>	<b>1,569</b>	<b>1,501</b>	<b>1,917</b>

Bus	Equipment	Short Circuit			
		Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Provision Crane	Bus Upper Deck 1	1,222	1,222	1,156	1,873
	Hoist Motor	-	0,111	0,111	-
	Lifting Motor 1	-	0,111	0,111	-
	Lifting Motor 2	-	0,111	0,111	-
	<b>Total</b>	<b>1,222</b>	<b>1,552</b>	<b>1,486</b>	<b>1,873</b>
Prov. Refrigeration Plan	Inverter	0,03	-	-	-
	No. 1 Prov Ref Compressor	0,064	0,064	0,064	0,064
	No. 2 Prov Ref Compressor	0,064	0,064	0,064	0,064
	Vegetable RM Fan Motor	0,007	0,007	0,007	0,007
	Fish RM Fan Motor	0,006	0,006	0,006	0,006
	Meat RM Fan Motor	0,006	0,006	0,006	0,006
	Lobby Fan Motor	0,007	0,007	0,007	0,007
	<b>Total</b>	<b>0,182</b>	<b>0,182</b>	<b>0,182</b>	<b>0,182</b>
DB G-1	Bus Upper Deck 2	0,466	1,151	0,613	1,601
	Elect. Cooking Range	-	-	-	-
	Elect. Bake Oven	-	-	-	-
	Elect. Soup Boiler	-	-	-	-
	Elect. Rice Boiler	-	-	-	-
	Washing Machine No. 1	0,043	0,043	0,043	0,043
	Drying Machine	0,043	0,043	0,043	0,043
	Washing Machine No. 2	0,043	0,043	0,043	0,043
	Washing Machine No. 3	0,043	0,043	0,043	0,043
	Elect. Tumble Dryer No. 1	0,04	0,04	0,04	0,04
	Elect. Tumble Dryer No. 2	0,04	0,04	0,04	0,04
	<b>Total</b>	<b>0,715</b>	<b>1,4</b>	<b>0,863</b>	<b>1,848</b>
Thermal Oil Heater	Bus 2nd Deck 2	3,979	2,53	2,617	4,118
	Thermal Fluid Pump 1	0,415	-	-	0,415
	Thermal Fluid Pump 2	0,415	-	-	0,415
	Filling Pump	0,012	-	-	0,012
	No. 1 FO Pump	0,035	-	-	0,035
	No. 2 FO Pump	0,035	-	-	0,035
	Burner Motor Heater	0,154	-	-	0,154
	Economizer Pump 1	0,091	-	-	0,091
	Economizer Pump 2	0,091	-	-	0,091
	<b>Total</b>	<b>5,216</b>	<b>2,53</b>	<b>2,617</b>	<b>5,356</b>

Bus	Equipment	Short Circuit			
		Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
Floor No. 2	Bus Floor 2	0,791	1,241	0,791	0,791
	No. 2 Ballast Pump	-	0,285	-	0,285
	Tank Cleaning Pump	0,925	-	-	-
	Cargo Stripping Pump	0,608	-	-	-
	ST 2 Booster Alpha Lub	0,146	0,146	0,146	0,146
	No. 2 Cargo Pump	-	2,364	-	-
	<b>Total</b>	<b>2,403</b>	<b>3,884</b>	<b>0,931</b>	<b>1,203</b>
E/R 2nd Deck No. 2	Bus 2nd Deck 2	4,672	2,523	2,132	5,043
	No. 2 M/E Aux Blower	0,247	-	0,247	-
	FW Gen Ejector Pump	0,249	-	0,249	0,249
	<b>Total</b>	<b>5,165</b>	<b>2,523</b>	<b>2,62</b>	<b>5,291</b>
E/R 3rd Deck No. 2	Bus 2nd Deck 2	4,78	2,105	2,209	4,92
	No. 2 Main Air Compressor	0,426	0,426	0,426	0,426
	Circulating Pump	0,006	0,006	0,006	0,006
	ST. Gear RM Supply Fan	0,017	0,017	-	0,017
	AC Unit No. 2 For ECR	-	-	-	-
	CP For M/E Actuator	-	-	-	-
	<b>Total</b>	<b>5,222</b>	<b>2,542</b>	<b>2,629</b>	<b>5,363</b>
Upper Deck No. 2	Bus Upper Deck 2	0,623	0,623	0,623	0,623
	C. Pump RM Exh. Fan E-14	0,07	0,07	-	0,07
	Cargo Handling Crane	-	0,499	-	-
	No. 2 Hyd Pump For Valve	0,025	0,025	0,025	0,025
	No. 2 Hyd. Pump For W	-	-	-	0,706
	No. 2 Hyd Pump For MW	-	-	-	0,499
	Lifeboat Davit Winch 2	-	-	-	-
	AC Unit For Galley	-	-	-	-
	Hyd Pump For Store Crane	-	0,228	0,228	-
	<b>Total</b>	<b>0,717</b>	<b>1,418</b>	<b>0,867</b>	<b>1,881</b>
No. 1 DB E/R DB Purifier	Bus 2nd Deck 2	3,796	2,017	2,328	3,877
	Separator Motor LO	0,049	-	-	0,049
	Feed Pump LO	0,007	-	-	0,007
	Separator Motor FO	0,049	-	-	0,049
	Feed Pump FO	0,007	-	-	0,007
	Filter Motor	0,006	-	-	0,006
	<b>Total</b>	<b>3,912</b>	<b>2,017</b>	<b>2,328</b>	<b>3,993</b>
Sanitary SW	Bus Floor 2	1,741	2,63	0,753	0,977
	Sanitary SW Pump No. 1	0,059	0,059	0,059	0,059
	Sanitary SW Pump No. 2	0,059	0,059	0,059	0,059
	<b>Total</b>	<b>1,858</b>	<b>2,747</b>	<b>0,87</b>	<b>1,095</b>

Bus	Equipment	Short Circuit			
		Sailing (kA)	Loading- Unloading (kA)	At Port (kA)	Leaving/Arriving Port (kA)
E/R 3rd Deck- 220V	Bus 3rd Deck	0,172	0,171	0,172	0,172
	BCC	-	-	-	-
	V Grinder	0,013	0,013	0,013	0,013
	ECC	-	-	-	-
	Local Appliances Fifi	-	-	-	-
	UV Sterilizer	-	-	-	-
	MGMPs	-	-	-	-
	CAD	-	-	-	-
	<b>Total</b>	<b>0,184</b>	<b>0,184</b>	<b>0,184</b>	<b>0,184</b>
ESB 450 V	Inverter D	0,06	0,06	0,06	0,06
	Relay Box Horn	-	-	-	-
	Battery Charge	-	-	-	-
	Emg. Generator Vent Fan	0,012	0,012	0,012	0,012
	Emg. Fire Pump	-	-	-	-
	Emg. Air Compressor	-	-	-	-
	No. 2 LO Priming Pump	0,014	0,014	0,014	0,014
	No. 3 LO Priming Pump	0,014	0,014	0,014	0,014
	No. 1 Steering Gear	0,133			0,133
	DK Foam Pump		0,04	0,04	-
	Local Appliances Fifi	-	-	-	-
	Foam RM Exh. Vent Fan	0,006	0,006	0,006	0,006
	Batt RM Exh. Fan E-11	0,006	0,006	0,006	0,006
	No. 2 A/E MDO Feed Pump	0,012	0,012	0,012	0,012
	<b>Total</b>	<b>0,253</b>	<b>0,164</b>	<b>0,164</b>	<b>0,253</b>

### Komparasi Kondisi *Sailing*

Bus	Short Circuit (kA)		Circuit Breaker (A)		Kabel (mm <sup>2</sup> )	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
GSP 1	22,929	4,630	500	500	95	95
GSP 2	22,655	5,257	500	500	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	1,784	2,789	50	50	16	16
No. 2 DB E/R DB Workshop	1,478	1,773	100	20	50	4
Accommodation Vent. Fan	2,191	1,056	15	15	2,5	2,5
Floor No. 1	22,010	1,378	800	800	500	500
E/R 2nd Deck No. 1	18,253	4,552	50	50	10	10
E/R 3rd Deck No. 1	22,669	4,594	150	150	50	50
Upper Deck No. 1	21,554	1,249	175	175	35	35
Sewage Treatment PPlan	14,843	4,256	15	15	2,5	2,5
Fresh Water Hyd.	2,147	1,691	15	20	2,5	2,5
Vacuum Pump	4,465	1,373	40	40	10	10
Hyd. Control Valve	0,887	0,759	15	15	2,5	2,5
Incenerator	2,787	3,182	30	50	6	6
Air Condition Plant	16,208	1,249	150	150	70	70
Provision Crane	4,915	1,222	15	25	2,5	2,5
Prov. Refrigeration Plan	3,455	0,182	15	40	2,5	6,0
DB G-1	13,963	0,715	75	75	25	25
Thermal Oil Heater	21,571	5,216	175	175	95	95
Floor No. 2	22,138	2,403	400	630	400	400
E/R 2nd Deck No. 2	21,156	5,165	70	70	25	25
E/R 3rd Deck No. 2	22,326	5,222	70	70	25	25
Upper Deck No. 2	22,195	0,717	180	180	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	7,620	3,912	50	50	16	16
Sanitary SW	2,569	1,858	15	15	2,5	2,5
DB G-2	5,883	0,184	50	50	16	16
E/R 3rd Deck-220V	26,820	0,184	75	75	25	25
DB L-1	4,627	0,184	30	30	6	6
DB L-2	1,436	0,175	30	30	6	6
DB L-3 (A Deck)	1,267	0,174	30	30	6	6
DB/ACC	2,029	0,049	30	30	6	6
DB L-6	0,983	0,048	30	30	6	6
DB L-4	1,202	0,048	30	30	6	6
DB L-5(C Deck)	0,983	0,048	30	30	6	6
DB L-7	0,983	0,048	30	30	6	6
ESB 450 V	20,874	0,253	175	175	95	95
ESB 220 V	2,414	0,442	30	30	16	16
<b>Rata-rata</b>	<b>10,494</b>	<b>1,844</b>				



### Komparasi Kondisi *Loading/Unloading*

Bus	Short Circuit (kA)		Circuit Breaker (A)		Kabel (mm <sup>2</sup> )	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
GSP 1	31,593	2,994	500	500	95	95
GSP 2	31,033	2,548	500	500	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	1,704	2,017	50	50	16	16
No. 2 DB E/R DB Workshop	1,487	1,694	100	20	50	4
Accommodation Vent. Fan	2,217	1,172	15	15	2,5	2,5
Floor No. 1	30,491	6,441	800	800	500	500
E/R 2nd Deck No. 1	23,075	2,960	50	50	10	10
E/R 3rd Deck No. 1	31,167	2,981	150	150	50	50
Upper Deck No. 1	29,198	1,576	175	175	35	35
Sewage Treatment PPlan	17,601	2,847	15	15	2,5	2,5
Fresh Water Hyd.	2,171	1,614	15	20	2,5	2,5
Vacuum Pump	4,765	6,362	40	40	10	10
Hyd. Control Valve	0,891	0,812	15	15	2,5	2,5
Incenerator	2,669	2,145	30	50	6	6
Air Condition Plant	19,865	1,569	150	150	70	70
Provision Crane	5,316	1,552	15	25	2,5	2,5
Prov. Refrigeration Plan	3,526	0,182	15	40	2,5	6,0
DB G-1	16,373	1,400	75	75	25	25
Thermal Oil Heater	28,818	2,530	175	175	95	95
Floor No. 2	30,201	3,884	400	630	400	400
E/R 2nd Deck No. 2	28,273	2,523	70	70	25	25
E/R 3rd Deck No. 2	30,589	2,542	70	70	25	25
Upper Deck No. 2	30,403	1,418	180	180	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	8,030	2,266	50	50	16	16
Sanitary SW	2,605	2,747	15	15	2,5	2,5
DB G-2	6,016	0,184	50	50	16	16
E/R 3rd Deck-220V	31,798	0,184	75	75	25	25
DB L-1	4,699	0,184	30	30	6	6
DB L-2	1,442	0,175	30	30	6	6
DB L-3 (A Deck)	1,271	0,174	30	30	6	6
DB/ACC	2,041	0,049	30	30	6	6
DB L-6	0,985	0,048	30	30	6	6
DB L-4	1,206	0,048	30	30	6	6
DB L-5(C Deck)	0,985	0,048	30	30	6	6
DB L-7	0,985	0,048	30	30	6	6
ESB 450 V	27,891	0,164	175	175	95	95
ESB 220 V	2,450	0,304	30	30	16	16
<b>Rata-rata</b>	<b>13,401</b>	<b>1,686</b>				

### Komparasi Kondisi *Leaving/Arriving Port*

Bus	Short Circuit (kA)		Circuit Breaker (A)		Kabel (mm <sup>2</sup> )	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
GSP 1	30,19	5,060	500	500	95	95
GSP 2	29,72	5,403	500	500	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	1,79	2,898	50	50	16	16
No. 2 DB E/R DB Workshop	1,48	1,806	100	20	50	4
Accommodation Vent. Fan	2,21	1,416	15	15	2,5	2,5
Floor No. 1	28,64	1,646	800	800	500	500
E/R 2nd Deck No. 1	22,16	4,958	50	50	10	10
E/R 3rd Deck No. 1	29,79	5,026	150	150	50	50
Upper Deck No. 1	28,00	1,933	175	175	35	35
Sewage Treatment PPlan	17,08	4,623	15	15	2,5	2,5
Fresh Water Hyd.	2,17	1,723	15	20	2,5	2,5
Vacuum Pump	4,58	1,639	40	40	10	10
Hyd. Control Valve	0,89	0,866	15	15	2,5	2,5
Incenerator	2,68	3,258	30	50	6	6
Air Condition Plant	19,20	1,917	150	150	70	70
Provision Crane	5,05	1,873	15	25	2,5	2,5
Prov. Refrigeration Plan	3,51	0,182	15	40	2,5	6,0
DB G-1	15,92	1,848	75	75	25	25
Thermal Oil Heater	27,83	5,356	175	175	95	95
Floor No. 2	28,63	1,203	400	630	400	400
E/R 2nd Deck No. 2	27,06	5,291	70	70	25	25
E/R 3rd Deck No. 2	29,18	5,363	70	70	25	25
Upper Deck No. 2	29,09	1,881	180	180	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	8,03	3,993	50	50	16	16
Sanitary SW	2,60	1,095	15	15	2,5	2,5
DB G-2	5,99	0,184	50	50	16	16
E/R 3rd Deck-220V	30,97	0,184	75	75	25	25
DB L-1	4,68	0,184	30	30	6	6
DB L-2	1,44	0,175	30	30	6	6
DB L-3 (A Deck)	1,27	0,174	30	30	6	6
DB/ACC	2,04	0,049	30	30	6	6
DB L-6	0,98	0,048	30	30	6	6
DB L-4	1,21	0,048	30	30	6	6
DB L-5(C Deck)	0,98	0,048	30	30	6	6
DB L-7	0,98	0,048	30	30	6	6
ESB 450 V	26,73	0,253	175	175	95	95
ESB 220 V	2,44	0,442	30	30	16	16
<b>Rata-rata</b>	<b>12,897</b>	<b>2,003</b>				

### Komparasi Kondisi *at Port*

Bus	Short Circuit (kA)		Circuit Breaker (A)		Kabel (mm <sup>2</sup> )	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
GSP 1	11,060	2,853	500	500	95	95
GSP 2	10,988	2,634	500	500	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	1,636	1,912	50	50	16	16
No. 2 DB E/R DB Workshop	1,454	1,670	100	20	50	4
Accommodation Vent. Fan	2,108	1,131	15	15	2,5	2,5
Floor No. 1	10,844	1,378	800	800	500	500
E/R 2nd Deck No. 1	10,067	2,828	50	50	10	10
E/R 3rd Deck No. 1	11,001	2,843	150	150	50	50
Upper Deck No. 1	10,735	1,506	175	175	35	35
Sewage Treatment PPlan	9,171	2,720	15	15	2,5	2,5
Fresh Water Hyd.	2,073	1,592	15	20	2,5	2,5
Vacuum Pump	4,014	1,373	40	40	10	10
Hyd. Control Valve	0,877	0,803	15	15	2,5	2,5
Incenerator	2,490	2,257	30	50	6	6
Air Condition Plant	9,493	1,501	150	150	70	70
Provision Crane	4,612	1,486	15	25	2,5	2,5
Prov. Refrigeration Plan	3,232	0,182	15	40	2,5	6,0
DB G-1	8,850	0,863	75	75	25	25
Thermal Oil Heater	10,681	2,617	175	175	95	95
Floor No. 2	10,840	0,931	400	630	400	400
E/R 2nd Deck No. 2	10,653	2,620	70	70	25	25
E/R 3rd Deck No. 2	10,926	2,629	70	70	25	25
Upper Deck No. 2	10,894	0,867	180	180	95	95
No. 1 DB E/R DB Purifier	6,004	2,328	50	50	16	16
Sanitary SW	2,455	0,870	15	15	2,5	2,5
DB G-2	5,466	0,184	50	50	16	16
E/R 3rd Deck-220V	16,678	0,184	75	75	25	25
DB L-1	4,404	0,184	30	30	6	6
DB L-2	1,419	0,175	30	30	6	6
DB L-3 (A Deck)	1,254	0,174	30	30	6	6
DB/ACC	1,993	0,049	30	30	6	6
DB L-6	0,975	0,048	30	30	6	6
DB L-4	1,191	0,048	30	30	6	6
DB L-5(C Deck)	0,975	0,048	30	30	6	6
DB L-7	0,975	0,048	30	30	6	6
ESB 450 V	10,559	0,164	175	175	95	95
ESB 220 V	2,295	0,304	30	30	16	16
<b>Rata-rata</b>	<b>6,090</b>	<b>1,243</b>				

## Spesifikasi Proteksi

Skenario 1				Skenario 2			
ID CB	Manufaktur	Setting		ID CB	Manufaktur	Setting	
CB B3.2	Merlin Gerin Sensor 250 Plug 175	LT Pick Up	1	CB A4.2	Merlin Gerin Sensor 800 Plug 400	LT Pick Up	1
		LT Band	0,5			LT Band	15
		ST Pick Up	2			ST Pick Up	2
		ST Band	0,2			ST Band	0,2
CB B3	Merlin Gerin Sensor 600 Plug 420	LT Pick Up	1	CB A4	Merlin Gerin Sensor 800 Plug 780	LT Pick Up	0,975
		LT Band	0,5			LT Band	15
		ST Pick Up	1,5			ST Pick Up	1,5
		ST Band	0,3			ST Band	0,3
CB 53	Merlin Gerin Sensor 630 Plug 441	LT Pick Up	1,0	CB 68	Merlin Gerin Sensor 800 Plug 800	LT Pick Up	1
		LT Band	1			LT Band	30
		ST Pick Up	1,5			ST Pick Up	1,5
		ST Band	0,3			ST Band	0,3
Skenario 3				Skenario 4			
ID CB	Manufaktur	Setting		ID CB	Manufaktur	Setting	
CB B7.4	Merlin Gerin Sensor 250 Plug 125	LT Pick Up	1,0	CB 149	Merlin Gerin Sensor 150 Plug 105	LT Pick Up	0,88
		LT Band	1,0			LT Band	1
		ST Pick Up	2,0			ST Pick Up	1,5
		ST Band	0,2			ST Band	0,2
CB B7	Merlin Gerin Sensor 250 Plug 200	LT Pick Up	1,0	CB A14	Merlin Gerin Sensor 250 Plug 150	LT Pick Up	0,8
		LT Band	1,0			LT Band	1
		ST Pick Up	1,5			ST Pick Up	2
		ST Band	0,3			ST Band	0,3
CB 62	Merlin Gerin Sensor 250 Plug 250	LT Pick Up	1,0	CB 70	Merlin Gerin Sensor 250 Plug 250	LT Pick Up	0,9
		LT Band	1,0			LT Band	1
		ST Pick Up	1,5			ST Pick Up	1,5
		ST Band	0,3			ST Band	0,3

## Device Capacity

<b>Skenario 1</b>			
Equipment	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
Tank Cleaning Pump	CB B3.2	45	0,647
Floor No. 2	CB B3	70	1,571
Bus Floor 2	CB 53	150	1,571
<b>Skenario 2</b>			
Equipment	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
No. 1 Cargo Pump	CB A4.2	35	1,555
Floor No. 1	CB A4	75	1,562
Bus Floor 1	CB 68	10	1,562
<b>Skenario 3</b>			
Equipment	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
No. 2 Hyd. Pump for W.	CB B7.4	70	0,292
Upper Deck No. 2	CB B7	70	0,292
Bus Upper Deck 2	CB B1	12,5	0,232
<b>Skenario 4</b>			
Equipment	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
Main AC Compressor	CB 149	100	0,344
Air Condition Plant	CB A14	150	0,34
Bus Upper Deck 1	CB 70	150	0,34

### Komparasi *Device Capacity*

AC Short Circuit							
Bus	Equipment	Sebelum Rekonfigurasi			Setelah Rekonfigurasi		
		Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
GSP 1	MSB 450 V No. 1	CB A13	500	11,69	CB A13	500	0,354
	Main Central Cool SW Pump 1	CB A13.1	75	12,908	CB A13.1	75	0,507
	Aux. Cool SW Pump	CB A13.2	50	12,908	CB A13.2	50	0,507
	Central Cool FW Pump 1	CB A13.3	125	12,908	CB A13.3	125	0,507
	Main LO Pump 1	CB A13.4	50	12,908	CB A13.4	50	0,507
	FO Transfer Pump 1	CB A13.5	15	12,908	CB A13.5	15	0,507
	HT FW Pump 1	CB A13.6	15	12,908	CB A13.6	15	0,507
	Fire & GS Pump 1	CB A13.7	75	12,908	CB A13.7	75	0,507
	M/E Air Cooler Cleaning	CB A13.8	15	12,908	CB A13.8	15	0,507
	Bilge Pump 1	CB A13.9	15	12,908	CB A13.9	15	0,507
	Purifier Rm Space Exh. Fan	CB A13.10	15	12,908	CB A13.10	15	0,507
	E/R Supply Fan 1	CB A13.11	75	12,908	CB A13.11	75	0,507
	Workshop Exh. Fan	CB A13.12	15	12,908	CB A13.12	15	0,507
GSP 2	MSB 450 V No. 2	CB B5	500	11,69	CB B5	500	0,543
	Main Central Cool SW Pump 2	CB B5.1	75	13,154	CB B5.1	75	0,707
	Central Cool FW Pump Port	CB B5.2	60	13,154	CB B5.2	60	0,707
	Central Cool FW Pump 2	CB B5.3	125	13,154	CB B5.3	125	0,707
	Main LO Pump 2	CB B5.4	50	13,154	CB B5.4	50	0,707
	Jacket Water Preheating P	CB B5.5	15	13,154	CB B5.5	15	0,707
	HT Fresh Water Pump 2	CB B5.6	15	13,154	CB B5.6	15	0,707
	Fire & GS Pump 2	CB B5.7	75	13,154	CB B5.7	75	0,707
	DO Transfer Pump	CB B5.8	15	13,154	CB B5.8	15	0,707
	LO Transfer Pump	CB B5.9	15	13,154	CB B5.9	15	0,707
	Sludge Pump	CB B5.10	15	13,154	CB B5.10	15	0,707
E/R Supply Fan 2	CB B5.11	75	13,154	CB B5.11	75	0,707	
No. 1 DB E/R Purifier	MSB 450 V No. 1	CB A1	50	11,69	CB A1	50	0,354
	LO Separator Motor 1	CB A1.1	15	3,16	CB A1.1	15	1,921
	LO Feed Pump 1						
	FO Separator Motor 1	CB A1.2	15	3,16	CB A1.2	15	1,921
	FO Feed Pump 1						
	ST For No. 1 Supp. Pump	CB A1.3	15	3,16	CB A1.3	15	1,921
	ST For No. 1 Circul. Pump	CB A1.4	15	3,16	CB A1.4	15	1,921
	ST For OWS	CB A1.5	15	3,16	CB A1.5	15	1,921
Motor Homogenizer 1	CB A1.6	15	3,16	CB A1.6	15	1,921	

AC Short Circuit							
Bus	Equipment	Sebelum Rekonfigurasi			Setelah Rekonfigurasi		
		Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
No. 2 DB E/R DB Works hop	MSB 450 V No. 1	CB A2	100	11,69	CB A2	100	0,354
	Workshop Lathe	CB A2.1	15	1,327	CB A2.1	15	1,542
	Drill Machine	CB A2.2	15	1,327	CB A2.2	15	1,542
	Grinder	CB A2.3	15	1,327	CB A2.3	15	1,542
	M/E Turning Gear	CB A2.4	15	1,327	CB A2.4	15	1,542
	Electric Welder	CB A2.5	15	1,327	CB A2.5		
	Test Panel	CB A2.6	15	1,327	CB A2.6	15	1,542
	Recep For Electric Welder	CB A2.7	15	1,327	CB A2.7		
	Traveling	CB A2.8	15	1,327	CB A2.8	15	1,542
	Hoisting						
Travesting							
Floor No. 1	MSB 450 V No. 1	CB A4	15	11,69	CB A4	25	1,103
	No. 1 Water Ballast Pump	CB A4.1	50	13,04	CB A4.1	50	1,12
	No. 1 Cargo Pump	CB A4.2	570	13,04	CB A4.2	35	1,12
	No. 3 Cargo Pump	CB A4.3	570	13,04	CB A4.3	25	1,12
	Sampling Pump ODM	CB A4.4	15	13,04	CB A4.4	15	1,12
	ST 1 Booster Alpha Lub	CB A4.5	15	13,04	CB A4.5	15	1,12
E/R 2 <sup>nd</sup> Deck No. 1	MSB 450 V No. 1	CB A5	12,5	11,69	CB A5	12,5	0,354
	No. 1 M/E Aux. Blower	CB A5.1	50	16,676	CB A5.1	50	0,569
	No. 1 A/E MDO Feed Pump	CB A5.2	15	11,206	CB A5.2	15	0,569
	No. 1 LO Priming Pump	CB A5.3	15	11,206	CB A5.3	15	0,569
E/R 3 <sup>rd</sup> Deck No. 1	MSB 450 V No. 1	CB A6	30	11,69	CB A6	30	0,354
	No. 1 Main Air Compressor	CB A6.1	75	13,223	CB A6.1	75	0,523
	AC Unit No. 1 For ECR	CB A6.2	20	13,223	CB A6.2	20	0,523
	CP For ICCP	CB A6.3	20	13,223	CB A6.3	20	0,523
	No. 2 Hyd. Pump For ST Gear	CB A6.4	20	13,223	CB A6.4	20	0,523
	No. 1 Hyd Pump For MW	CB A6.5	100	13,223	CB A6.5	100	0,523
Upper Deck No. 1	MSB 450 V No. 1	CB A7	30	11,69	CB A7	30	0,319
	Bosun Store Supply Fan	CB A7.1	15	14,527	CB A7.1	15	0,382
	C. Pump RM Exh. Fan E-13	CB A7.2	15	14,527	CB A7.2	15	0,382
	No. 1 Hyd. Pump For W	CB A7.3	150	14,527	CB A7.3	150	0,382
	Lifeboat Davit Winch 1	CB A7.4	20	14,527	CB A7.4	20	0,382

AC Short Circuit							
Bus	Equipment	Sebelum Rekonfigurasi			Setelah Rekonfigurasi		
		Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)	Device	Breaking Capacity (kA)	Short Circuit Ib (kA)
DB G-1	MSB 450 V No. 2	CB B1	12,5	11,69	CB B1	12,5	0,317
	Elect. Cooking Range	CB B1.1	12,5	13,91	CB B1.1	12,5	0,385
	Elect. Bake Oven	CB B1.2	12,5	13,91	CB B1.2	12,5	0,385
	Elect. Soup Boiler	CB B1.3	12,5	13,91	CB B1.3	12,5	0,385
	Elect. Rice Boiler	CB B1.4	12,5	13,91	CB B1.4	12,5	0,385
	Washing Machine No. 1	CB B1.5	12,5	13,91	CB B1.5	12,5	0,385
	Drying Machine	CB B1.6	12,5	13,91	CB B1.6	12,5	0,385
	Washing Machine No. 2	CB B1.7	12,5	13,91	CB B1.7	12,5	0,385
	Washing Machine No. 3	CB B1.8	12,5	13,91	CB B1.8	12,5	0,385
	Elect. Tumble Dryer No. 1	CB B1.9	12,5	13,91	CB B1.9	12,5	0,385
Elect. Tumble Dryer No. 2	CB B1.10	12,5	13,91	CB B1.10	12,5	0,385	
Floor No. 2	MSB 450 V No. 2	CB B3	30	11,69	CB B3	20	0,54
	No. 2 Ballast Pump	CB B3.1	12,5	13,226	CB B3.1	12,5	0,561
	Tank Cleaning Pump	CB B3.2	30	13,226	CB B3.2	30	0,561
	Cargo Stripping Pump	CB B3.3	30	13,226	CB B3.3	30	0,561
	ST 2 Booster Alpha Lub	CB B3.4	12,5	13,226	CB B3.4	12,5	0,561
	No. 2 Cargo Pump	CB B3.5	50	13,226	CB B3.5	50	0,561
E/R 2 <sup>nd</sup> Deck No. 2	MSB 450 V No. 2	CB B4	12,5	11,69	CB B4	12,5	0,543
	No. 2 M/E Aux Blower	CB B4.1	12,5	15,238	CB B4.1	12,5	0,755
	FW Gen Ejector Pump	CB B4.2	12,5	15,238	CB B4.2	12,5	0,755
	MSB 450 V No. 2	CB B6	12,5	11,69	CB B6	12,5	0,543
E/R 3 <sup>rd</sup> Deck No. 2	No. 2 Main Air Compressor	CB B6.1	12,5	13,735	CB B6.1	12,5	0,715
	Circulating Pump	CB B6.2	12,5	13,735	CB B6.2	12,5	0,715
	ST. Gear RM Supply Fan	CB B6.3	12,5	13,735	CB B6.3	12,5	0,715
	AC Unit No. 2 For ECR	CB B6.4	12,5	13,735	CB B6.4	12,5	0,715
	CP For M/E Actuator	CB B6.5	12,5	13,735	CB B6.5	12,5	0,715
	MSB 450 V No. 2	CB B7	30	11,69	CB B7	20	0,317
Upper Deck No. 2	C. Pump RM Exh. Fan E-14	CB B7.1	12,5	13,494	CB B7.1	25	0,378
	Cargo Handling Crane	CB B7.2	12,5	13,494	CB B7.2	12,5	0,378
	No. 2 Hyd Pump For Valve	CB B7.3	12,5	13,494	CB B7.3	12,5	0,378
	No. 2 Hyd. Pump For W	CB B7.4	30	13,494	CB B7.4	20	0,378
	No. 2 Hyd Pump For MW	CB B7.5	12,5	13,494	CB B7.5	12,5	0,378
	Lifeboat Davit Winch 2	CB B7.6	12,5	13,494	CB B7.6	12,5	0,378
	AC Unit For Galley	CB B7.7	12,5	13,494	CB B7.7	12,5	0,378
	Hyd Pump For Store Crane	CB B7.8	12,5	13,494	CB B7.8	12,5	0,378



## BIODATA PENULIS



Arialdi Almonda, penulis dilahirkan di Pekanbaru, 21 November 1999, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 036 Pekanbaru pada tahun 2006-2012, SMPN Al-Azhar Syifa Budi Pekanbaru II pada tahun 2012-2015, dan SMAN Plus Provinsi Riau pada tahun 2015-2018. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 04211840000007. Selama berkuliah, penulis aktif berorganisasi dari semester pertama sampai semester terakhir. Contohnya yaitu Koperasi Mahasiswa dr. Angka ITS dari tahun 2018-2021 dan Himasiskal FTK-ITS dari tahun 2020-2021. Penulis juga aktif sebagai Asisten Praktikum Listrik Perkapalan dan Asisten Dosen Mata Kuliah Fisika Dasar. Selain itu, berbagai Kepanitiaan juga diikuti ketika sedang ada agenda di lingkungan ITS. Seperti contohnya penulis pernah mengikuti kepanitiaan ILITS 2021, Marine Icon 2019 yang merupakan agenda besar dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT Adiluhung Saranasegara Indonesia (Bangkalan) pada tahun 2021, dan melanjutkan kerja praktek di PT Reka Bahtera Putera Nusantara (Jakarta) pada tahun yang sama yaitu tahun 2021 serta pernah melakukan kerja praktik di PLTU Tenayan Raya(Pekanbaru).

E-mail : [arialdialmonda21@gmail.com](mailto:arialdialmonda21@gmail.com)

No Telp : (+62) 81261622370