



SKRIPSI – ME141501

**ANALISA GANGGUAN *TRANSIENT RESPONSE* DAN HARMONISA
PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL TANKER DENGAN
SIMULASI**

Kirana Putri Taradipa Martha
NRP 04211440000120

Dosen Pembimbing

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

ANALISA GANGGUAN TRANSIENT RESPONSE DAN HARMONISA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI

Kirana Putri Taradipa Martha
NRP 04211440000120

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

ANALYSIS OF TRANSIENT RESPONSE AND HARMONIC DISTURBANCES ON THE TANKER'S ELECTRICAL SYSTEM BASED ON SIMULATION

Kirana Putri Taradipa Martha
NRP 0421144000120

Supervisors

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA GANGGUAN *TRANSIENT RESPONSE* DAN HARMONISA PADA
SISTEM KELISTRIKAN KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Kirana Putri Taradipa Martha
NRP. 04211440000120

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

()

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

()

Surabaya,
Juli 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA GANGGUAN *TRANSIENT RESPONSE* DAN HARMONISA PADA
SISTEM KELISTRIKAN KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI**

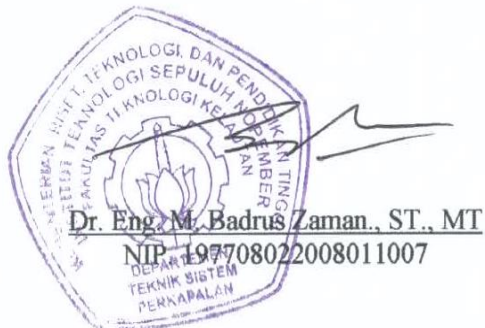
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Kirana Putri Taradipa Martha
NRP. 04211440000120

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Surabaya,
Juli 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisa Gangguan *Transient Response* Dan Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan Kapal Tanker Dengan Simulasi

Nama Mahasiswa : Kirana Putri Taradipa Martha

NRP : 04211440000120

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Dosen Pembimbing 1 : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eddy Setyo Koenhardono., M.Sc

Abstrak

Pada dasarnya suatu kapal memiliki bermacam-macam kondisi, yaitu bongkar muat (*cargo handling*), lego jangkar (*anchoring*), bermaneuver (*maneuvering*), dan berlayar (*sailing*) yang mana membutuhkan konsumsi listrik yang besar. Kualitas tegangan yang tidak baik akan menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang ada di kapal. Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal tanker MT. X dapat mengakibatkan turunnya performa pada peralatan listrik yang ada di kapal dan mempengaruhi suatu kondisi tertentu seperti pada kondisi loading-unloading waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat menjadi lebih lama karena adanya gangguan pada sistem kelistrikan tersebut. Sistem kelistrikan kapal tanker MT.X ini memiliki 5 (lima) busbar utama yaitu BUS 1, FEEDER PANEL, DSB 2, DSB 3&4, dan DSB 6. Generator yang dimiliki oleh kapal tanker MT. X adalah sebanyak 3 unit masing-masing memiliki daya sebesar 680 kW, dengan frekuensi sebesar 60 Hz, dan tegangan sebesar 450 V. Analisa gangguan transient pada kondisi loading-unloading terjadi transient response akibat starting ballast pump dimana voltase naik dan kemudian turun dalam rentang waktu 0,5 detik dengan nilai tertinggi 100,44% pada detik 4,01 dan nilai terendah adalah 99,50% pada detik ke 4,81 kemudian dapat mencapai kondisi steady state pada nilai 99,9%, yang mana tidak melebihi batas standar IEEE. Pada gangguan harmonisa dalam kondisi loading-unloading, pada feeder panel yang menghubungkan sumber harmonisa dengan beban pada orde ke-5 didapatkan nilai VIHD sebesar 8.77%, yang mana nilai tersebut melebihi standar IEEE yaitu 5%. Sedangkan nilai VTHD pada kondisi loading unloading juga melebihi batas standar yang telah ditentukan. Setelah dilakukan pemasangan filter, dapat diketahui bahwa nilai VIHD pada orde ke-5 dalam kondisi loading-unloading mengalami penurunan menjadi 3.6% setelah dilakukan pemasangan filter pada feeder panel, atau sama dengan mengalami penurunan sebanyak 5.17%. Penurunan nilai VIHD tersebut telah memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 5% pada setiap individual orde. Sementara itu nilai VTHD pada kondisi loading-unloading juga mengalami penurunan, dari 11.18% menjadi 7.02%.

Kata kunci : *Transient Response, Harmonisa, Sistem kelistrikan*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analysis Of Transient Response And Harmonic Disturbances On The Tanker's Electrical System Based On Simulation

Name of Student : Kirana Putri Taradipa Martha
NRP : 04211440000120
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
Supervisor 2 : Dr. Eddy Setyo Koenhardono., M.Sc

Abstract

Basically a ship has a variety of conditions, namely cargo handling, anchoring, maneuvering, and sailing its requires large electricity consumption. The quality of the voltage is not good will cause damage to electrical equipment on board. Disturbances that occur in electrical system of MT tanker. X may result in a decrease in the performance of existing electrical equipment on the vessel and affect a certain condition as in loading-unloading conditions the time required for loading and unloading becomes longer due to interference with the electrical system. The MT.X tanker system has 5 (five) main busbars: BUS 1, FEEDER PANEL, DSB 2, DSB 3 & 4, and DSB 6. The MT tanker. X has a generator of 3 units with a power of 680 kw each, a frequency of 60 hz and a voltage of 450 V. Transient disturbance analysis under loading-unloading condition occurs transient response due to starting ballast pump where the voltage rises and then drops within 0.5 seconds with the highest value of 100.44% at 4.01 seconds and the lowest value is 99.50% to 4.81 can then reach steady state conditions at 99.9%, which does not exceed the IEEE standard limits. In harmonic disturbances under loading-unloading conditions, in the feeder panel connecting the harmonic source with load at the 5th order, the value of VIHD is 8.77%, which exceeds the IEEE standard of 5%. While the value of VTHD in loading and unloading conditions also exceeded the predefined standard limits. After installation of the filter, it can be seen that the value of VIHD at the 5th order in loading-unloading condition decreased to 3.6% after the installation of filter on feeder panel, or equal to decrease as much as 5.17%. The decline in the value of VIHD has fulfilled the IEEE 519-2014 standard of 5% on each individual order. Meanwhile, VTHD value in loading-unloading condition also decreased, from 11.18% to 7.02%.

Keywords : Transient Response, Harmonics, Electrical System

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, anugrah serta hidayahnya-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Gangguan Transient Response dan Harmonisa pada Sistem Kelistrikan Kapal Tanker dengan Simulasi** ” dengan baik dan tepat waktu. Dimana tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan program studi sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.

Penulis menyadari, terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada pihak-pihak di bawah ini :

1. Orangtua dan keluarga besar MARTHA yang terus memberikan dukungan dan menjadi penyemangat dalam penulis melakukan aktifitas selama perkuliahan dan penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, ST., MT selaku kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang sudah memberikan ilmu baik materi kuliah maupun diluar perkuliahan yang dapat menjadi pembelajaran bagi penulis.
3. Bapak Dr. Eng Trika Pitana ST., M.Sc selaku dosen wali yang senantiasa memberikan pembelajaran baik di perkuliahan maupun diluar perkuliahan yang berkaitan dengan sikap, pengembangan diri serta paska kampus bagi penulis.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc selaku dosen pembimbing pertama penulis yang senantiasa membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian, yang juga senantiasa memberikan motivasi, arahan serta pengawalan layaknya orang tua selama penulis berada di kampus.
5. Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono selaku dosen pembimbing kedua yang juga senantiasa membimbing penulis dan memberikan arahan untuk menyelesaikan tugas akhir penulis hingga selesai.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
7. Indra Nurseta yang selalu memberi semangat dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Dinda Rachmayani selaku sahabat penulis sejak kecil yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis
9. Teman-teman RUMPI CANTIK: Puteri Ladikha, Sulfia Anizar, Dinar Puspita, Nur Azizah, Shanty Window, Yuniar Nurensa yang selalu menyemangati penulis dan menjadi tempat keluh kesah pagi penulis
10. Seluruh kawan-kawan pejuang akhir bidang MEAS seperti Rizal, Mahendra, Syauqi, Adi, Sekti, Galih, Desi, Monnika Yose, Iji, Daniel dan Regita yang sudah memberikan dukungan untuk bisa bersama-sama menguatkan penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
11. Seluruh keluarga MERCUSUAR '14 yang selalu mendukung dan membantu selama perkuliahan di tahun pertama hingga tahun terakhir di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk membangun dan kebaikan bersama kedepannya.

Akhir kata, penulis berharap semoga apa yang tertulis dalam tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya maupun pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

SKRIPSI – ME141501	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxii
DAFTAR GRAFIK	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1Latar Belakang.....	1
1.2Perumusan Masalah	1
1.3Batasan Masalah	2
1.4Tujuan Penelitian.....	2
1.5Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1Transient Response.....	3
2.2Gangguan Harmonisa	7
2.3Desain Filter Pasif Pada <i>Software</i> Simulasi.....	10
2.4Sistem Kelistrikan Kapal	13
2.5Generator	14
2.6Motor Induksi	16
2.7Macam-macam Kondisi Kapal	18
2.8 <i>Software</i> Simulasi	19
2.9Overvoltage	20
2.10 Undervoltage.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1Flow Chart Metodologi Penelitian.....	21
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1Data Utama Kapal.....	25
4.2Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Kapal Tanker	25
4.3Spesifikasi Peralatan.....	25
4.4Kondisi Pembebanan Motor Listrik pada Tiap Kondisi	28
4.5Simulasi Transient Response dan Pembahasan	33
4.6Simulasi Harmonisa dan Pembahasan	40
4.7Perbaikan Gangguan Harmonisa pada 4 Kondisi Kapal.....	45
4.8Pengaruh Pemasangan Filter Pada Kondisi Lainnya	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1Kesimpulan	49
5.2Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	55
BIODATA PENULIS.....	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rangkaian Ekuivalen R-L.....	4
Gambar 2. 2 Kurva Respon Tangga	5
Gambar 2. 3 Perilaku Generator Saat Terjadi Gangguan	6
Gambar 2. 4 Standar Frekuensi Berdasarkan IEEE Std. 106-2003	6
Gambar 2. 5 Standar Voltage Dips berdasarkan IEEE 115-1995.....	7
Gambar 2. 6 Gelombang Terdistorsi, Fundamental, Harmonisa Ketiga	8
Gambar 2. 7 Single Tuned.....	10
Gambar 2. 8 Harmonic Library Untuk Pemilihan Variable Frequency Drive.....	11
Gambar 2. 9 Mode Analisa Harmonisa	11
Gambar 2. 10 Harmonic Order Slider	12
Gambar 2. 11 Menu Edit pada Software Simulasi	12
Gambar 2. 12 Simbol Fiter Pasif Harmonisa.....	12
Gambar 2. 13 Editor Filter Pasif Harmonisa	13
Gambar 2. 14 Konstruksi Generator	15
Gambar 2. 15 Klasifikasi Motor Listrik	16
Gambar 2. 16 Motor induksi.....	17
Gambar 2. 17 Stator.....	17
Gambar 2. 18 Rotor	18
Gambar 4. 1 Single Line Diagram Kapal Tanker DSB 2	25

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas Tegangan Harmonisa Yang Direkomendasikan	10
Tabel 2. 2 Tuning Orders Dalam Faktor Tuning Yang Diterapkan.....	13
Tabel 4. 1 Spesifikasi Peralatan pada Feeder Panel	26
Tabel 4. 2 Spesifikasi Peralatan pada DSB 2	27
Tabel 4. 3 Spesifikasi Peralatan pada DSB 3&4	27
Tabel 4. 4 Spesifikasi Peralatan pada DSB 6	27
Tabel 4. 5 Kondisi Loading-Unloading.....	29
Tabel 4. 6 Kondisi Sailing	30
Tabel 4. 7 Kondisi Anchoring	31
Tabel 4. 8 Kondisi Maneuvering	32
Tabel 4. 9 Beban Pada Kondisi Loading-Unloading	33
Tabel 4. 10 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Loading-Unloading	33
Tabel 4. 11 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Loading-Unloading	34
Tabel 4. 12 Beban Pada Kondisi Sailing	35
Tabel 4. 13 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Sailing Dalam Voltase.....	35
Tabel 4. 14 Hasil Simulasi Frekuensi Transient Response Kondisi Sailing.....	36
Tabel 4. 15 Beban Pada Kondisi Anchoring	37
Tabel 4. 16 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Anchoring Dalam Voltase	37
Tabel 4. 17 Hasil Simulasi Frekuensi Transient Response Kondisi Anchoring	38
Tabel 4. 18 Beban Pada Kondisi Maneuvering	39
Tabel 4. 19 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Maneuvering Dalam Voltase.....	39
Tabel 4. 20 Hasil Simulasi Frekuensi Transient Response Kondisi Maneuvering.....	40
Tabel 4. 21 VTHD Report Pada Kondisi Loading-Unloading Tanpa Filter.....	41
Tabel 4. 22 VTHD Report Pada Kondisi Sailing Tanpa Filter	42
Tabel 4. 23 VTHD Report Pada Kondisi Anchoring Tanpa Filter	43
Tabel 4. 24 VTHD Report Pada Kondisi Maneuvering Tanpa Filter	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Response Tegangan Pada Kondisi Loading-Unloading.....	33
Grafik 4. 2 Response Frekuensi Pada Kondisi Loading-Unloading.....	34
Grafik 4. 3 Response Tegangan Pada Kondisi Sailing	35
Grafik 4. 4 Response Frekuensi Pada Kondisi Sailing	36
Grafik 4. 5 Response Tegangan Pada Kondisi Anchoring	37
Grafik 4. 6 Response Frekuensi Pada Kondisi Anchoring	38
Grafik 4. 7 Response Tegangan Pada Kondisi Maneuvering	39
Grafik 4. 8 Response Frekuensi Pada Kondisi Maneuvering	40
Grafik 4. 9 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading	41
Grafik 4. 10 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Sailing	42
Grafik 4. 11 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Anchoring	43
Grafik 4. 12 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Maneuvering	44
Grafik 4. 13 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading.....	45
Grafik 4. 14 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading.....	46
Grafik 4. 15 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading	46
Grafik 4. 16 Harmonisa pada Total Orde Dalam 4 Kondisi	47
Grafik 4. 17 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Sailing	47
Grafik 4. 18 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Anchoring	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sebuah kapal tanker memiliki bermacam-macam kondisi operasional yaitu bongkar muat (*cargo handling*), lego jangkar (*anchoring*), bermaneuver (*maneuvering*), dan berlayar (*sailing*) dengan kebutuhan listrik yang berfluktuasi. Kualitas tegangan yang tidak baik akan menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang ada di kapal. Perkembangan sistem tenaga listrik baik pada generator maupun beban akan menghasilkan masalah-masalah baru yang menyangkut masalah kestabilan sistem. Dalam pemakaian dua generator atau lebih yang bekerja secara bersamaan, kerugian dapat muncul jika jumlah daya tidak stabil. Suatu sistem akan mencapai kestabilan saat daya mekanik pada penggerak utama generator seimbang dengan daya elektris yang disalurkan ke beban.

Kualitas tegangan yang buruk dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik yang ada di kapal. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, beban berlebih, dan kerusakan material seperti kawat putus, isolator pecah atau kabel cacat isolasinya. Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat di kelompokkan menjadi dua yaitu gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Yang kedua adalah gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Ada berbagai macam gangguan yang terdapat pada sebuah sistem kelistrikan yaitu,

1. *Transient response*
2. *Harmonisa*
3. Dll.

Transient response adalah kinerja yang menunjukkan kecepatan respon sistem dalam satuan waktu pada saat gejala peralihan. Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. Dalam penelitian ini transient response dan harmonisa berkaitan atau berpengaruh satu sama lain. Pada saat beban masuk, arus jaringan secara otomatis akan meningkat pula, arus yang tinggi akan mempengaruhi magnetisasi pada generator, yang mana putaran generator juga akan menurun atau dengan kata lain frekuensi putaran menurun. Terkait dengan permasalahan tersebut, maka akan dilakukan bagaimana cara mendeteksi dan memperbaiki *transient response* dan *harmonisa*.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Mendapatkan nilai *transient response* dan harmonisa yang terjadi pada sistem kelistrikan di kapal tanker
2. Kesesuaian nilai *transient response* dan *harmonisa* yang dihasilkan berdasarkan software simulasi terhadap standar
3. Langkah – langkah untuk memperbaiki *transient response* dan harmonisa yang terjadi

1.3 Batasan Masalah

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

1. Analisa *transient response* dan harmonisa hanya pada sistem kelistrikan kapal tanker.
2. Analisa *transient response* dan *harmonisa* tidak dilakukan pada beban penerangan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah nilai *transient response* pada setiap kondisi operasional kapal tanker dengan menggunakan software simulasi telah sesuai dengan standar
2. Apakah nilai harmonisa pada setiap kondisi operasional kapal tanker dengan menggunakan software simulasi telah sesuai dengan standar
3. Bisa mendapatkan solusi untuk memperbaiki *transient response* dan *harmonisa* apabila tidak memenuhi standar

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai *transient response* dan *harmonisa* pada sistem kelistrikan kapal apakah sesuai dengan standard atau kurang dari standard.
2. Agar pembaca mengetahui berapa *transient response* dan *harmonisa* yang bisa terjadi pada sistem kelistrikan kapal.
3. Mendapatkan saran atau solusi bagaimana cara memperbaiki dan mendeteksi gangguan sistem kelistrikan yaitu *transient response* dan *harmonisa*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transient Response

Transient response adalah kinerja yang menunjukkan kecepatan respon sistem dalam satuan waktu pada saat gejala peralihan. Gejala transient atau gejala peralihan adalah berubahnya nilai arus atau tegangan bahkan keduanya baik sesaat atau dalam jangka waktu tertentu (dalam orde mikro detik) dalam kondisi tunaknya (*steady state*). Penyebabnya yaitu bisa dari faktor eksternal maupun faktor internal. Gejala transient terjadi pada rangkaian-rangkaian yang mengandung komponen atau elemen yang mampu menyimpan energy seperti induktor dan/atau kapasitor. Gejala ini timbul karena energy yang diterima atau dilepaskan oleh komponen tersebut tidak dapat berubah seketika (arus pada induktor dan tegangan pada kapasitor).

2.1.1 Penyebab Transient Response

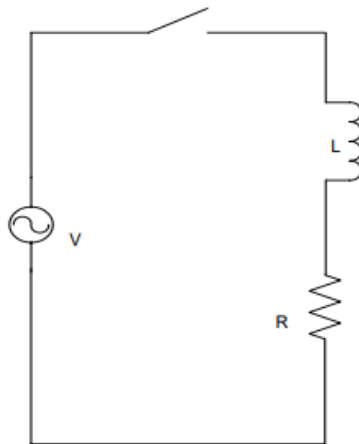
Penyebab terjadinya transient response adalah karena adanya perubahan parameter rangkaian, yang biasanya terjadi akibat rangkaian terbuka (*open circuit*), hubungan singkat (*short circuit*), atau pensaklaran, perubahan dalam operasi sumber, dll. Transient adalah pergantian variabel tegangan dan arus yang berlangsung saat peralihan dari satu kondisi stabil ke kondisi yang lain. Perubahan arus, tegangan selama transient tidak berlangsung secara *instant* dan membutuhkan waktu meskipun perubahan ini terjadi dengan cepat dalam hitungan milidetik atau bahkan mikrodetik.

Perubahan yang berlangsung dengan cepat ini bagaimanapun juga tidak bisa terjadi secara *instant* atau seketika karena proses transient didapatkan melalui pertukaran energi, yang biasanya tersimpan di dalam medan magnet dari induktansi atau medan listrik dari kapasitansi. Perubahan energy tidak dapat terjadi secara tiba-tiba atau mendadak karena akan menghasilkan daya yang tidak terbatas (daya adalah turunan dari energi ($P = dW/dt$), yang tidak akan terjadi dalam keadaan sesungguhnya. Semua perubahan parameter saat transient response kemudian menghilang, dan akan muncul dalam keadaan tunak baru.

Dalam hal ini, transient response dapat dikatakan sebagai perilaku rangkaian diantara dua keadaan tunak, yaitu keadaan tunak yang lama (sebelum perubahan) dan keadaan tunak yang baru. Penyebab terjadinya transient response antara lain:

- a. Penyambungan dan pemutusan beban (*Load switching*)
- b. *Switching* kapasitor
- c. *Recovery voltage*

Transient yang terjadi pada saat pemukaan saklar maka akan terjadi perubahan besarnya arus yang dapat dilihat pada **gambar 2.1**



Gambar 2. 1 Rangkaian Ekuivalen R-L

(Sumber: Anas yusuf, 2008)

Pada rangkaian R-L didapat

V = tegangan (Volt)

R = tahanan (Ohm)

L = induksi (Henri)

2.1.2 Pemutus Daya

Setiap sistem tenaga listrik dilengkapi dengan sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan sistem dan mempertahankan kestabilan sistem ketika terjadi gangguan, sehingga kontinuitas pelayanan dapat dipertahankan. Salah satu komponen sistem proteksi adalah pemutus daya (circuit breaker).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus daya agar dapat mempertahankan kontinuitas pelayanan :

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus daya itu sendiri.

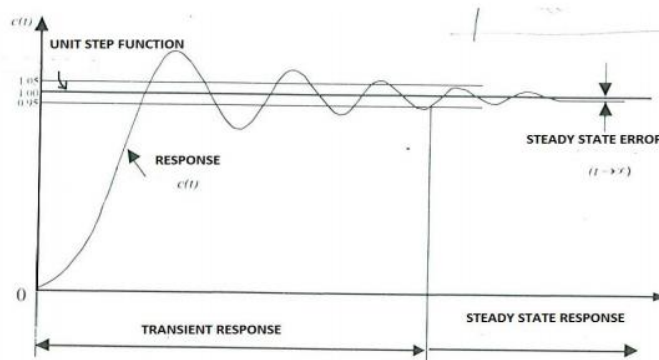
2.1.3 Spesifikasi Respon *Transient*

Spesifikasi Respon *Transient* adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat terjadinya perubahan sinyal input/gangguan/beban sampai respon masuk dalam keadaan *steady state*. Tolok ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *transient* ini antara lain:

- **Time constan (T)** = Ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon, diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*.
- **Rise time (T_R)** = Ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang diukur mulai respon 5% s/d 95% dari respon *steady state*.
- **Settling time (T_s)** = Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 0,5\%$, $\pm 2\%$, atau $\pm 5\%$ dari respon *steady state*
- **Delay time (T_D)** = Ukuran waktu yang menyatakan factor keterlambatan respon output terhadap input, diukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon *steady state*.
- **Overshoot** = Nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga *steady state* dibanding nilai *steady state*.
- **Time peak (T_p)** = Ukuran waktu yang diukur mulai dari $t = 0$ sampai mencapai nilai puncak maksimum.

2.1.4 Spesifikasi Respon *Steady State*

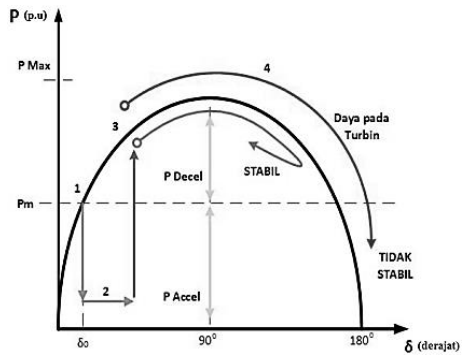
Spesifikasi Respon *Steady State* adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat respon masuk dalam keadaan *steady state* sampai waktu tak terbatas (dalam praktek waktu pengamatan dilakukan saat $T_s \leq t \leq 5T_s$). Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *steady state* ini antara lain; *error steady state*



Gambar 2. 2 Kurva Respon Tangga

(Sumber: Charles Muling, 2012)

Gangguan besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik mempengaruhi kinerja generator sehingga putaran rotor generator dapat mengalami fluktuasi kecepatan. Berikut pada Gambar 2.3 merupakan perilaku generator ketika sistem mengalami gangguan



Gambar 2. 3 Perilaku Generator Saat Terjadi Gangguan

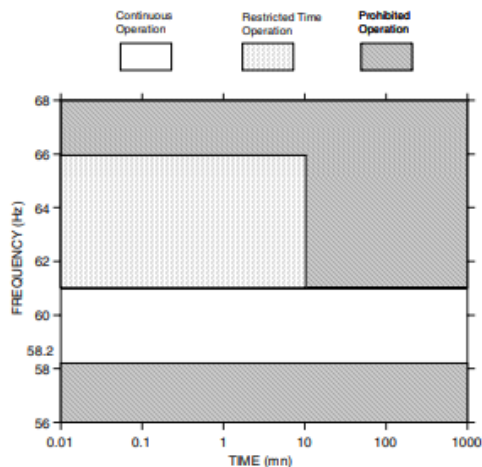
(Sumber : *Power Sistem Stability And Control by Prabha Kundur*)

Pada titik kerja awal (sebelum terjadi gangguan), dapat diketahui bahwa timbulnya gangguan seketika mengakibatkan daya *output* generator turun secara drastis. Selisih antara daya *output* listrik tersebut dan daya mekanis turbin mengakibatkan rotor generator mengalami percepatan, sehingga sudut rotor/daya bertambah besar. Ketika gangguan hilang, daya *output* generator pulih kembali pada harga yang sesuai dengan kurva p - δ di atas.

2.1.4 Standar IEEE

1. Standar Frekuensi

Menurut IEEE standar 106-2003 kemampuan generator untuk menahan fenomena under/over frequency dijelaskan pada gambar 2.4 berikut,



Gambar 2. 4 Standar Frekuensi Berdasarkan IEEE Std. 106-2003

(Sumber: IEEE Std C37.106-2003)

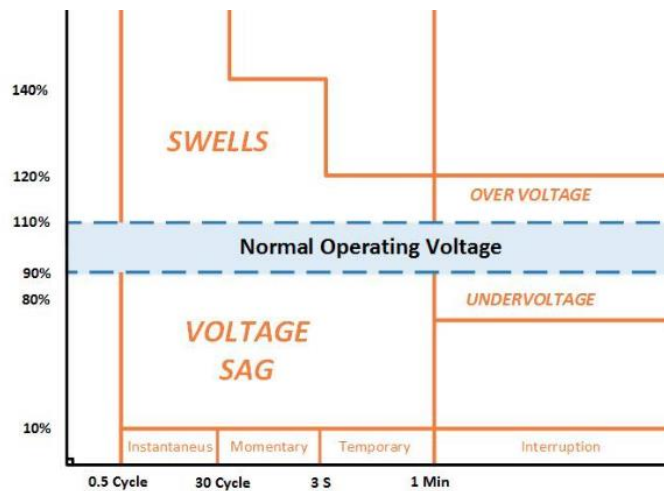
Standar frequency diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Frekuensi bawah yang diizinkan adalah sebesar 58.2 Hz
2. Frekuensi atas yang diizinkan adalah sebesar 61 Hz

Maka pada saat keadaan steady state diharapkan nilai tidak menyentuh angka diatas agar frekuensi tetap stabil

2. Standar Tegangan

Menurut IEEE *standard* 1195, gangguan transien yang dapat terjadi adalah *voltage dip*, *voltage swell*, *over voltage* dan *under voltage*. Standar dari kedip tegangan dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2. 5 Standar Voltage Dips berdasarkan IEEE 115-1995

(Sumber: IEEE Std. 115-1995)

Dari gambar diatas dapat diambil beberapa penjelasan sebagai berikut:

- Nilai dari *Normal Operating Voltage* adalah 90%-110% dari tegangan nominal.
- Penurunan tegangan atau voltage sag dibatasi pada 10%-90% dari tegangan nominal
- Kondisi naiknya tegangan atau voltage swells yang bersifat sementara dibatasi pada nilai 110%-180% dari tegangan nominal.
- Voltage dip hanya dibatasi sebesar 10% diatas dan dibawah nilai tegangan nominal.

2.2 Gangguan Harmonisa

Harmonisa merupakan gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Penyebab timbulnya harmonisa adalah penggunaan peralatan yang mempunyai karakteristik non linier. Keberadaan arus harmonisa dalam sistem tenaga listrik tidak bisa di hilangkan. Salah satu cara untuk menurunkan kandungan arus harmonisa adalah dengan filter pasif frekuensi tunggal.

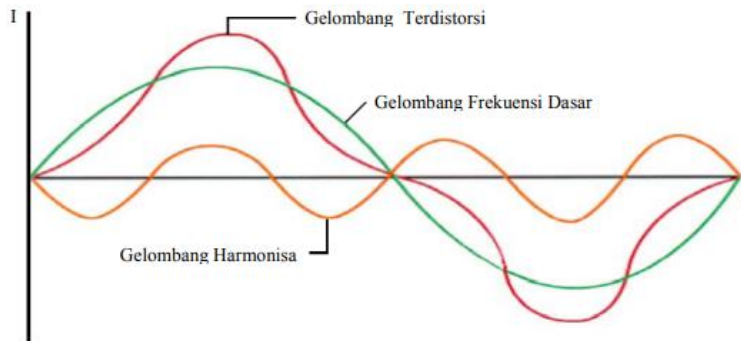
Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier sehingga terbentuklah gelombang frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya sehingga bentuknya tidak sinusoidal. Hubungan antara frekuensi harmonisa dan fundamental dapat ditulis sebagai berikut,

$$F_h = n f_i$$

F_h = frekuensi harmonisa

n = kelipatan gelombang (bilangan bulat)

f_i = frekuensi fundamental.



Gambar 2. 6 Gelombang Terdistorsi, Fundamental, Harmonisa Ketiga
(sumber: Fika Priliasari dan Herri Gusmedi, 2007)

Pada gambar 2.6 Gelombang harmonisa akan menumpang pada gelombang fundamental sehingga akan terbentuk gelombang yang terdistorsi. ini dikarenakan efek penjumlahan dari gelombang harmonisa dengan gelombang fundamentalnya.

2.2.1 Pengaruh Gangguan Harmonisa

1. Gangguan harmonisa mengakibatkan timbulnya panas pada kabel dan transformator, munculnya rugi-rugi terhadap dan berkurangnya efisiensi pada kerja motor. Selain itu ada beberapa akibat yang terjadi akibat harmonisa dalam sistem kelistrikan yaitu timbulnya getaran mekanis pada panel listrik, harmonisa dapat menimbulkan tambahan torsi pada KWH meter, akibatnya putaran piring akan terjadi lebih cepat atau terjadi kesalahan ukur dalam KWH meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya pada frekuensi dasar.
2. Tegangan atau arus harmonisa menimbulkan penambahan rugirugi pada belitan stator dan rangkaian rotor, dan laminasi pada rotor dan stator. Kerugian-kerugian ini lebih besar dari kerugian akibat resistansi DC karena arus Eddy dan skin effect. Arus harmonisa timbul pada stator mesin AC menghasilkan aksi motor (slip harmonisa positif, S_n). Aksi ini menghasilkan torsi shaft pada arah yang sama dengan kecepatan medan harmonisa sehingga semua harmonisa urutan positif membantu putaran torsi shaft sedangkan harmonisa urutan negatif berlaku sebaliknya. (Fatkhurrohman, 2015)
3. Penurunan efisiensi pada daya generator, transmisi dan pemakaiannya.

4. Interferensi dengan rangkaian-rangkaian telekomunikasi dan pemancar arus harmonisa urutan nol.

2.2.2 Cara Mengidentifikasi Harmonisa

Cara untuk mengidentifikasi adanya harmonisa pada sistem distribusi listrik dapat diketahui dengan langkah-langkah berikut :

- a. Identifikasi Jenis Beban
Jenis beban yang dipasok, misalnya peralatan apa yang dipakai.
- b. Pemeriksaan Transformator
Untuk transformator yang memasok beban nonlinier apakah ada kenaikan temperaturnya tidak normal. Arus sekunder transformator baik phase maupun netral perlu dilihat. Bandingkan arus netralnya dengan arus fasa pada keadaan beban tidak seimbang.
- c. Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah
Terjadinya arus lebih pada kawat netral (untuk sistem 3 phase dan 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 volt maka terdapat indikasi adanya maalah harmonisa telah diketahui angkah-langkah untuk mengatasi masalah gangguan harmonisa antara lain dengan mengetahui harmonisa untuk menentukan harmonisa-harmonisa yang dominan dan sumber utamanya.

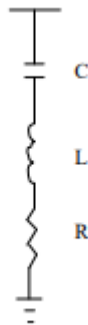
2.2.3 Cara Mengurangi Gangguan Harmonisa

Ketika sebuah sistem tenaga listrik mengalami permasalahan distorsi harmonik, ada beberapa cara dasar untuk mengatasinya, yaitu:

1. Mengurangi arus harmonik yang dihasilkan oleh beban
2. Menambah filter untuk mengalihkan arus yang memasuki sistem, atau melokalisir arus harmonik
3. Merubah respon frekuensi dengan menggunakan filter, induktor, dan kapasitor.

2.2.3.1 Filter Pasif

Filter pasif bekerja dengan menghilangkan harmonisa dengan frekuensi tertentu. Filter ini tidak dapat menghilangkan seluruh frekuensi harmonisa yang ada. Komponen utama dari filter ini adalah induktor dan kapasitor. Induktor dan kapasitor yang digunakan pada filter pasif dipilih yang memiliki nilai yang ketika terjadi resonansi, maka frekuensi resonansi tersebut terjadi ketika tepat pada frekuensi harmonisa yang ingin kita hilangkan. Resonansi mengakibatkan induktor dan kapssitor akan salng menghilangkan. Sehingga bila rangkaian filter akan bertindak sebagai short cicuit. Ketika terjadi short circuit, maka harmonisa pada frekuensi resonansi akan dibuang ke ground.



Gambar 2. 7 Single Tuned
(Sumber: Prasetijo, 2012)

2.2.4 Standar IEEE 519-2014

Batas tegangan harmonik yang direkomendasikan :

– Nilai persentil harian ke-2 sangat singkat (3 detik) seharusnya kurang dari 1,5 kali nilai yang diberikan

Tabel 1.

– Nilai mingguan persentil ke 95 (10 menit) harus lebih kecil dari nilai yang diberikan pada Tabel 1.

Pada PCC, pemilik sistem atau operator harus membatasi harmonik tegangan garis-ke-netral pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Batas Tegangan Harmonisa Yang Direkomendasikan

Bus Voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1.0	1.5

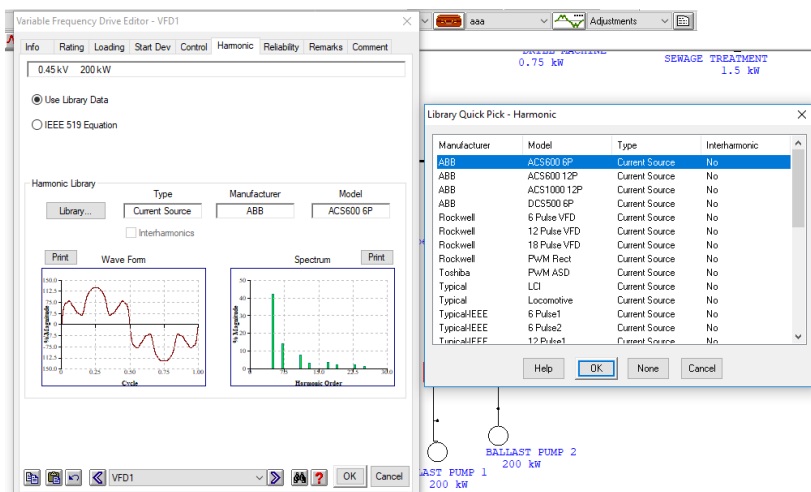
Berdasarkan tabel 2.1 diatas, batas tegangan harmonisa yang direkomendasikan untuk VIHd atau voltage individual harmonic distortion adalah sebesar 5%, sedangkan batas tegangan harmonisa untuk VTHD atau voltage total harmonic distortion adalah sebesar 8%.

2.3 Desain Filter Pasif Pada *Software* Simulasi

Pada simulasi ini, sebelum mendesain filter pasif harmonisa, single line diagram perlu dilakukan analisa *harmonic load flow*. Proses analisa *harmonic load flow* dan proses mendesain filter pasif harmonisa adalah sebagai berikut:

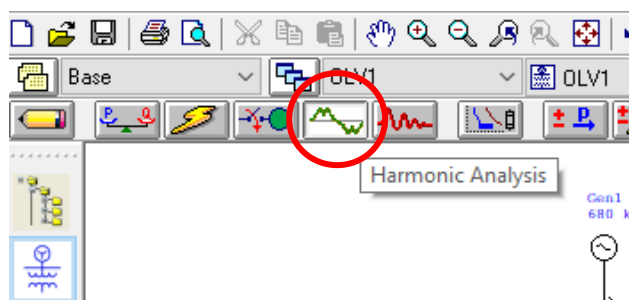
2.3.1 Analisa *Harmonic Load Flow*

Untuk menghasilkan analisa *harmonic load flow*, seluruh rangkaian listrik pada kapal harus sudah terpasang pada diagram *Software Simulasi*. Setelah rangkaian terpasang, langkah selanjutnya yaitu dengan mengisi spesifikasi dari sumber arus harmonisa. Sumber harmonisa tersebut datang dari sumber non-linier.



Gambar 2. 8 Harmonic Library Untuk Pemilihan Variable Frequency Drive

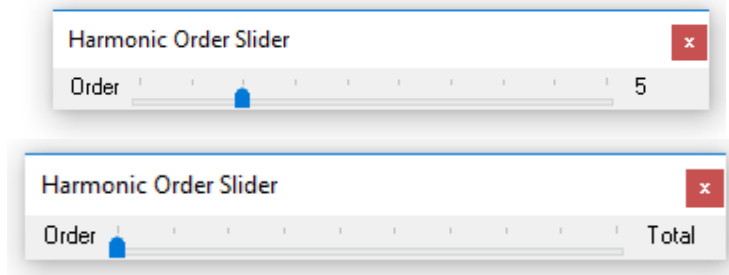
Pada gambar 2.8 Sebelum Melakukan Analisa *Harmonic Load Flow* langkah yang harus dilakukan yaitu dengan cara memilih spesifikasi VFD (*Variable Frequency Drive*) yang telah tersedia pada *Software Simulasi*



Gambar 2. 9 Mode Analisa Harmonisa

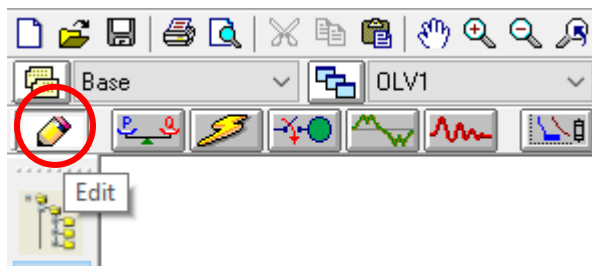
Berdasarkan gambar 2.9 Lakukan *Harmonic Load Flow Analysis* dengan memilih menu *harmonic analysis* pada menu *toolbar Software Simulasi*. Lakukan analisa harmonisa pada setiap order. Sebelum melakukan proses selanjutnya, data harmonic distortion perlu di simpan untuk melakukan pemilihan filter.

2.3.2 Desain Filter Pasif Harmonisa



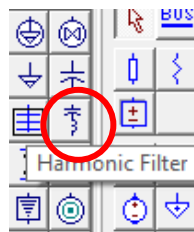
Gambar 2. 10 Harmonic Order Slider

Setelah semua data distorsi harmonisa terkumpul, filter pasif dapat dipasang dengan kembali melakukan pemilihan menu *edit* pada gambar 2.11



Gambar 2. 11 Menu Edit pada Software Simulasi

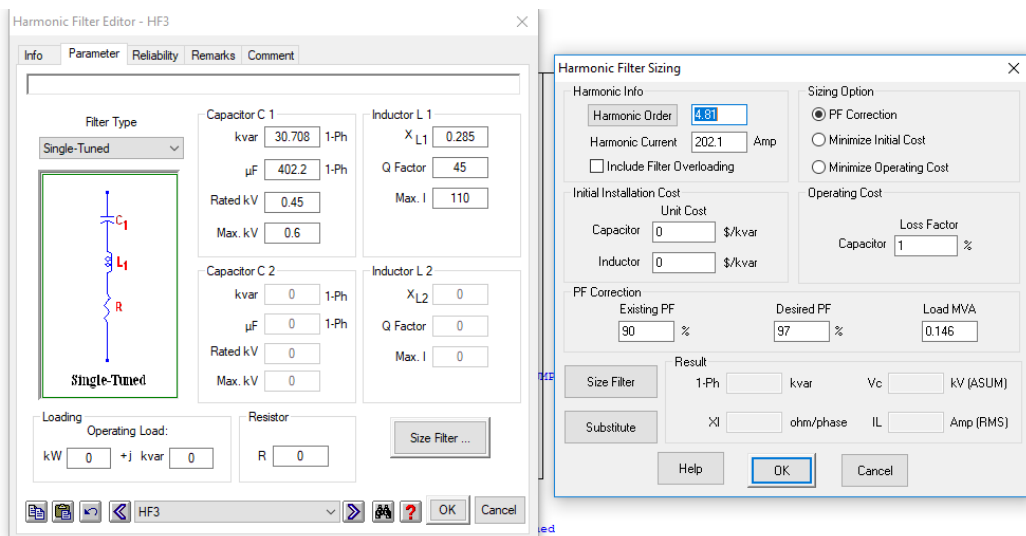
Setelah melakukan pemilihan menu edit pada toolbar, tekan menu harmonic filter pada toolbar *Software Simulasi* dan letakkan filter pada busbar yang memiliki nilai distorsi harmonisa terbesar.



Gambar 2. 12 Simbol Fiter Pasif Harmonisa

Setelah meletakkan filter pada busbar yang memiliki nilai distorsi harmonisa tertinggi, langkah selanjutnya yaitu menentukan tipe filter, lalu ukuran filter yang dibutuhkan oleh *harmonic order*, mengisi *harmonic current*, mengisi data *Power Factor (PF)* yang didapatkan dari analisa load flow, selanjutnya mengisi load factor pada gambar 2.13 dibawah. Selanjutnya tekan size filter dan *Software Simulasi* akan otomatis menghitung

kapasitor dan induktor yang akan di *substituted* pada filter dengan menekan pilihan *substitute*.



Gambar 2. 13 Editor Filter Pasif Harmonisa

Tetapi orde harmonisa tidak sama persis dengan nilai harmonisa itu sendiri (misalnya nilai harmonisa pada orde ke-5 tidak tepat 5). Nilai harmonisa pada filter akan di tampilkan pada tabel 2.2 berikut

Tabel 2. 2 Tuning Orders Dalam Faktor Tuning Yang Diterapkan

Order	5th	7th	9th	11th
Tuning	4.813	6.734	8.663	10.59
Order	13th	15th	17th	19th
Tuning	12.51	14.44	16.36	18.29

2.4 Sistem Kelistrikan Kapal

Sistem kelistrikan kapal adalah sebuah sistem yang bekerja didalam suatu instalasi listrik kapal. Dapat diperjelas lagi bahwa instalasi listrik kapal merupakan salah satu sistem kerja pada kapal yang menghantarkan energi listrik yang kegunaannya untuk keberlangsungan kinerja dari operasional suatu kapal. Tanpa adanya sistem kelistrikan di kapal, kapal tidak akan dapat beroperasi untuk kegiatan operasional. Karena pada hakikatnya listrik adalah kebutuhan utama dalam menjalankan kegiatan operasional di kapal. Tanpa adanya listrik tentunya komponen-komponen seperti motor, pompa, alat elektronik, alat navigasi, dan komponen lain yang membutuhkan listrik, tidak akan dapat beroperasi. Sistem kelistrikan di kapal dapat dimulai dari unit pembangkit listrik yaitu

diesel generator yang selanjutnya akan melalui berbagai macam komponen sistem distribusi untuk menyuplai daya listrik.

Perancangan instalasi listrik kapal ini berdasarkan pada persyaratan atau ketentuan yang berlaku untuk sistem di kapal. Berbeda dengan sistem kelistrikan yang biasa ditemukan di daratan. Di kapal didapatkan suplai listrik dari diesel generator pada umumnya. Jika sistem kelistrikan di darat sangat bergantung dengan distribusi listrik yang di suplai oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sistem kelistrikan di kapal sangat tergantung dengan sistem pembangkit listrik yang terdapat pada kapal tersebut. Dan hal tersebut menjadi sangat krusial keberadaannya dan fungsinya dalam pengoperasian kapal apapun. Oleh sebab itu pemilihan sistem pembangkit listrik kapal dilakukan perhitungan yang sesuai dengan kebutuhan. Hal tersebut harus melewati beberapa tahap sampai akhirnya ditemukan tipe sistem pembangkit listrik yang cocok dipasang di kapal tersebut. Tahap tersebut antara lain perhitungan daya yang dibutuhkan di atas kapal, penentuan tipe dan ukuran yang sesuai dengan kondisi ruang yang akan ditempati. Secara umum diesel generator adalah pembangkit listrik yang di gunakan di kapal hingga saat ini.

Pada sistem kelistrikan di kapal pada umumnya menggunakan minimal 2 diesel generator. Karena dalam pengoperasiannya dalam keadaan beban penuh dapat digunakan seluruh generator yang ada. Namun ketika dalam kondisi beban biasa maka penggunaan generator dapat dilakukan secara bergantian agar nilai keandalan dari generator dapat terjaga dengan baik. Jumlah generator dapat ditentukan dengan menghitung jumlah kebutuhan daya dari semua komponen listrik yang ada di kapal. Untuk mengetahui besar atau jumlah daya yang dibutuhkan (menentukan daya generator) yang ada di kapal, harus ditentukan terlebih dahulu daya yang akan dipakai oleh lampu-lampu untuk penerangan, dan peralatan-peralatan listrik (motor-motor listrik). Dari perhitungan tersebut didapatkan berapa generator yang dibutuhkan dengan daya yang sesuai dengan kebutuhan daya pada kapal.

Dalam sebuah kapal diharuskan memiliki *emergency* generator atau *battery*. Fungsinya adalah untuk menyuplai daya listrik ketika generator utama mengalami kerusakan. Hal ini untuk menghindari kapal dalam kondisi *blackout*. Daya listrik keluaran dari *emergency* generator ini biasanya akan dipusatkan menuju ke satu *Main Switch Board* (MSB). *Emergency switchboard* dan sistem *emergency distribution* daya terhubung dengan *bus tie* dari *switchboard* di kapal. Apabila sistem distribusi daya di kapal mengalami kegagalan atau gangguan, sistem *emergency distribution* akan secara.

2.5 Generator

Generator adalah sebuah dynamo besar yang berfungsi sebagai pembangkit listrik. Fungsi dari generator adalah mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Terdapat 2 komponen utama pada generator listrik, yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor bagian yang bergerak. Berdasarkan jenis arus listrik yang dihasilkan, generator listrik dibedakan menjadi 2 macam, yaitu generator AC dan generator DC. Generator arus bolak-balik (AC) dikenal dengan sebutan alternator. Generator diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik pada saat terjadi gangguan, dimana suplai tersebut digunakan untuk beban prioritas. Sedangkan genset (generator set) merupakan bagian dari generator.

2.5.1 Konstruksi Generator AC

Konstruksi dari Generator AC adalah sebagai berikut:

a. Rangka Stator

Rangka stator terbuat dari besi tuang berbentuk silinder, yang merupakan rumah dari bagian-bagian generator yang lain. Bagian belakang dari rumah stator ini biasanya memiliki sirip-sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.

b. Inti stator

Inti stator ini terdiri dari cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (eddy current losses). Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya.

c. Alur stator

Merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan.

d. Rotor

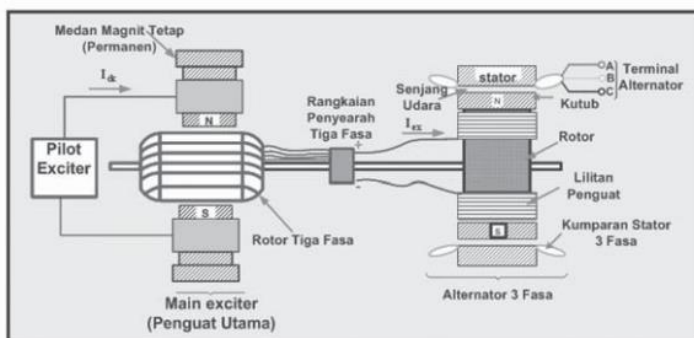
Rotor adalah bagian yang berputar, pada bagian ini terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.

e. Cincin geser

Terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan menggunakan bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros rotor.

f. Generator penguat

Generator penguat merupakan generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus.



Gambar 2. 14 Konstruksi Generator

(Sumber: Sunarlik, 2014)

2.5.2 Prinsip Kerja Generator

Prinsip kerja dari generator sesuai dengan hukum Lens, yaitu arus listrik yang diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan EMF pada kumparan rotor. Tegangan EMF ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai *prime mover* akan memutar rotor

generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan.

Terjadinya GGL dapat dibuktikan dengan formula :

$$E = d\Phi / dt$$

$$d\Phi = (B A \cos\theta)/dt$$

Dimana:

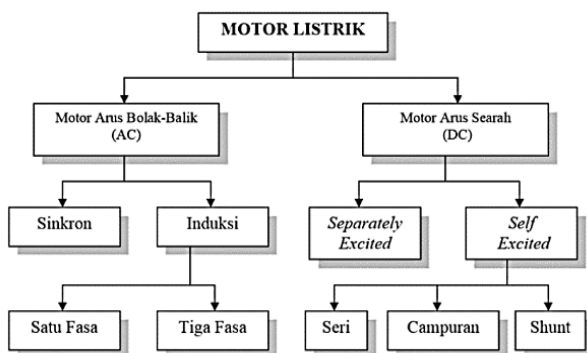
- E = Ggl yang dibangkitkan (volt)
- dt = waktu
- dΦ = fluks (Wb)
- B = kerapatan fluks magnet (Tesla)
- A = luas pemampang (m²)

Generator AC bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik. Generator AC terdiri dari stator yang merupakan elemen diam dan rotor yang merupakan elemen berputar dan terdiri dari belitan-belitan medan. Pada generator AC jangkarnya diam sedangkan medan utamanya berputar dan lilitan jangkarnya dihubungkan dengan dua cincin geser.

2.6 Motor Induksi

Motor induksi atau biasa disebut dengan motor asinkron adalah motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi mekanik. Pada prinsipnya adalah dipengaruhi juga dengan medan putar, perputaran pada motor induksi ditimbulkan oleh adanya medan putar (Fluks yang berputar) yang dihasilkan oleh kumparan medan pada stator. Dikatakan sebagai motor induksi karena motor baru bisa bekerja bila konduktor rotor terinduksi oleh medan putar magnet pada stator. Motor asinkron ini bekerja berdasarkan adanya perbedaan antara putaran medan stator (Ns) dan putaran rotor (Nr). Dikatakan motor slip karena motor berputar apabila Ns>Nr.

Berikut ini merupakan pembagian-pembagian jenis motor listrik:



Gambar 2. 15 Klasifikasi Motor Listrik
(Sumber: Suherman, 2017)

2.6.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotormya. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan

stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul ggl atau tegangan induksi dan arena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor.

Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.



Gambar 2. 16 Motor induksi

(Sumber: Rachmat dan Ruhama, 2014)

a. Stator

Stator merupakan bagian yang diam dari motor induksi tiga fasa, pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa, maka pada kumparan tersebut segera timbul medan putar. Dengan adanya medan magnet putar pada kumparan stator akan mengakibatkan rotor berputar, hal ini terjadi karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dan kecepatan putar stator.



Gambar 2. 17 Stator

(Sumber: Rachmat dan Ruhama, 2014)

a. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat induksi dari kumparan yang ada di stator. Ada dua jenis rotor yang sering digunakan, yaitu rotor sangkar dan rotor belit.



Gambar 2. 18 Rotor

(Sumber: Rachmat dan Ruhama, 2014)

2.7 Macam-macam Kondisi Kapal

Pengelompokkan berdasarkan aktifitas kapal diatas bertujuan untuk memudahkan dalam penentuan faktor beban masing-masing peralatan, karena tidak semua peralatan listrik pada kapal dioperasikan secara kontinyu. Sehingga menurut Sarwito (1995) dalam perhitungan penentuan generator mempunyai beberapa pandangan untuk menentukan kondisi operasional kapal seperti :

- Dua Kondisi : berlayar dan berlabuh.
- Empat kondisi : berlayar, meninggalkan pelabuhan, bongkar muat, dan di pelabuhan.
- Delapan kondisi : berlayar, meninggalkan pelabuhan, bongkar muat, dan di pelabuhan yang semuanya dalam kondisi siang dan malam.

Menurut BKI pada kondisi berlayar yang digunakan sebagai pedoman dalam menentukan kapasitas generator karena merupakan kondisi yang paling lama dilakukan. Kecuali untuk kapal khusus misalnya kapal keruk, karena kondisi terlamanya adalah saat mengadakan pengerukan. Lalu Ketika bongkar muat dilaksanakan, kebutuhan listrik digunakan untuk mengoperasikan peralatan bongkar muat serta peralatan penunjangnya. Disamping itu pada kondisi ini juga digunakan untuk mereparasi peralatan. Peralatan tersebut diantaranya adalah : cargo gear, turning gear, ballast pump, mesin bubut, mesin gerinda, mesin bor dan lain sebagainya. Kondisi ini berlaku untuk kapal cargo sedangkan untuk jenis lainnya akan berbeda pekerjaan yang dilakukan misalnya tug work untuk kapal tunda. Pada saat berlabuh di pelabuhan kebutuhan listrik menggunakan pelayanan sewa listrik dari pihak pelabuhan karena pertimbangan biaya yang lebih murah dari pada pengoperasian generator.

Dari pandangan tersebut dapat dilakukan analisa perhitungan beban listrik (*electric load factor*) yang berupa tabel dan bias disebut juga sebagai kalkulasi keseimbangan beban listrik (*calculation of electric power balance*) pada kapal sesuai dari kondisinya. Dengan mengetahui hasil kalkulasi keimbangan beban listrik tersebut dapat ditentukan generator yang sesuai untuk digunakan secara operasional pada kapal. Pengelompokan ini juga biasanya berupa kelompok mesin daya, penerangan dan peralatan komunikasi/navigasi. Untuk kapal khusus dengan instalasi pendingin yang dikelaskan juga untuk peti kemas dengan pendingin maka diperlukan juga perhitungan kebutuhan daya beban pendingin tersebut pada analisa beban listrik.

Kebutuhan maksimum beban listrik juga penting diketahui untuk menentukan kapasitas generator yang diperlukan agar generator dapat menyuplai kebutuhan listrik maksimal di kapal. Sedangkan kebutuhan minimum digunakan untuk menentukan konfigurasi dari sistem pembangkit listrik yang sesuai serta untuk menentukan kapan generator yang dioperasikan. Sarwito (1995) mengatakan terdapat tiga kelompok beban di kapal yang harus dilayani oleh generator berdasarkan fungsinya masing-masing :

- Beban pada geladak lambung (*hull part*)
- Beban yang berupa motor-motor listrik pesawat tenaga dalam sistem permesinan kapal (*machinery part*)
- Beban berupa elektronika, penerangan, peralatan komunikasi, dan sistem navigasi yang menunjang sistem permesinan kapal (*electrical load*)

Pengelompokan ini biasanya berupa kelompok mesin daya, penerangan dan peralatan komunikasi/navigasi. Untuk kapal khusus dengan instalasi pendingin yang dikelaskan juga untuk peti kemas dengan pendingin maka diperlukan juga perhitungan kebutuhan daya beban pendingin tersebut pada analisa beban listrik. **Invalid source specified.**

2.8 *Software Simulasi*

Software yang digunakan untuk melakukan permodelan/perencanaan dan gambaran tentang sistem kelistrikan yang ada di suatu Industri ataupun wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa. Analisa yang dapat dilakukan pada *Software Simulasi* yaitu :

1. Single Line Diagram
2. Load Flow Analysis
3. Optimal Capacitor Placement
4. Starting motor
5. Short Circuit Analysis
6. Koordinasi Proteksi
7. Transient Stability Analysis

Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan..

Software Simulasi mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan *Software Simulasi* antara lain :

1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Starting motor
4. Koordinasi proteksi
5. Analisa kestabilan transien, dll.

Software Simulasi PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *Software* Simulasi PowerStation adalah:

- **Single Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

2.9 Overvoltage

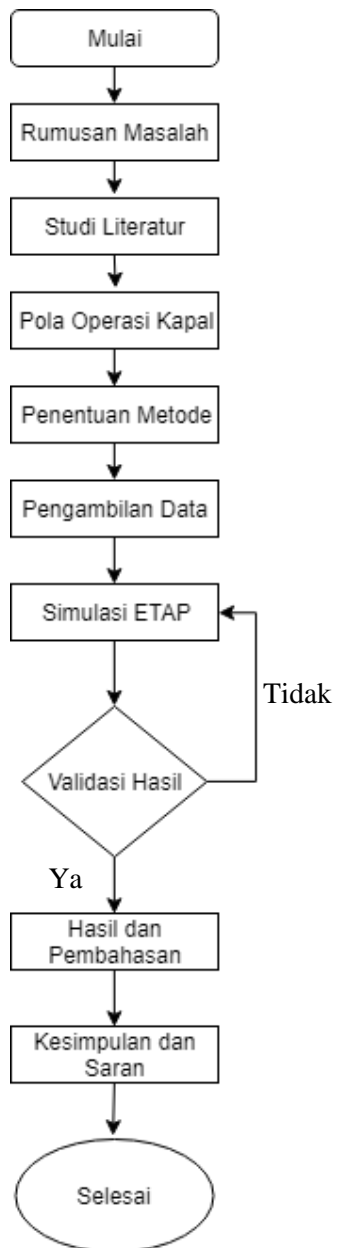
Overvoltage (Tegangan lebih) merupakan peningkatan nilai efektif tegangan hingga melebihi 110 persen dari tegangan nominal ketika melebihi satu menit. *Overvoltage* dapat disebabkan oleh operasi switching beban seperti switching off pada beban besar, energizing capacitor bank.

2.10 Undervoltage

Undervoltage merupakan penurunan nilai efektif tegangan hingga melebihi 90 persen dari tegangan nominal ketika melebihi satu menit. *Undervoltage* dapat disebabkan oleh operasi switching beban seperti switching pada beban, switching capacitor bank.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian



Dalam tugas akhir ini, langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

3.2.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah adalah tahap paling awal dalam dalam pelaksanaan tugas akhir, dimana penulis harus merumuskan masalah apa yang ada pada sistem kelistrikan kapal. Pada tugas akhir ini penelitian yang akan dibahas yaitu tentang transient response dan harmonisa. Perumusan masalah dilakukan dengan cara mencari informasi terkait masalah yang terjadi di sekitar, setelah itu tujuan dari tugas akhir ini dapat diketahui dan didapatkan solusinya.

3.2.2 Studi Literatur

Setelah mendapatkan permasalahan, selanjutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah mencari referensi bacaan dari rumusan masalah, sehingga permasalahan yang ada dapat terpecahkan dan mendapatkan solusi.

3.2.3 Pengumpulan Data

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

1. Data kapal tanker
2. Data wiring diagram kapal tanker
3. Data single line diagram sistem kelistrikan kapal tanker
4. Data dan spesifikasi komponen pada sistem kelistrikan kapal tanker.

3.2.4 Permodelan Sistem

Berikutnya adalah pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan *Software* Simulasi untuk mengetahui gambaran kondisi kerja dari sistem kelistrikan kapal tanker dalam beberapa kondisi.

3.2.5 Simulasi Gangguan Transient Response dan Harmonisa

Tahapan ini dilakukan dengan cara simulasi menggunakan *Software* Simulasi Modul *Transient Stability* dan harmonisa, tujuannya adalah untuk mengetahui berapa jumlah dan berapa lama gangguan yang timbul pada sistem kelistrikan kapal tanker dalam beberapa kondisi kapal.

3.2.6 Validasi

Pada tiap simulasi dilakukan pemeriksaan apakah hasil simulasi masih dalam kategori aman menurut standar yang telah ditetapkan. Apabila hasilnya masih tergolong aman maka akan langsung ke pengambilan kesimpulan, sedangkan jika hasilnya tidak sesuai dengan standar maka akan dilakukan upaya pencegahan atau perbaikan untuk memulihkan sistem.

3.2.7 Kesimpulan

Membuat kesimpulan mengenai transient response dan harmonisa pada sistem kelistrikan kapal dan mendapatkan solusi untuk mengatasi gangguan yang terjadi.

“”Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

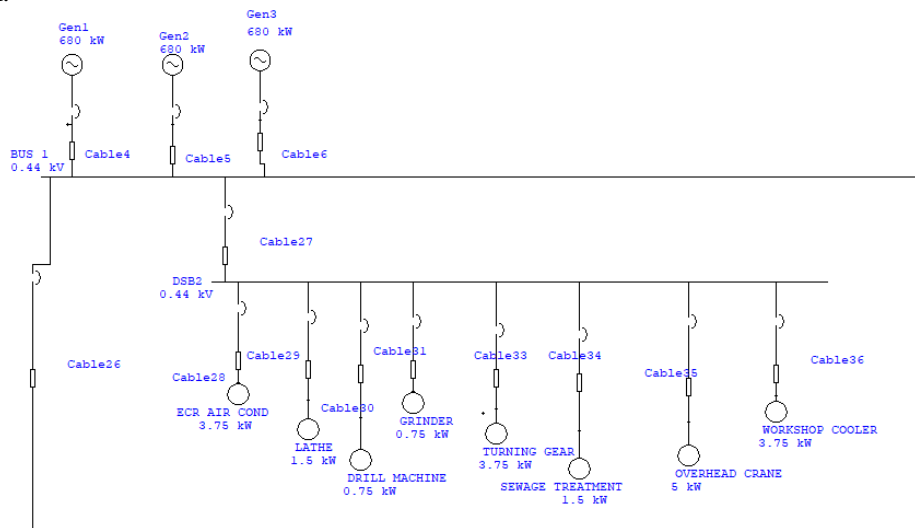
4.1 Data Utama Kapal

Objek penelitian yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah MT. X dengan dimensi dan data umum sebagai berikut:

Panjang seluruhnya (LOA)	= 234.8 m
PANjang antara garis air (LWL)	= 39.50 m
Lebar (B)	= 42 m
Tinggi (H)	= 21.3 m
Sarat Air (T)	= 12.19 m
DWT	= 107.538
Kecepatan dinas (vs)	= 15.6 knots
Generator	= 3 unit, AC 450 V, 3ph, 60 Hz, 680 Kw

4.2 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Kapal Tanker

Untuk mendapatkan nilai transient response dan harmonisa dengan menggunakan *Software* Simulasi, pertama kali yang harus dilakukan adalah membuat single line diagram. Single line diagram adalah suatu garis yang menjabarkan tentang persebaran peralatan listrik dari pembangkit sampai dengan beban pada sistem tenaga listrik.



Gambar 4. 1 Single Line Diagram Kapal Tanker DSB 2

4.3 Spesifikasi Peralatan

Pada sistem distribusi listrik kapal MT. X terdapat beberapa komponen-komponen listrik seperti generator dan motor listrik.

a. Generator

Pada umumnya generator adalah suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kapal MT. X memiliki 3 unit generator utama yang digunakan secara berurutan sesuai dengan kebutuhan beban listrik pada kapal. Spesifikasi generator yang terdapat pada kapal MT. X adalah sebagai berikut:

Type : Diesel generator

Daya : 800Kw

Frekuensi : 60 Hz

Tegangan : 450 V

b. Motor Listrik

Motor listrik adalah suatu alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada kapal MT. X peralatan listrik yang digunakan merupakan motor induksi 3 fasa. Berikut merupakan spesifikasi dari motor motor listrik yang digunakan pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Spesifikasi Peralatan pada Feeder Panel

FEEDER PANEL					
No	Nama Alat	Daya (Kw)	Arus (A)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)
1	Steering Gear 1	50	82	450	60
2	Steering Gear 2	50	82	450	60
3	Ballast Pump 1	200	315	450	60
4	Ballast Pump 2	200	315	450	60
5	Inert Gas Fan 1	75	117	450	60
6	Inert Gas Fan 2	75	117	450	60
7	Boiler Fan 1	55	59	450	60
8	Boiler Fan 2	55	59	450	60
9	Hydr Oil Pump 1	100	165	450	60
10	Hydr Oil Pump 2	100	165	450	60
11	Hydr Oil Pump 3	100	165	450	60
12	Hydr Oil Pump 4	100	165	450	60
13	Low Press Pump	11	19.8	450	60
14	Compressor	55	128	450	60
15	Hydr Pump Crane	75	128	450	60

Tabel 4. 2 Spesifikasi Peralatan pada DSB 2

DSB 2					
No	Nama Alat	Daya (Kw)	Arus (A)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)
1	Ecr Ac	3.75	7	450	60
2	Lathe	1.5	3.2	450	60
3	Drill Machine	0.4	1.25	450	60
4	Grinder	0.75	1.57	450	60
5	Turning Gear	3.7	7.2	450	60
6	Sewage	1.5	3	450	60
7	Overhead Crane	5	10	450	60
8	Workshop Cooler	3.75	7	450	60

Tabel 4. 3 Spesifikasi Peralatan pada DSB 3&4

DSB 3&4				
Nama Alat	DAYA (KW)	ARUS (A)	TEGANGAN (V)	FREKUENSI (Hz)
Fo Purifier 1	5.5	9.1	450	60
Fo Purifier 2	5.5	9.1	450	60
M/E Lo Purifier	5.5	9.1	450	60
G/E Lo Purifier	3.7	6.5	450	60
Fo Shifter Pump	3.7	7	450	60
Cargo Oil Turbine Lo 1	1	2	450	60
Cargo Oil Turbine Lo 2	1	2	450	60
Cargo Oil Turbine Lo 3	1	2	450	60
Ejector Pump	5.5	9.9	450	60
Distilate Pump	1.5	2.8	450	60

Tabel 4. 4 Spesifikasi Peralatan pada DSB 6

DSB 6				
Nama Alat	Daya (Kw)	Arus (A)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)
Hyd Oil Pump For Valve Control Sys 1	1.5	3.4	450	60
Hyd Oil Pump For Valve Control Sys 2	1.5	3.4	450	60

Life&Rescue Boat Winch Sb Side	18	33	450	60
Life Boat Winch Port Side	3.7	7.3	450	60
3.5 Ton Prov Crane				
Hoisting	7.5	13.2	450	60
Slewing	2.2	4.2	450	60
Upp Dk Air Cond Unit Rm				
Galley Ac	3	5.89	450	60
	0.4	1	450	60
Upp Dk Ref Prov Store				
Prov Ref Comp 1	3.7	12.5	450	60
Prov Ref Comp 2	3.7	12.5	450	60
Meat	0.08	1.4	450	60
Vege	0.08	1.4	450	60
Disposer Galley	0.9	1.9	450	60
Galley Exh Fan	1.5	3.3	450	60
Sanitary Exh Fan 1	1.5	3.3	450	60
Sanitary Exh Fan 2	1.5	3.3	450	60
Drink Water Pump	0.75	1.8	450	60
Steer Gear Rm & Emrgnc Fire Pump Sp Exh Fan	1.5	3.3	450	60
0.9 Ton Prov Crane (Upp Dk Stbd)				
Hot Water Circ Pump	0.4	1	450	60

4.4 Kondisi Pembebanan Motor Listrik pada Tiap Kondisi

4.4.1 Pembebanan Motor Listrik Pada Kondisi *Loading-Unloading*

Saat kapal dalam kondisi *loading-unloading* beban listrik di suplai oleh dua unit generator dengan daya masing 800 kW dengan tegangan 450 V. Pada saat kapal dalam kondisi *loading-unloading* beban listrik tertinggi ada pada ballast pump, Inert gas fan, hydraulic oil pump, dan hydraulic pump crane dengan masing-masing daya yaitu 200 Kw, 75 kW, 100 kW dan 100 kW. Kondisi *loading-unloading* ini adalah konsumsi listrik terbesar diantara 3 kondisi lainnya yaitu, *maneuvering*, *sailing*, dan *anchoring*. Berikut adalah peralatan listrik yang digunakan pada saat kondisi *loading-unloading* pada tabel 4.5

Tabel 4. 5 Kondisi Loading-Unloading

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Ballast Pump	200	315	450	60	FEEDER PANEL
Ballast Pump	200	315	450	60	FEEDER PANEL
Boiler Fan 1	55	59	450	60	FEEDER PANEL
Boiler Fan 1	55	59	450	60	FEEDER PANEL
Inert Gas Fan	75	117	450	60	FEEDER PANEL
Inert Gas Fan	75	117	450	60	FEEDER PANEL
Hydr Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Hydr Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Low Press Pump	11	19.8	450	60	FEEDER PANEL
Compressor	55	128	450	60	FEEDER PANEL
Hydr Pump Crane	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Ecr Ac	3.75	7	450	60	DSB 2
Workshop Cooler	3.75	7	450	60	DSB 2
Turning Gear	3.7	7.2	450	60	DSB 2
Overhead Crane	5	10	450	60	DSB 2
Fo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
M/E Lo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
G/E Lo Purifier	3.7	6.5	450	60	DSB 3&4
Fo Shifter Pump	3.7	7	450	60	DSB 3&4
Cargo Oil Turbine Lo	1	2	450	60	DSB 3&4
Ejector Pump	5.5	9.9	450	60	DSB 3&4
Distilate Pump	1.5	2.8	450	60	DSB 3&4
Hyd Oil Pump For Valve	1.5	3.4	450	60	DSB 6
Hyd Oil Pump For Valve	1.5	3.4	450	60	DSB 6
3.5 Ton Prov Crane					DSB 6
Hoisting	7.5	13.2	450	60	DSB 6
Slewing	2.2	4.2	450	60	DSB 6
Galley Ac	3	5.89	450	60	DSB 6
Prov Ref Comp 1	3.7	12.5	450	60	DSB 6

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Meat	0.08	1.4	450	60	DSB 6
Vege	0.08	1.4	450	60	DSB 6
Disposer Galley	0.9	1.9	450	60	DSB 6
Galley Exh Fan	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Sanitary Exh Fan 1	1.5	3.3	450	60	DSB 6
0.9 Ton Prov Crane					DSB 6
Hoisting	2.2	4.2	450	60	DSB 6
Slewing	0.75	1.6	450	60	DSB 6

4.4.2 Pembebanan Motor Listrik Pada Kondisi *Sailing*

Saat kapal dalam kondisi *sailing* beban listrik di suplai oleh dua unit generator dengan daya masing 800 kW dengan tegangan 450 V. Pada saat kapal dalam kondisi *sailing* beban listrik tertinggi ada pada steering gear, boiler fan, hydraulic oil pump, dan compressor dengan masing-masing daya yaitu 50 Kw, 55 kW, 100 kW, dan 55 kW. Kondisi *sailing* ini bukanlah puncak dari konsumsi listrik terbesar diantara 3 kondisi lainnya yaitu, *maneuvering*, *loading-unloading*, dan *anchoring*. Berikut adalah peralatan listrik yang digunakan pada saat kondisi *sailing* pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Kondisi Sailing

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Steering Gear	50	82	450	60	FEEDER PANEL
Boiler Fan	55	59	450	60	FEEDER PANEL
Boiler Fan	55	59	450	60	FEEDER PANEL
Hydraulic Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Hydraulic Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Compressor	55	128	450	60	FEEDER PANEL
Ecr Ac	3.75	7	450	60	DSB 2
Lathe	1.5	3.2	450	60	DSB 2
Drill Machine	0.4	1.25	450	60	DSB 2
Grinder	0.75	1.57	450	60	DSB 2
Turning Gear	3.7	7.2	450	60	DSB 2
Sewage Treatment	1.5	3	450	60	DSB 2
Fo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
M/E Lo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
G/E Lo Purifier	3.7	6.5	450	60	DSB 3&4
Fo Shifter Pump	3.7	7	450	60	DSB 3&4
Ejector Pump	5.5	9.9	450	60	DSB 3&4
Distilate Pump	1.5	2.8	450	60	DSB 3&4
Hyd Oil Pump For Valve Control Sys 1	1.5	3.4	450	60	DSB 6

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Hyd Oil Pump For Valve Control Sys 2	1.5	3.4	450	60	DSB 6
Life&Rescue Boat Winch Sb Side	18	33	450	60	DSB 6
Life Boat Winch Port Side	3.7	7.3	450	60	DSB 6
Galley Ac	0.4	1	450	60	DSB 6
Galley Ac	3	5.89	450	60	DSB 6
Prov Ref Comp 1	3.7	12.5	450	60	DSB 6
Prov Ref Comp 2	3.7	12.5	450	60	DSB 6
Meat	0.08	1.4	450	60	DSB 6
Vege	0.08	1.4	450	60	DSB 6
Disposer Galley	0.9	1.9	450	60	DSB 6
GALLEY EXH FAN	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Galley Exh Fan	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Sanitary Exh Fan 1	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Sanitary Exh Fan 1	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Hot Water Circ Pump	0.4	1	450	60	DSB 6

4.4.3 Pembebanan Motor Listrik Pada Kondisi *Anchoring*

Saat kapal dalam kondisi *anchoring* beban listrik di suplai oleh dua unit generator dengan daya masing 800 kW dengan tegangan 450 V. Pada saat kapal dalam kondisi *anchoring* beban listrik tertinggi ada pada compressor dan hydraulic oil pum, dengan masing-masing daya yaitu 55 kW dan 100 kW. Kondisi *anchoring* ini bukanlah puncak dari konsumsi listrik terbesar diantara 3 kondisi lainnya yaitu, *maneuvering*, *loading-unloading*, dan *sailing*. Berikut adalah peralatan listrik yang digunakan pada saat kondisi *anchoring* pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Kondisi Anchoring

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Compressor	55	128	450	60	FEEDER PANEL
Hydraulic Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Hydraulic Oil Pump 2	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Ecr Ac	3.75	7	450	60	DSB 2
Workshop Cooler	3.75	7	450	60	DSB 2
Fo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
M/E Lo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
G/E Lo Purifier	3.7	6.5	450	60	DSB 3&4
Fo Shifter Pump	3.7	7	450	60	DSB 3&4
Ejector Pump	5.5	9.9	450	60	DSB 3&4

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Distilate Pump	1.5	2.8	450	60	DSB 3&4
Galley Ac	3	5.89	450	60	DSB 6
Prov Ref Comp 1	3.7	12.5	450	60	DSB 6
Meat	0.08	1.4	450	60	DSB 6
Vege	0.08	1.4	450	60	DSB 6
Disposer Galley	0.9	1.9	450	60	DSB 6
Galley Exh Fan	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Sanitary Exh Fan 1	1.5	3.3	450	60	DSB 6

4.4.4 Pembebanan Motor Listrik Pada Kondisi *Maneuvering*

Saat kapal dalam kondisi *maneuvering* beban listrik di suplai oleh dua unit generator dengan daya masing 800 kW dengan tegangan 450 V. Pada saat kapal dalam kondisi *maneuvering* beban listrik tertinggi ada pada compressor dan hydraulic oil pum, dengan masing-masing daya yaitu 55 kW dan 100 kW. Kondisi *maneuvering* ini bukanlah puncak dari konsumsi listrik terbesar diantara 3 kondisi lainnya yaitu, *anchoring*, *loading-unloading*, dan *sailing*. Berikut adalah peralatan listrik yang digunakan pada saat kondisi *maneuvering* pada tabel 4.8

Tabel 4. 8 Kondisi Maneuvering

Nama Alat	Kw	A	V	Hz	Posisi
Steering Gear	50	82	450	60	FEEDER PANEL
Boiler Fan	55	59	450	60	FEEDER PANEL
Compressor	55	59	450	60	FEEDER PANEL
Hydraulic Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Hydraulic Oil Pump	100	165	450	60	FEEDER PANEL
Ecr Ac	3.75	7	450	60	DSB 2
Workshop Cooler	3.75	7	450	60	DSB 2
Fo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
M/E Lo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
G/E Lo Purifier	5.5	9.1	450	60	DSB 3&4
Fo Shifter Pump	3.7	6.5	450	60	DSB 3&4
Galley Ac	3.7	7	450	60	DSB 3&4
Prov Ref Comp	3.7	12.5	450	60	DSB 6
Meat & Vege	0.16	2.8	450	60	DSB 6
Disposer Galley	0.9	1.9	450	60	DSB 6
Galley Exh Fan	1.5	3.3	450	60	DSB 6
Sanitary Exh Fan 1	1.5	3.3	450	60	DSB 6

4.5 Simulasi Transient Response dan Pembahasan

Pada simulasi gangguan transient response kali ini, penulis menggunakan 4 kondisi kapal yaitu *loading-unloading*, *sailing*, *anchoring*, dan *maneuvering* sebagai skenario studi kasus dalam simulasi tersebut.

4.5.1 Simulasi Gangguan Transient Response Pada Kondisi Loading-Unloading

Pada skenario yang pertama yaitu kondisi loading-unloading, dimana beban terbesar pada kondisi tersebut yaitu ada pada ballast pump sebesar 200kW. Pada kondisi loading unloading, ballast pump yang digunakan sebanyak 2 unit. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai kestabilan transient response pada saat beban terbesar dilakukan *starting*. Tabel 4.9 merupakan simulasi beban pada kondisi loading unloading,

Tabel 4. 9 Beban Pada Kondisi Loading-Unloading

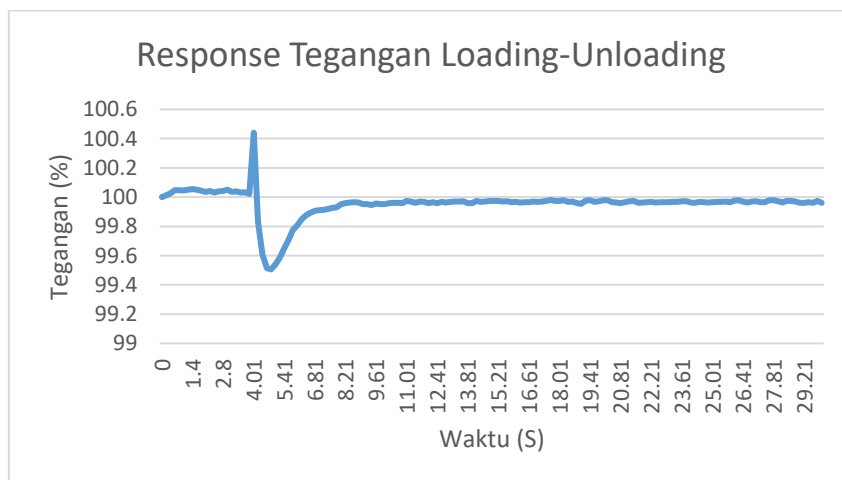
Nama Peralatan	Daya (kW)
Ballast Pump	200
Ballast pump	200

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.9, hasil simulasi voltase transient response pada kondisi loading-unloading akan ditunjukkan pada tabel 4.10 dibawah ini

Tabel 4. 10 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Loading-Unloading

Loading - unloading				
V Max (%)	V Min (%)	V steady state (%)	Kondisi (Vmax% - Vmin%)	Standar IEEE < 10%
100.44	99.50	99.9	0.94	Memenuhi

Berdasarkan tabel 4.10 didapatkan grafik transient response pada kondisi loading-unloading yang ditunjukkan pada grafik 4.1 dibawah ini.



Grafik 4. 1 Response Tegangan Pada Kondisi Loading-Unloading

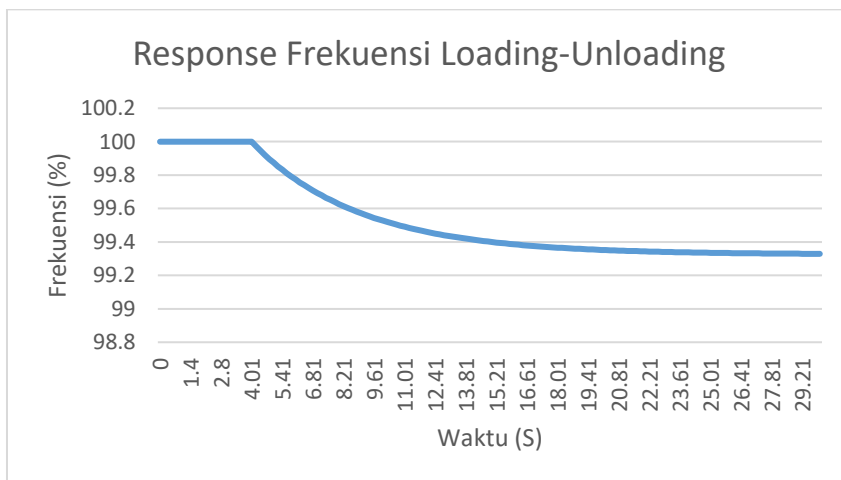
Pada kondisi loading-unloading, terjadi transient response akibat peralatan pada tabel 4.9 dimana voltase naik dan kemudian turun dalam rentang waktu 0,5 detik dengan nilai tertinggi 100,44% pada detik 4,01 dan nilai terendah adalah 99,50% pada detik ke 4,81 kemudian dapat mencapai kondisi steady state pada nilai 99,9%. Pada kondisi loading-unloading ini kondisi transient responsenya masih memenuhi standar dan dapat digolongkan stabil.

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban ballast pump, hasil simulasi frekuensi transient response pada kondisi loading-unloading akan ditunjukkan pada tabel 4.11 dibawah ini

Tabel 4. 11 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Loading-Unloading

Loading - unloading	
Time	F Min (%)
15.01	99.3

Berdasarkan tabel 4.11 didapatkan grafik transient response pada kondisi loading-unloading yang ditunjukkan pada grafik 4.2 dibawah ini.



Grafik 4. 2 Response Frekuensi Pada Kondisi Loading-Unloading

Grafik 4.2 diatas menunjukkan response frekuensi pada simulasi kondisi loading-unloading, menunjukkan adanya transient response akibat starting dari ballast pump dimana frekuensi tersebut mengalami penurunan sampai dengan nilai 99.3% dan langsung stabil pada nilai tersebut. Nilai tersebut masih memenuhi standar dan sistem masih diizinkan untuk beroperasi.

4.5.2 Simulasi Gangguan Transient Response Pada Kondisi Sailing

Pada skenario kedua yaitu kondisi sailing, dimana beban terbesar pada kondisi tersebut yaitu ada pada hydraulic oil pump sebesar 100kW sebanyak 2 unit, steering gear

sebesar 55 kW, boiler fan sebesar 50 kW sebanyak 2 unit, dan compressor sebesar 55 kW. Pada kondisi saling. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai kestabilan transient response pada saat beban terbesar dilakukan *starting*. Tabel 4.10 merupakan simulasi beban pada kondisi saling,

Tabel 4. 12 Beban Pada Kondisi Sailing

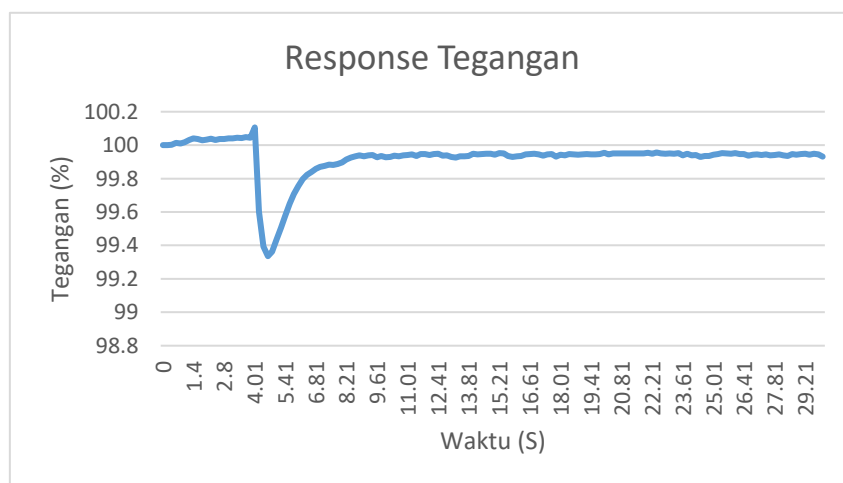
Nama Peralatan	Daya (kW)
Steering Gear	50
Boiler Fan	55
Boiler Fan	55
Hydraulic Oil Pump	100
Hydraulic Oil Pump	100
Compressor	55

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.12 , hasil simulasi voltase transient response pada kondisi saling akan ditunjukkan pada tabel 4.13 dibawah ini

Tabel 4. 13 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Sailing Dalam Voltase

Sailing				
V Max (%)	V Min (%)	V steady state (%)	Kondisi (Vmax% - Vmin%)	Standar IEEE <10%
100.11	99.33	99.9	0.77	Memenuhi

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.12, hasil simulasi transient response pada kondisi saling akan ditunjukkan pada grafik 4.3 dibawah ini.



Grafik 4. 3 Response Tegangan Pada Kondisi Sailing

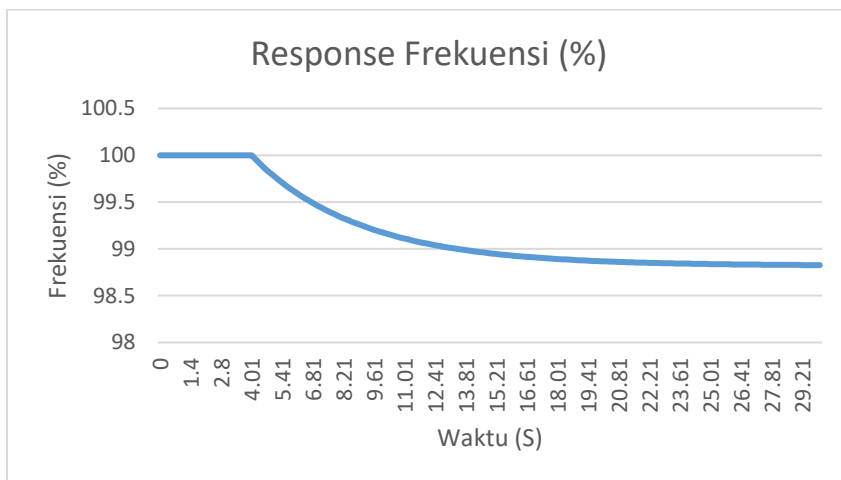
Pada kondisi sailing, terjadi transient response akibat starting peralatan pada tabel 4.12 dimana voltase naik dan kemudian turun dalam rentang waktu 0,6 detik dengan nilai tertinggi 100,11% pada detik 4,01 dan nilai terendah adalah 99,336% pada detik ke 4,61 kemudian dapat mencapai kondisi steady state pada nilai 99,9%. Pada kondisi sailing ini kondisi transient responsenya masih memenuhi standar dan dapat digolongkan stabil.

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.12, hasil simulasi frekuensi transient response pada kondisi sailing akan ditunjukkan pada tabel 4.14 dibawah ini

Tabel 4. 14 Hasil Simulasi Frekuensi Transient Response Kondisi Sailing

Sailing	
Time	F Min (%)
17.61	98.8

Berdasarkan tabel 4.14 didapatkan grafik transient response pada kondisi sailing yang ditunjukkan pada grafik 4.4 dibawah ini.



Grafik 4. 4 Response Frekuensi Pada Kondisi Sailing

Grafik 4.4 diatas menunjukkan response frekuensi pada simulasi kondisi sailing, menunjukkan adanya transient response akibat starting dari peralatan pada tabel 4.12 dimana frekuensi tersebut mengalami penurunan sampai dengan nilai 98.8% dan langsung stabil pada nilai tersebut. Nilai tersebut masih memenuhi standar dan sistem masih diizinkan untuk beroperasi.

4.5.3 Simulasi Gangguan Transient Response Pada Kondisi Anchoring

Pada skenario ketiga yaitu kondisi anchoring, dimana beban terbesar pada kondisi tersebut yaitu ada pada hydraulic oil pump sebesar 100kW sebanyak 2 unit, dan compressor sebesar 55 kW. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai kestabilan

transient response pada saat beban terbesar dilakukan *starting*. Tabel 4.15 merupakan simulasi beban pada kondisi anchoring,

Tabel 4. 15 Beban Pada Kondisi Anchoring

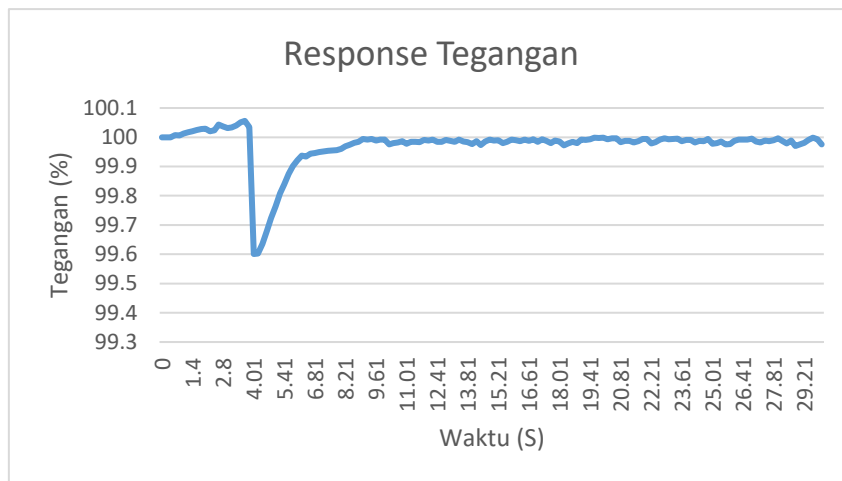
Nama Peralatan	Daya (kW)
Compressor	55
Hydraulic Oil Pump	100
Hydraulic Oil Pump 2	100

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.15 , hasil simulasi voltase transient response pada kondisi anchoring akan ditunjukkan pada tabel 4.16 dibawah ini

Tabel 4. 16 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Anchoring Dalam Voltase

Anchoring				
V Max (%)	V Min (%)	V steady state (%)	Kondisi (Vmax% - Vmin%)	Standar IEEE <10%
100.06	99.60	99.9	0.45	Memenuhi

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.15, hasil simulasi transient response pada kondisi sailing akan ditunjukkan pada grafik 4.5 dibawah ini.



Grafik 4. 5 Response Tegangan Pada Kondisi Anchoring

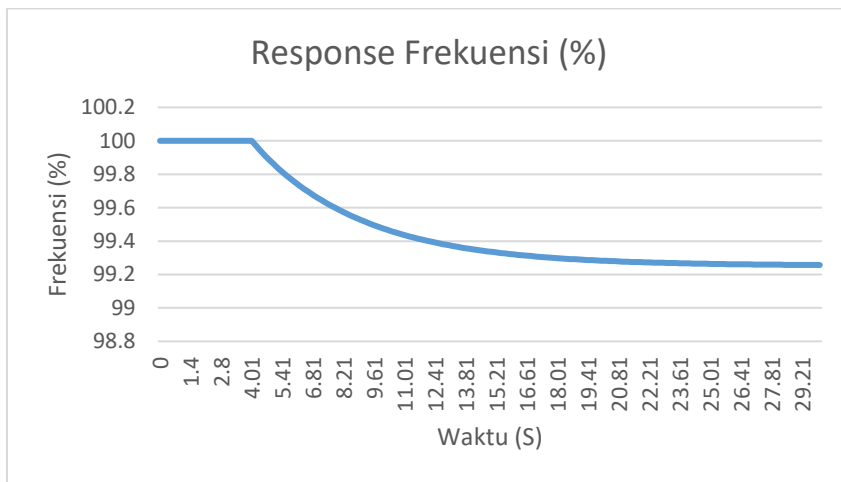
Pada kondisi anchoring, terjadi transient response akibat starting peralatan pada tabel 4.15 dimana voltase naik dan kemudian turun dalam rentang waktu 0,2 detik dengan nilai tertinggi 100,06% pada detik 3,8 dan nilai terendah adalah 99,601% pada detik ke 4,01 kemudian dapat mencapai kondisi steady state pada nilai 99,9%. Pada kondisi sailing ini kondisi transient responsenya masih memenuhi standar dan dapat digolongkan stabil.

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.15, hasil simulasi frekuensi transient response pada kondisi anchoring akan ditunjukkan pada tabel 4.17 dibawah ini

Tabel 4. 17 Hasil Simulasi Frekuensi Transient Response Kondisi Anchoring

Anchoring	
Time	F Min (%)
18.01	99.2

Berdasarkan tabel 4.17 didapatkan grafik transient response pada kondisi anchoring yang ditunjukkan pada grafik 4.6 dibawah ini.



Grafik 4. 6 Response Frekuensi Pada Kondisi Anchoring

Grafik 4.6 diatas menunjukkan response frekuensi pada simulasi kondisi sailing, menunjukkan adanya transient response akibat starting dari peralatan pada tabel 4.15 dimana frekuensi tersebut mengalami penurunan sampai dengan nilai 99.2% dan langsung stabil pada nilai tersebut. Nilai tersebut masih memenuhi standar dan sistem masih diizinkan untuk beroperasi.

4.5.4 Simulasi Gangguan Transient Response Pada Kondisi Maneuvering

Pada skenario terakhir yaitu kondisi maneuvering, dimana beban terbesar pada kondisi tersebut yaitu ada pada steering gear sebesar 50 kW, Boiler fan sebesar 55 kW, hydraulic oil pump sebesar 100kW sebanyak 2 unit, dan compressor sebesar 55 kW. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai kestabilan transient response pada saat beban terbesar dilakukan *starting*. Tabel 4.12 merupakan simulasi beban pada kondisi maneuvering,

Tabel 4. 18 Beban Pada Kondisi Maneuvering

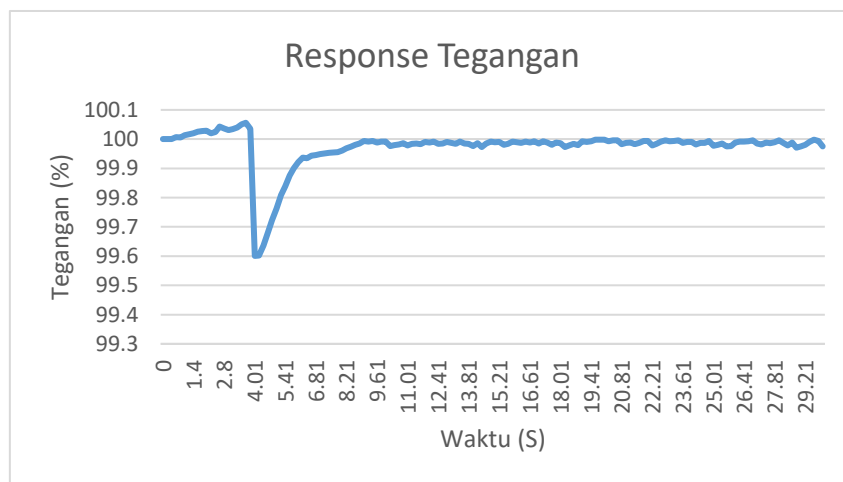
Nama Peralatan	Daya (kW)
Steering Gear	50
Boiler Fan	55
Compressor	55
Hydraulic Oil Pump	100
Hydraulic Oil Pump	100

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.18 , hasil simulasi voltase transient response pada kondisi maneuvering akan ditunjukkan pada tabel 4.19 dibawah ini

Tabel 4. 19 Hasil Simulasi Transient Response Kondisi Maneuvering Dalam Voltase

Maneuvering				
V Max (%)	V Min (%)	V steady state (%)	Kondisi (Vmax% - Vmin%)	Standar IEEE <10%
100.06	99.60	99.9	0.45	Memenuhi

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.18, hasil simulasi transient response pada kondisi maneuvering akan ditunjukkan pada grafik 4.7 dibawah ini.

**Grafik 4. 7 Response Tegangan Pada Kondisi Maneuvering**

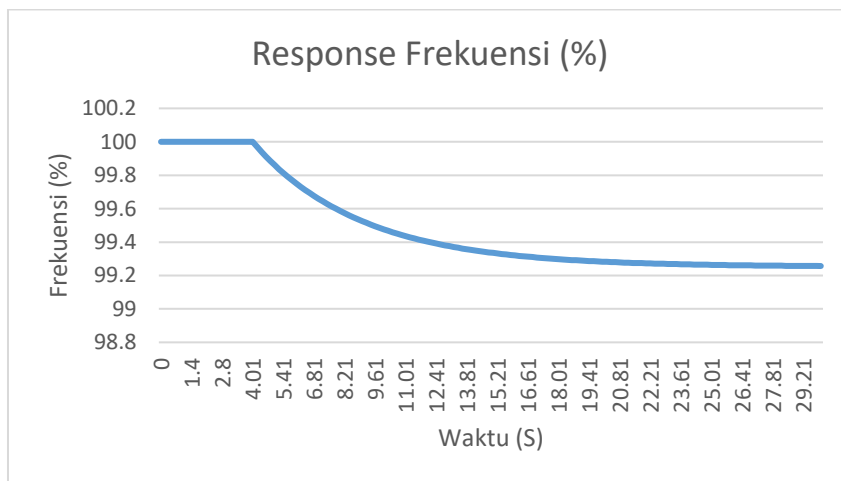
Pada kondisi maneuvering, terjadi transient response akibat starting peralatan pada tabel 4.18 dimana voltase naik dan kemudian turun dalam rentang waktu 0,2 detik dengan nilai tertinggi 100,06% pada detik 3.8 dan nilai terendah adalah 99,601% pada detik ke 4,01 kemudian dapat mencapai kondisi steady state pada nilai 99,9%. Pada kondisi sailing ini kondisi transient responsenya masih memenuhi standar dan dapat digolongkan stabil.

Setelah dilakukan simulasi transient response dengan beban pada tabel 4.18, hasil simulasi frekuensi transient response pada kondisi anchoring akan ditunjukkan pada tabel 4.20 dibawah ini

Tabel 4. 20 Hasil Simulasi Frekuensi Transient Response Kondisi Maneuvering

Maneuvering	
Time	F Min (%)
18.01	99.2

Berdasarkan tabel 4.20 didapatkan grafik transient response pada kondisi anchoring yang ditunjukkan pada grafik 4.8 dibawah ini.



Grafik 4. 8 Response Frekuensi Pada Kondisi Maneuvering

Grafik 4.8 diatas menunjukkan response frekuensi pada simulasi kondisi maneuvering, menunjukkan adanya transient response akibat starting dari peralatan pada tabel 4.18 dimana frekuensi tersebut mengalami penurunan sampai dengan nilai 99.2% dan langsung stabil pada nilai tersebut. Nilai tersebut masih memenuhi standar dan sistem masih diizinkan untuk beroperasi.

4.6 Simulasi Harmonisa dan Pembahasan

Setelah sistem kelistrikan telah tersusun pada *Software* Simulasi, selanjutnya yaitu analisa *load flow* harus disimulasikan untuk mendapat nilai harmonisa dan dimana letak harmonisa pada sistem kelistrikan itu terjadi. Hasil simulasi akan muncul jika ada nilai harmonisa yang melebihi batas standar yang telah ditentukan.

4.6.1 Analisa Load Flow Harmonisa – Kondisi Loading Unloading – Tanpa Filter

Berikut ini adalah nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi harmonisa dengan software simulasi

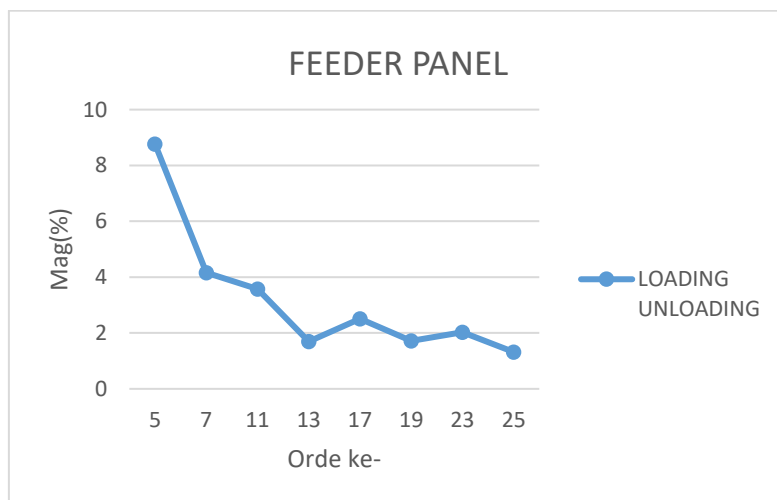
pada kondisi loading-unloading tanpa menggunakan filter harmonisa pasif terdapat pada tabel 4.21

Tabel 4. 21 VTHD Report Pada Kondisi Loading-Unloading Tanpa Filter

VTHD (VOLTAGE TOTAL HARMONIC DISTORTION)			
Report - No Filter - Loading Unloading			
BUSBAR	kV	Fund. %	THD %
BUS 1	0.450	100.00	11.18
DSB 2	0.450	100.00	11.18
DSB 3&4	0.450	100.00	11.18
DSB 6	0.450	100.00	11.18
FEEDER PANEL	0.450	100.00	11.18
Cable76~	0.450	99.90	11.28
Cable78~	0.450	99.90	11.28
Cable80~	0.450	99.74	11.32
Cable82~	0.450	99.89	11.28

Pada kondisi loading-unloading ini, terdapat nilai THD sebesar 11.18%, 11.28%, 11.32% yang artinya telah melebihi batas maksimal THD% yaitu 8%.

Selain mendapatkan nilai VTHD, dari simulasi ini juga mendapatkan nilai VIHD yang merupakan nilai Distorsi Harmonisa Individual pada setiap orde harmonisa. pada feeder panel yang terhubung dengan sumber harmonisa memiliki nilai VIHD pada orde ke-5 sebesar 8,77%. Grafik 4.9 dibawah ini menjelaskan tentang nilai harmonisa dalam setiap orde pada kondisi loading-unloading.



Grafik 4. 9 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading

4.6.2 Analisa Load Flow Harmonisa – Kondisi Sailing – Tanpa Filter

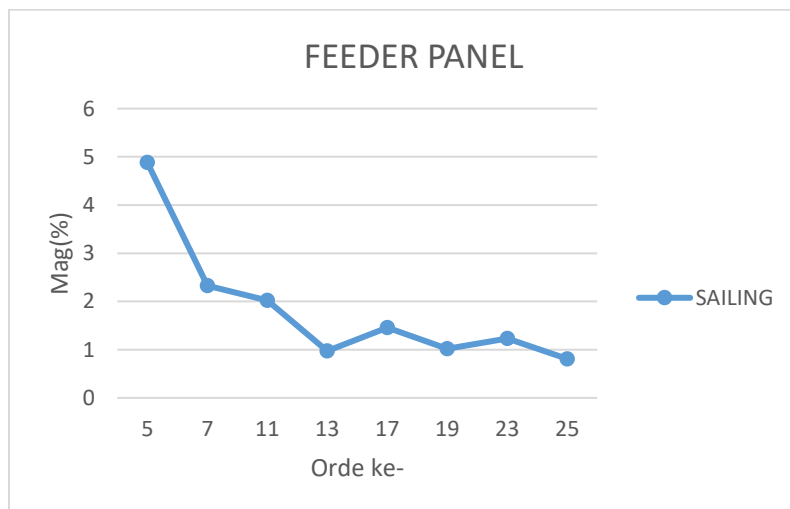
Berikut ini adalah nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi harmonisa dengan software simulasi pada kondisi sailing tanpa menggunakan filter harmonisa pasif terdapat pada tabel 4.22

Tabel 4. 22 VTHD Report Pada Kondisi Sailing Tanpa Filter

VTHD (VOLTAGE TOTAL HARMONIC DISTORTION)			
Report No Filter - Sailing			
BUSBAR	kV	Fund. %	THD %
BUS 1	0.450	100.00	6.29
DSB 2	0.450	100.00	6.29
DSB 3&4	0.450	100.00	6.29
DSB 6	0.450	100.00	6.29
FEEDER PANEL	0.450	100.00	6.29
Cable80~	0.450	99.74	6.41
Cable82~	0.450	99.89	6.39

Pada kondisi sailing ini terdapat nilai THD 6.29%, 6.41%, dan 6.39% yang artinya tidak melebihi batas maksimal THD yaitu 8%.

Dari simulasi ini feeder panel yang terhubung dengan sumber harmonisa memiliki nilai VIHD pada orde ke-5 sebesar 4.88%, tetapi pada kondisi sailing ini tidak ditemukan adanya gangguan harmonisa karena nilai VIHD tidak melebihi batas maksimal yaitu 8%. Grafik 4.10 dibawah ini menjelaskan tentang nilai harmonisa dalam setiap orde pada kondisi sailing.



Grafik 4. 10 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Sailing

4.6.3 Analisa Load Flow Harmonisa – Kondisi Anchoring – Tanpa Filter

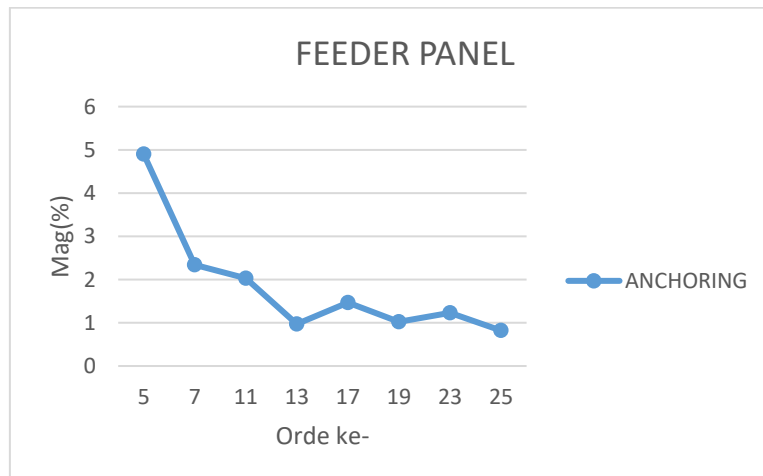
Berikut ini adalah nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi harmonisa dengan software simulasi pada kondisi anchoring tanpa menggunakan filter harmonisa pasif terdapat pada tabel 4.23

Tabel 4. 23 VTHD Report Pada Kondisi Anchoring Tanpa Filter

VTHD (VOLTAGE TOTAL HARMONIC DISTORTION)			
Report No Filter - Anchoring			
BUSBAR	kV	Fund. %	THD %
BUS 1	0.450	100.00	6.32
DSB 2	0.450	100.00	6.32
DSB 3&4	0.450	100.00	6.32
DSB 6	0.450	100.00	6.32
FEEDER PANEL	0.45	100	6.32
Cable80~	0.45	99.74	6.43
Cable82~	0.45	99.89	6.41

Pada kondisi anchoring ini terdapat nilai THD 6.32%, 6.43%, dan 6.41% yang artinya tidak melebihi batas maksimal THD yaitu 8%.

Dari simulasi ini feeder panel yang terhubung dengan sumber harmonisa memiliki nilai VIHD pada orde ke-5 sebesar 4.9%, tetapi pada kondisi anchoring ini tidak ditemukan adanya gangguan harmonisa karena nilai VIHD tidak melebihi batas maksimal yaitu 8%. Grafik 4.11 dibawah ini menjelaskan tentang nilai harmonisa dalam setiap orde pada kondisi anchoring.



Grafik 4. 11 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Anchoring

4.6.4 Analisa Load Flow Harmonisa – Kondisi Maneuvering – Tanpa Filter

Berikut ini adalah nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi harmonisa dengan software simulasi pada kondisi maneuvering tanpa menggunakan filter harmonisa pasif terdapat pada tabel 4.24

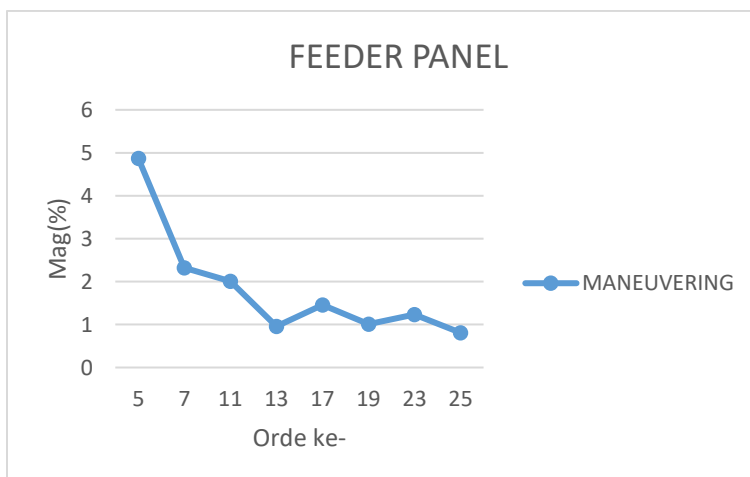
Tabel 4. 24 VTHD Report Pada Kondisi Maneuvering Tanpa Filter

VTHD (VOLTAGE TOTAL HARMONIC DISTORTION)			
Report No Filter - Maneuvering			
BUSBAR	kV	Fund. %	THD %
BUS 1	0.450	100.00	6.27
DSB 2	0.450	100.00	6.27
DSB 3&4	0.450	100.00	6.27
DSB 6	0.450	100.00	6.27
FEEDER PANEL	0.450	100.00	6.27
Cable80~	0.450	99.74	6.38
Cable82~	0.450	99.89	6.37

Pada kondisi maneuvering ini terdapat nilai THD 6.27%, 6.38%, dan 6.37% yang artinya tidak melebihi batas maksimal THD yaitu 8%.

Dari simulasi ini feeder panel yang terhubung dengan sumber harmonisa memiliki nilai VIHD pada orde ke-5 sebesar 4.87%, tetapi pada kondisi maneuvering ini tidak ditemukan adanya gangguan harmonisa karena nilai VIHD tidak melebihi batas maksimal yaitu 8%. Grafik 4.12 dibawah ini menjelaskan tentang nilai harmonisa dalam setiap orde pada kondisi maneuvering.

Pada penelitian kali ini, gangguan harmonisa hanya ditemukan pada kondisi loading-unloading dari 3 kondisi lainnya yaitu, *sailing*, *anchoring* dan *maneuvering*.

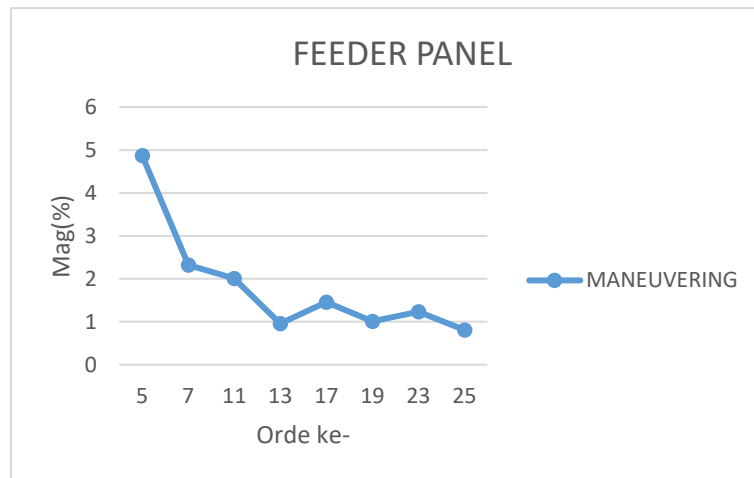


Grafik 4. 12 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Maneuvering

4.7 Perbaikan Gangguan Harmonisa pada 4 Kondisi Kapal

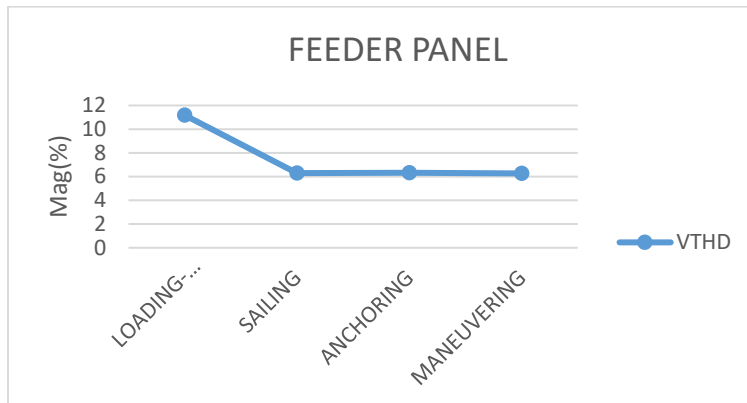
4.7.1 Perbaikan Harmonisa Pada Kondisi Loading – Unloading

Setelah dilakukan pemasangan filter, maka dilakukan simulasi harmonisa kembali untuk mengetahui nilai harmonisa. nilai harmonisa sebelum menggunakan filter dapat di lihat pada grafik 4.13 dibawah.



Grafik 4. 13 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading

Data yang diperoleh dari simulasi menunjukkan bahwa, pada feeder panel yang menghubungkan sumber harmonisa dengan beban pada orde ke-5 didapatkan nilai VIHD sebesar 8.77%, yang mana nilai tersebut melebihi standar IEEE yaitu 5%. Sedangkan nilai VTHD pada kondisi loading unloading juga melebihi batas standar yang telah ditentukan. Nilai VTHD pada kondisi loading-unloading bisa dilihat pada grafik 4.14 dibawah ini

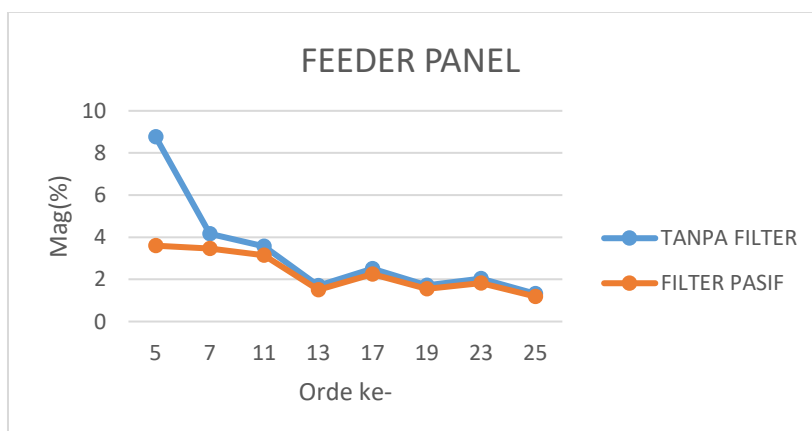


Grafik 4. 14 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading

Sebelum dilakukan pemasangan filter, terlihat pada grafik diatas yaitu nilai VTHD pada kondisi loading-unloading didapatkan nilai 11.18% yang mana melebihi batas standar IEEE 519-2014 yaitu 8%. Pada kondisi sailing, anchoring, maneuvering nilai VTHD tidak melebihi batas maksimal yaitu sebesar 6.29%, 6.32%, dan 6.27%.

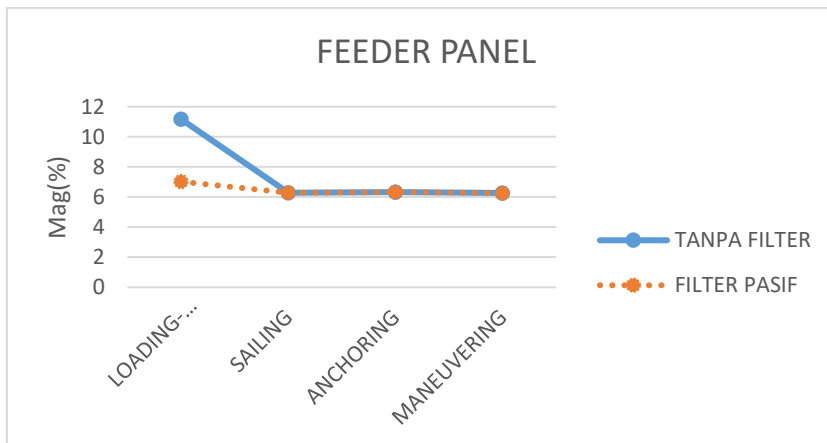
4.7.2 Pemasangan Filter Pada Kondisi Loading-Unloading

Setelah dilakukan pemasangan filter pasif pada feeder panel dalam kondisi loading-unloading, didapatkan grafik 4.15 seperti dibawah ini,



Grafik 4. 15 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Loading-Unloading

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai VIHD pada orde ke-5 dalam kondisi loading-unloading mengalami penurunan menjadi 3.6% setelah dilakukan pemasangan filter pada feeder panel, atau sama dengan mengalami penurunan sebanyak 5.17%. Penurunan nilai VIHD tersebut telah memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 5% pada setiap individual orde. Sementara itu nilai VTHD pada kondisi loading-unloading juga mengalami penurunan, dari 11.18% menjadi 7.02%. Penurunan nilai VTHD dapat dilihat pada grafik 4.16 dibawah ini,

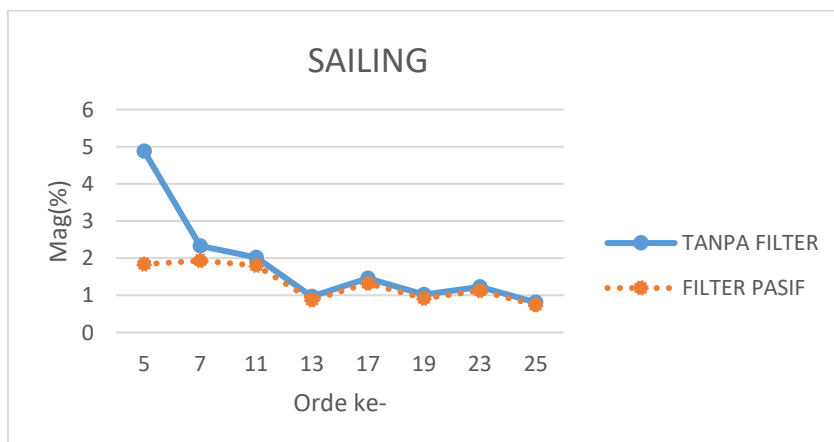


Grafik 4. 16 Harmonisa pada Total Orde Dalam 4 Kondisi

Setelah dilakukan pemasangan filter pasif pada feeder panel dalam kondisi loading-unloading, nilai VTHD mengalami penurunan sebesar 4.16% menjadi 7.02% yang mana nilai VTHD tersebut telah memenuhi standar IEEE 519-2014 yaitu 8%. Nilai VIHD dan VTHD pada ketiga kondisi lainnya yaitu sailing, anchoring, dan maneuvering dapat dilihat pada lembar lampiran.

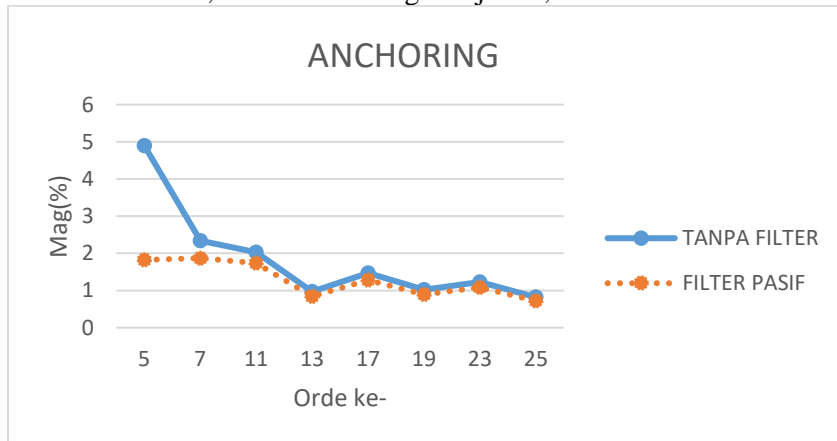
4.8 Pengaruh Pemasangan Filter Pada Kondisi Lainnya

Dapat diketahui bahwa pemasangan filter hanya dilakukan pada kondisi kapal yang memiliki gangguan harmonisa melebihi batas standar, namun adanya pemasangan filter pada kondisi tersebut ternyata berpengaruh pada kondisi lainnya yang tidak memiliki gangguan harmonisa melebihi batas standar. Grafik 4.17, grafik 4.18, dan grafik 4.19 merupakan kondisi harmonisa pada sailing, anchoring, dan maneuvering setelah dilakukan pemasangan filter.



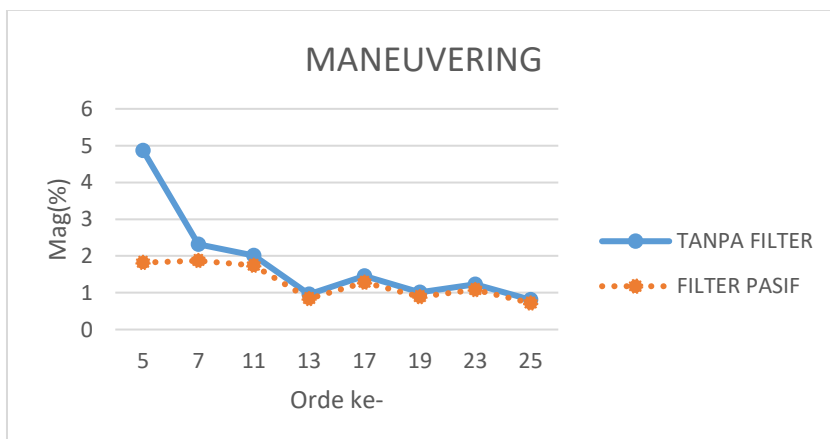
Grafik 4. 17 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Sailing

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan filter pasif pada kondisi loading-unloading saja dapat mempengaruhi kondisi kapal lainnya sehingga nilai VIHD pada kondisi sailing juga ikut berkurang, pada orde ke-5 nilai VIHD tanpa menggunakan filter sebesar 4,88 dan berkurang menjadi 1,84.



Grafik 4. 18 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Anchoring

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan filter pasif pada kondisi loading-unloading saja dapat mempengaruhi kondisi kapal lainnya sehingga nilai VIHD pada kondisi anchoring juga ikut berkurang, pada orde ke-5 nilai VIHD tanpa menggunakan filter sebesar 4,9 dan berkurang menjadi 1,82.



Grafik 4. 19 Harmonisa Dalam Setiap Orde Pada Kondisi Maneuvering

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan filter pasif pada kondisi loading-unloading saja dapat mempengaruhi kondisi kapal lainnya sehingga nilai VIHD pada kondisi maneuvering juga ikut berkurang, pada orde ke-5 nilai VIHD tanpa menggunakan filter sebesar 4,87 dan berkurang menjadi 1,82.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisa dengan menggunakan *Software* Simulasi pada sistem kelistrikan kapal tanker MT. X gangguan transient response yang terjadi, dapat diambil kesimpulan yaitu sesuai hasil dibawah ini:

1. Pada gangguan transient response, berdasarkan hasil simulasi telah memenuhi standar tegangan IEEE 115-1995 sebesar $< 10\%$ dan standar frekuensi IEEE 106-2003 sebesar $< 5\%$.
 - Nilai voltase transient response pada kondisi loading-unloading yaitu, 0.94% dari nilai maksimal 100.44%, nilai minimal 99.50%, dan mencapai kondisi steady state pada nilai 99.9% sedangkan nilai frekuensinya turun hingga mencapai kondisi stabil pada 99.3%
 - Nilai voltase transient response pada kondisi sailing yaitu, 0.77% dari nilai maksimal 100.11%, nilai minimal 99.33%, dan mencapai kondisi steady state pada nilai 99.9% sedangkan nilai frekuensinya turun hingga mencapai kondisi stabil pada 98.8%
 - Nilai voltase transient response pada kondisi anchoring yaitu, 0.45% dari nilai maksimal 100.06%, nilai minimal 99.60%, dan mencapai kondisi steady state pada nilai 99.9% sedangkan nilai frekuensinya turun hingga mencapai kondisi stabil pada 99.2%
 - Nilai voltase transient response pada kondisi maneuvering yaitu, 0.45% dari nilai maksimal 100.06%, nilai minimal 99.60%, dan mencapai kondisi steady state pada nilai 99.9% sedangkan nilai frekuensinya turun hingga mencapai kondisi stabil pada 99.2%
2. Pada gangguan harmonisa berdasarkan hasil simulasi belum memenuhi standar pada kondisi operasional loading-unloading, berikut dibawah ini adalah hasil berdasarkan *software* simulasi
 - Nilai harmonisa pada kondisi loading-unloading memiliki nilai VTHD 11,18% yang mana melebihi batas standar IEEE 519-2014 yaitu 8%, dan memiliki nilai VIHD sebesar 8,77% pada orde ke-5 dengan standar sebesar 5%. Pada kondisi loading-unloading, harmonisa tidak memenuhi standar.
 - Nilai harmonisa pada kondisi sailing memiliki nilai VTHD 6,29% yang mana melebihi batas standar IEEE 519-2014 yaitu 8%, dan memiliki nilai VIHD sebesar 4,88% pada orde ke-5 dengan standar sebesar 5%. Pada kondisi loading-unloading, harmonisa memenuhi standar.
 - Nilai harmonisa pada kondisi anchoring memiliki nilai VTHD 6.32% yang mana melebihi batas standar IEEE 519-2014 yaitu 8%, dan memiliki nilai VIHD sebesar 4,9% pada orde ke-5 dengan standar sebesar 5%. Pada kondisi loading-unloading, harmonisa memenuhi standar.
 - Nilai harmonisa pada kondisi maneuvering memiliki nilai VTHD 6.27% yang mana melebihi batas standar IEEE 519-2014 yaitu 8%, dan memiliki nilai VIHD sebesar 4,87% pada orde ke-5 dengan standar sebesar 5%. Pada kondisi loading-unloading, harmonisa tidak memenuhi standar.

3. Solusi untuk memperbaiki gangguan harmonisa yang tidak memenuhi standar adalah dengan melakukan pemasangan filter pasif pada busbar yang mengalami gangguan.

- Pada kondisi loading – unloading:
Nilai VTHD: 11,18% menjadi 3,6%
Lalu pemasangan filter pasif tersebut berpengaruh pada 3 kondisi lainnya yang tidak melebihi standar
- Pada kondisi Sailing
Nilai VTHD: 4,88% menjadi 1.84%
- Pada kondisi Anchoring:
Nilai VTHD: 4,9% menjadi 1,82%
- Pada kondisi Maneuvering:
Nilai VTHD 4,87% menjadi 1,82%

5.2 Saran

Setelah melakukan analisa gangguan transient response dan harmonisa pada sistem kelistrikan kapal tanker, terdapat beberapa saran yaitu:

- Dapat dilakukan analisa gangguan transient response dan harmonisa pada sistem kelistrikan kapal tanker selain kelistrikan 3 phase
- Dapat dilakukan analisa transient response dan harmonisa pada beban penerangan kapal

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, R. S. (2017). *Analisis Stabilitas Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban Penambahan Pembangkit 1x26,8 MW Pada Sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik.*
- Mulyana, E. (2008, Oktober). Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Direktorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia.
- Mulyansyah, I. (2018). *Analisa Transient Response Second Order Akibat Variasi dan Kekentalan Oli pada Instrumen Pengendalian Feedback Tipe PCM140.*
- Prasetijo, H. (2012). *ANALISA PERANCANGAN FILTER PASIF UNTUK MEREDAM HARMONIK PADA INSTALASI BEBAN NONLINEAR. Techno, ISSN 1410 - 8607.*
- Priliasari, F. (2007). *Studi Pengaruh Harmonisa Pada Arus Listrik Terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya (Kva) Terpasang Transformator Distribusi .*
- Pujiantara, A. A. (2014). *PERANCANGAN FILTER DENGAN METODE MULTISTAGE PASSIVE FILTER PADA PROYEK PAKISTAN DEEP WATER CONTAINER PORT.*
- Rachmat, A., & Ruhama, A. (2014). *PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI MOTOR LISTRIK INDUKSI AC 3 FASA MENGGUNAKAN DINAMOMETER TALI (ROPE BRAKE DYNAMOMETER). Jurnal J-ENSITEC.*
- Wahyudianto, M. F. (2016). *Analisa Tegangan Jatuh Pada Sistem Distribusi Listrik di KM. Dorolonda dengan menggunakan simulasi ETAP.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Sailing (Tegangan)									
Time	Voltage	Time	Voltage	Time	Voltage	Time	Voltage	Time	Voltage
0	100	6.21	99.7968	12.61	99.9363	19.01	99.9442	25.41	99.9517
0.2	100.001	6.41	99.8219	12.81	99.9385	19.21	99.946	25.61	99.9511
0.4	100.002	6.61	99.8397	13.01	99.9296	19.41	99.9449	25.81	99.9491
0.6	100.013	6.81	99.8592	13.21	99.9249	19.61	99.9448	26.01	99.9525
0.8	100.009	7.01	99.8699	13.41	99.9336	19.81	99.9464	26.21	99.9475
1	100.017	7.21	99.8749	13.61	99.9336	20.01	99.9535	26.41	99.9473
1.2	100.031	7.41	99.8832	13.81	99.9351	20.21	99.9449	26.61	99.937
1.4	100.041	7.61	99.8824	14.01	99.9494	20.41	99.9508	26.81	99.9428
1.6	100.036	7.81	99.8873	14.21	99.9438	20.61	99.9499	27.01	99.9449
1.8	100.029	8.01	99.8963	14.41	99.9469	20.81	99.9505	27.21	99.9412
2	100.032	8.21	99.9132	14.61	99.9492	21.01	99.9498	27.41	99.9456
2.2	100.038	8.41	99.9254	14.81	99.9486	21.21	99.9504	27.61	99.9389
2.4	100.03	8.61	99.9328	15.01	99.9424	21.41	99.9506	27.81	99.9403
2.6	100.037	8.81	99.9381	15.21	99.9514	21.61	99.9511	28.01	99.9447
2.8	100.036	9.01	99.9339	15.41	99.9495	21.81	99.9499	28.21	99.9381
3	100.041	9.21	99.9383	15.61	99.935	22.01	99.9545	28.41	99.9347
3.2	100.041	9.41	99.9401	15.81	99.9302	22.21	99.9486	28.61	99.9463
3.4	100.045	9.61	99.9267	16.01	99.9331	22.41	99.9557	28.81	99.9435
3.6	100.042	9.81	99.9351	16.21	99.9343	22.61	99.9499	29.01	99.9472
3.8	100.048	10.01	99.9282	16.41	99.9438	22.81	99.9479	29.21	99.9477
4	100.044	10.21	99.9302	16.61	99.9461	23.01	99.9501	29.41	99.9427
4.01	100.106	10.41	99.9369	16.81	99.9482	23.21	99.9489	29.61	99.9492
4.21	99.6014	10.61	99.9335	17.01	99.9446	23.41	99.9519	29.81	99.9443
4.41	99.3941	10.81	99.938	17.21	99.937	23.61	99.9384	30	99.9313
4.61	99.3357	11.01	99.941	17.41	99.945	23.81	99.9477		
4.81	99.3616	11.21	99.9454	17.61	99.9468	24.01	99.9392		
5.01	99.4352	11.41	99.9342	17.81	99.9321	24.21	99.9414		
5.21	99.5059	11.61	99.9464	18.01	99.9421	24.41	99.9292		
5.41	99.5774	11.81	99.946	18.21	99.9389	24.61	99.935		
5.61	99.6499	12.01	99.9411	18.41	99.9466	24.81	99.9347		
5.81	99.7066	12.21	99.9473	18.61	99.9445	25.01	99.9423		
6.01	99.7549	12.41	99.9487	18.81	99.9419	25.21	99.947		

Sailing (Tegangan)									
Time	Voltage	Time	Voltage	Time	Voltage	Time	Voltage	Time	Voltage
0	100	6.21	99.5754	12.61	99.9363	19.01	99.9442	25.41	99.9517
0.2	100	6.41	99.5459	12.81	99.9385	19.21	99.946	25.61	99.9511
0.4	100	6.61	99.5176	13.01	99.9296	19.41	99.9449	25.81	99.9491
0.6	100	6.81	99.4904	13.21	99.9249	19.61	99.9448	26.01	99.9525
0.8	100	7.01	99.4642	13.41	99.9336	19.81	99.9464	26.21	99.9475
1	100	7.21	99.439	13.61	99.9336	20.01	99.9535	26.41	99.9473
1.2	100	7.41	99.4148	13.81	99.9351	20.21	99.9449	26.61	99.937
1.4	100	7.61	99.3916	14.01	99.9494	20.41	99.9508	26.81	99.9428
1.6	100	7.81	99.3693	14.21	99.9438	20.61	99.9499	27.01	99.9449
1.8	100	8.01	99.3478	14.41	99.9469	20.81	99.9505	27.21	99.9412
2	100	8.21	99.3272	14.61	99.9492	21.01	99.9498	27.41	99.9456
2.2	100	8.41	99.3074	14.81	99.9486	21.21	99.9504	27.61	99.9389
2.4	100	8.61	99.2883	15.01	99.9424	21.41	99.9506	27.81	99.9403
2.6	100	8.81	99.27	15.21	99.9514	21.61	99.9511	28.01	99.9447
2.8	100	9.01	99.2524	15.41	99.9495	21.81	99.9499	28.21	99.9381
3	100	9.21	99.2355	15.61	99.935	22.01	99.9545	28.41	99.9347
3.2	100	9.41	99.2193	15.81	99.9302	22.21	99.9486	28.61	99.9463
3.4	100	9.61	99.2037	16.01	99.9331	22.41	99.9557	28.81	99.9435
3.6	100	9.81	99.1887	16.21	99.9343	22.61	99.9499	29.01	99.9472
3.8	100	10.01	99.1743	16.41	99.9438	22.81	99.9479	29.21	99.9477
4	100	10.21	99.1604	16.61	99.9461	23.01	99.9501	29.41	99.9427
4.01	100	10.41	99.1471	16.81	99.9482	23.21	99.9489	29.61	99.9492
4.21	99.9517	10.61	99.1343	17.01	99.9446	23.41	99.9519	29.81	99.9443
4.41	99.9048	10.81	99.122	17.21	99.937	23.61	99.9384	30	99.9313
4.61	99.8608	11.01	99.1102	17.41	99.945	23.81	99.9477		
4.81	99.8192	11.21	99.0989	17.61	99.9468	24.01	99.9392		
5.01	99.7798	11.41	99.088	17.81	99.9321	24.21	99.9414		
5.21	99.7421	11.61	99.0775	18.01	99.9421	24.41	99.9292		
5.41	99.706	11.81	99.0674	18.21	99.9389	24.61	99.935		
5.61	99.6713	12.01	99.0577	18.41	99.9466	24.81	99.9347		
5.81	99.6381	12.21	99.0484	18.61	99.9445	25.01	99.9423		
6.01	99.6061	12.41	99.0395	18.81	99.9419	25.21	99.947		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Kirana Putri Taradipa Martha lahir di Surabaya, 17 Januari 1996. Anak pertama dari Rikki Soeharyadi dan Iffah Martharina Wisnandari. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Soda Waru, SDN Waru I, SMPN 1 Waru, dan SMA Hang Tuah 2 Sidoarjo. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan srata 1 (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan NRP 04211440000120. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kepanitiaan Marine Icon 2015 sebagai staff dekorasi dan dokumentasi, Marine Icon 2016 sebagai staff *public relation*, Marine Icon 2017 sebagai panitia inti yaitu sekretaris 1. Selain mengikuti kepanitiaan, pada masa akhir perkuliahan penulis menjadi grader praktikum transformator 1 fasa dan mengambil tugas akhir di bidang laboratorium *Marine Electrical and Automation System* (MEAS).