



TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISA GANGGUAN ARUS HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM
KELISTRIKAN KAPAL AHTS AKIBAT PENGGUNAAN *THRUSTER*
ELEKTRIK**

Dinar Puspita Sari
NRP 0421144000036

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - ME 184834

ANALISA GANGGUAN ARUS HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL AHTS AKIBAT PENGGUNAAN *THRUSTER* ELEKTRIK

Dinar Puspita Sari
NRP 04211440000036

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

SHORT CIRCUIT ANALYSIS OF ELECTRICAL SYSTEM OF THE AHTS SHIP

Dinar Puspita Sari
NRP 04211440000036

Supervisors
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS
Akibat Penggunaan Thruster Elektrik**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

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

Oleh :

Dinar Puspita Sari
NRP. 0421144000036

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M. Sc.

()

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

()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS
Akibat Penggunaan Thruster Elektrik**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System Laboratory (MEAS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

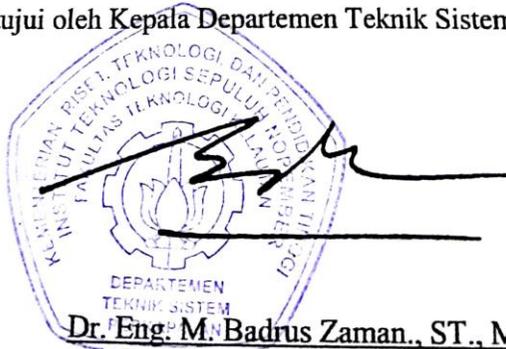
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dinar Puspita Sari

NRP. 0421144000036

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT

NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS Akibat Penggunaan *Thruster* Elektrik

Nama Mahasiswa : Dinar Puspita Sari
NRP : 0421144000036
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Sardono Sarwito, M. Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstrak

Dynamic positioning merupakan salah satu solusi bagi kapal untuk mempertahankan posisi sesuai yang diinginkan oleh operator di kapal. Kapal ketika berada di pelabuhan mampu mempertahankan posisi dengan adanya bantuan dari jangkar dan tali tambat pada proses *anchoring* dan *mooring*. Namun, ketika kapal berada di tengah lautan, kedua proses tersebut tidak dapat dilakukan secara maksimal. Untuk mengatasi gaya-gaya eksternal yang mengubah posisi kapal tersebut, maka sistem *dynamic positioning* ini digunakan untuk memprediksi di mana gaya-gaya tersebut bekerja dengan sensor dan komputer akan mengolah informasi sehingga diteruskan ke thruster atau pendorong yang terletak di bagian belakang atau depan kapal. Kapal dengan sistem DP, system kelistrikan yang umumnya digunakan adalah konfigurasi split bus, di mana satu beban disuplai oleh satu generator independen untuk meningkatkan keandalannya. Namun, kondisi konfigurasi ini memiliki kekurangan yaitu aspek efisiensi dan tingginya tingkat emisi yang ditimbulkan oleh suplai daya. Dengan penerapan system kelistrikan konfigurasi *closed bus*, hal ini menyebabkan kelebihan arus pada bus utama sehingga timbul panas yang memicu arus hubung singkat. Untuk mengatasi arus hubung singkat yang diperlukan analisa besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada system kelistrikan kapal AHTS. Dari hasil analisa yang telah dilakukan, konfigurasi sistem kelistrikan dengan suplai daya 1 *generator thruster* dan 2 *diesel generator* serta beban yang dipakai adalah 2 buah *bow thruster* dan 60% beban kapal mengalami *short circuit* mulai variasi pembebanan 62,5% berdasarkan standar *short circuit* untuk listrik tegangan rendah. Untuk konfigurasi 1 buah *generator thruster* dan beban 2 buah *bow thruster*, mengalami *short circuit* mulai variasi pembebanan 74%. Upaya mengatasi terjadinya gangguan arus hubung singkat akibat pengoperasian sistem kelistrikan adalah mengoperasikan bow thruster pada variasi pembebanan dengan nilai arus hubung singkat 3 fasa yang dihasilkan kurang dari nilai standar arus terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa.

Kata Kunci : Arus hubung singkat, *bow thruster*, kapal AHTS

Short circuit Analysis of Electrical System of The AHTS Ship

Name of Student : Dinar Puspita Sari
NRP : 0421144000036
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Ir. Sardono Sarwito, M. Sc.
Supervisor 2 : Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstract

Dynamic positioning is one of the solution for ship to maintain the position that the ship operator wants. The position can be maintain optimally when ship leaning on the harbor by the help of anchor and rope on anchoring and mooring process. Instead, when the ship is in the middle of the sea. Both of the process can't be done optimally. To overcome the external forces that can change the ship position, this dynamic positioning is used to predict where those forces work by sensor, afterward the computer will proceed the information and continues to thruster with the pusher that located in the back or the front of the ship. Ship that equipped with this DP system, in general use split bus configuration as it electricity system, with one load is supplied by one independent generator to improve it realibility. However this configuration had deficiency with the efficiently aspect and high level of emissions that caused by the power supply. With application of closed bus configuration electricity system, caused excess current in the main bus so the heat appeared with triggered short circuit current. The analysis of how much short circuit current happened on the electricity system of AHTS ship is to revolve the short circuit current. Based of the analysis that have been done, the configuration electricity system with 1 generator supply power thruster and 2 diessel generator, also the load that used is 2 bow thruster and 60% ship load having short circuit based of the standart short circuit for low voltage electricity. In this configuration too, short circuit starts at 62,5% loads variation. The configuration electricity system with 1 generator supply power thruster and the load that used is 2 bow thruster, having short circuit starts at 74% loads variation. The way to overcome the occurrence of short circuit currents due to the operation of the electrical system is to operate the bow thruster in the variation of the load with the value of the short phase 3 phase produced less than the standard value of the three phase short circuit current occurring.

Keywords—short circuit, bow thruster, AHTS ship

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Azza Wa Jalla, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS Akibat Penggunaan Thruster Elektrik** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu :

1. Keluarga penulis, Ayah Parmin, Ibu Tulus Sulistioningsih dan Adik Atikah Salfa yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini serta mengingatkan untuk taat beribadah.
2. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami sebagai mahasiswa wali dapat belajar bekerja keras, pantang menyerah, dan bekerjasama.
3. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M. Sc. selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua, yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir, memberikan motivasi, dan pelajaran baik akademik dan non akademik berupa karakter, etika, dan sikap.
4. Bapak Dwi Darmawan dan Mbak Nur Faeli yang telah membimbing dan membantu dalam banyak hal selama pengerjaan penelitian ini.
5. Dosen pengampu dan tenaga didik di Departemen Sistem Perkapalan yang telah membimbing penulis dan memberikan motivasi untuk terus belajar dan mengembangkan diri.
6. Seluruh teman-teman satu angkatan MERCUSUAR '14, MERKUSUAR, DENSUS 86, Rumpi Cantik, Superwoman Siskal, dan Para Wartel, yang belum bisa disebutkan namanya satu per satu atas bantuan yang disengaja maupun tidak, dan tak lupa pula yang telah membuat kenangan indah selama masa kuliah di DTSP.
7. Teman-teman dari Salatiga yang selalu menemani selama masa kuliah ini, Adi, Hepta, Kuni, Firda, dan teman-teman dari SMA N 1 Salatiga yang belum dapat penulis sebutkan namanya satu persatu.

8. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan. Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

Surabaya, 15 Januari 2019

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
LEMBAR PENGESAHAN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
KATA PENGANTAR.....	XI
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR GAMBAR.....	XV
DAFTAR TABEL.....	XVI
DAFTAR GRAFIK.....	XVII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Kapal AHTS	5
II.2 <i>Dynamic positioning</i>	6
II.3 Gangguan Hubungan Singkat (<i>Short circuit</i>)	12
II.3.1 Perhitungan standar arus hubung singkat	17
II.3.3 Perhitungan nilai arus hubung singkat pada jaringan radial menggunakan komponen simetris	21
II.4 Perhitungan berdasarkan IEC 60909	23
II.4.1 Menentukan berbagai impedansi gangguan hubung singkat	25
II.5 <i>Matlab</i>	26
BAB III METODE PENELITIAN	29
III.1 Umum.....	29

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	33
IV.1 Data Utama Kapal	33
IV.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat	35
IV.2.1 Perhitungan Skenario 1	38
IV.2.2 Perhitungan Skenario 2	41
IV.2.3 Perhitungan Skenario 3	43
IV.2.4 Perhitungan Skenario 4	47
IV.2.5 Perhitungan Skenario 5	51
IV.3 Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Kapal AHTS dengan Program Matlab	55
IV.3.1 Hasil Simulasi Skenario 1	57
IV.3.2 Hasil Simulasi Skenario 2	60
IV.3.3 Hasil Simulasi Skenario 3	63
IV.3.4 Hasil Simulasi Skenario 4	66
IV.3.5 Hasil Simulasi Skenario 5	69
IV.4 Mengatasi Arus Hubung Singkat pada Kapal AHTS	72
 BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	79
V.1 Kesimpulan	79
V.2 Rekomendasi	79
 DAFTAR PUSTAKA	81
 LAMPIRAN	83
 BIODATA PENULIS	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kapal AHTS Pelangi Escort-2.....	1
Gambar 2 Kapal dengan <i>dynamic positioning system</i>	7
Gambar 3 Diagram skematik dari sistem <i>dynamic positioning</i>	9
Gambar 4 Prosedur perhitungan arus hubung singkat (Isc) ketika mendesain instalasi listrik.....	14
Gambar 5 Perbedaan tipe dari jenis gangguan arus hubung singkat.....	16
Gambar 6 Jenis arus hubung singkat.....	20
Gambar 7 Konstruksi grafis dari jumlah tiga sistem tiga fase yang seimbang (urutan positif, urutan negatif dan urutan nol)	22
Gambar 8 Flowchart pengerjaan penelitian.....	6
Gambar 9 Kapal BNI Castor	33
Gambar 10 General Arrangement <i>Bow thruster</i> Compartment.....	37
Gambar 11 Diagram Impedansi Skenario 1	38
Gambar 12 Diagram Impedansi Skenario 2	41
Gambar 13 Diagram Impedansi Skenario 3	44
Gambar 14 Diagram Impedansi Skenario 4	48
Gambar 15 Diagram Impedansi Skenario 5	52
Gambar 16 Tampilan pemrograman pada simulasi arus hubung singkat kapal AHTS	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Karakteristik urutan nol dari berbagai elemen dalam jaringan listrik.	23
Tabel 2 Nilai dari faktor tegangan (c)	24
Tabel 3 Nilai-nilai gangguan arus hubung singkat tergantung pada urutan-positif, urutan-negatif & impedansi urutan-nol dari jaringan yang diberikan.....	25
Tabel 4 Variasi pembebanan daya <i>bow thruster</i> dan konfigurasi suplai daya-beban listrik.....	34
Tabel 5 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 1	38
Tabel 6 Nilai impedansi komponen skenario 1	39
Tabel 7 Nilai impedansi total skenario 1.....	39
Tabel 8 <i>Voltage Factor for Calculation Short circuit IEC 60909 Standard</i>	40
Tabel 9 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 1	41
Tabel 10 Nilai impedansi komponen skenario 2	42
Tabel 11 Nilai impedansi total skenario 2.....	42
Tabel 12 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 3	43
Tabel 13 Nilai impedansi komponen skenario 3	45
Tabel 14 Nilai impedansi total skenario 3.....	47
Tabel 15 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 4	47
Tabel 16 Nilai impedansi komponen skenario 4.....	49
Tabel 17 Nilai impedansi total skenario 4.....	51
Tabel 18 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 4	51
Tabel 19 Nilai impedansi komponen skenario 5	53
Tabel 20 Nilai impedansi total skenario 4.....	55
Tabel 21 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 1	59
Tabel 22 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 2	62
Tabel 23 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 3	65
Tabel 24 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 4	68
Tabel 25 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 5	71
Tabel 26 Nilai arus hubung singkat tiga fasa tiap variasi pembebanan skenario 2... ..	73
Tabel 27 Nilai arus hubung singkat tiga fasa tiap variasi pembebanan skenario 5... ..	73
Tabel 28 Spesifikasi kabel marine PT Jembo Cable Company Tbk.	75
Tabel 29 Spesifikasi kabel marine AEI Cables Oil. Gas, and Marine (UK)	76

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1 Grafik hasil simulasi matlab skenario 1 (konfigurasi 2 <i>generator thruster</i> dengan beban 2 <i>bow thruster</i>).....	57
Grafik 2 Grafik hasil simulasi skenario 1.....	58
Grafik 3 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 2 (konfigurasi 1 <i>generator thruster</i> dengan beban 2 <i>bow thruster</i>).....	60
Grafik 4 Grafik hasil simulasi skenario 1.....	61
Grafik 5 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 3 (konfigurasi 2 <i>generator thruster</i> dan 1 <i>diesel generator</i> dengan beban 2 <i>bow thruster</i> beserta 60% beban kapal)	63
Grafik 6 Grafik hasil simulasi skenario 3.....	64
Grafik 7 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 4 (konfigurasi 2 <i>generator thruster</i> dan 2 <i>diesel generator</i> dengan beban 2 <i>bow thruster</i> beserta 60% beban kapal)	66
Grafik 8 Grafik hasil simulasi skenario 4.....	67
Grafik 9 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 5 (konfigurasi 1 <i>generator thruster</i> dan 2 <i>diesel generator</i> dengan beban 2 <i>bow thruster</i> beserta 60% beban kapal)	69
Grafik 10 Grafik hasil simulasi skenario 5.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Salah satu alat transportasi yang memiliki peran penting dalam membantu proses penyaluran berbagai kebutuhan manusia sehingga sektor perekonomian di Indonesia ini berkembang adalah kapal. Sebuah kapal dapat melakukan transfer muatan yang diangkut ke pelabuhan maupun di tengah lautan dengan sesama kapal. Dalam melakukan proses transfer muatan tersebut, sebuah kapal dituntut untuk mempertahankan posisi dalam beberapa waktu. Ketika berada dipelabuhan, kapal harus menjaga jarak antara badan kapal itu sendiri dengan dermaga untuk menghindari kerusakan badan kapal. Sedangkan, ketika berada ditengah lautan, kapal yang akan melakukan transfer dengan kapal lain harus mempertahankan posisi sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan.

Dynamic positioning merupakan salah satu solusi bagi kapal untuk mempertahankan posisi sesuai yang diinginkan oleh operator di kapal. Kapal ketika berada di pelabuhan mampu mempertahankan posisi dengan adanya bantuan dari jangkar dan tali tambat pada proses *anchoring dan mooring*. Namun, ketika kapal berada di tengah lautan, kedua proses tersebut tidak dapat dilakukan secara maksimal. Adanya gaya yang berasal dari angin, gelombang dan arus laut, mampu mengubah posisi bertahan yang dimiliki kapal. Untuk mengatasi gaya-gaya eksternal yang mengubah posisi kapal tersebut, maka sistem *dynamic positioning* ini digunakan untuk memprediksi di mana gaya-gaya tersebut bekerja dengan sensor dan komputer akan mengolah informasi sehingga diteruskan ke thruster atau pendorong yang terletak di bagian belakang atau depan kapal untuk melawan gaya-gaya tersebut. Dalam menjaga posisi kapal, motor listrik harus dapat bekerja dengan pembebanan yang naik turun secara signifikan sesuai dengan keadaan cuaca saat operasi. Dengan kondisi tersebut, *dynamic positioning* data mengalami gangguan system berupa kehilangan daya pada sistem penyuplai daya.

Dalam menjalankan sistem *dynamic positioning* , tentunya terdapat sistem kelistrikan untuk menyuplai listrik agar peralatan pendukung sistem ini mampu bekerja. Terdapat dua jenis konfigurasi yang biasa digunakan dalam suplai daya, yaitu *split bus* dan *closed bus*. Pada umumnya, kapal menggunakan jenis konfigurasi *closed bus* dengan bentuk konfigurasi di mana seluruh beban mendapatkan suplai daya dari bus utama yang disuplai oleh beberapa generator. Namun, konfigurasi ini memiliki kekurangan, yaitu ketika terjadi kegagalan pada bus utama, maka seluruh beban listrik akan terpengaruh oleh kegagalan tersebut.

Untuk kapal dengan sistem DP, umumnya menggunakan konfigurasi split bus, yaitu konfigurasi satu beban disuplai oleh satu generator independen untuk meningkatkan keandalannya. Namun, kondisi konfigurasi ini memiliki kekurangan yaitu aspek efisiensi dan tingginya tingkat emisi yang ditimbulkan oleh suplai daya.

Pada sistem kelistrikan, dapat ditemukan beberapa gangguan. Salah satu gangguan tersebut adalah arus hubung singkat atau *short circuit*. Menurut IEC 60909, gangguan hubungan singkat merupakan hubungan konduksi secara sengaja maupun tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup beda potensial. Pada perencanaan sebuah sistem tenaga listrik, arus gangguan hubungan singkat merupakan hal yang penting untuk direncanakan. Hubungan singkat terjadi ketika konduktor/penghantar yang memiliki tegangan terhubung dengan penghantar bertegangan lainnya atau terhubung dengan penghantar netral (ground) secara langsung. Dengan sistem konfigurasi daya bentuk *closed bus* yang diterapkan dalam sistem kelistrikan kapal, di mana beberapa generator dihubungkan untuk suplai daya ke seluruh beban melalui bus utama, pada saat sistem berjalan, hubung singkat pada konduktor bisa terjadi. Dengan suplai daya beberapa generator melewati satu bus utama dengan kapasitas terbatas, hal ini bisa menyebabkan terjadinya kelebihan arus dan menyebabkan bus utama menjadi panas. Panas pada bus utama ini yang akan memicu terjadinya arus hubung singkat.

Istilah gangguan hubungan singkat ini digunakan untuk menjelaskan bahwa penghantar terhubung secara singkat. Untuk mengatasi gangguan ini, diperlukan analisa gangguan hubungan singkat sehingga dapat ditentukan sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik tersebut. Analisa gangguan hubung singkat yang membahas mengenai analisa yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

Berdasarkan hal-hal yang telah disampaikan di atas, maka dasar-dasar tersebut digunakan untuk menyusun studi mengenai analisa arus hubung singkat pada sistem kelistrikan kapal AHTS akibat penggunaan thruster elektrik menggunakan metode simulasi software matlab.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, yaitu :

1. Berapa nilai arus hubungan pendek maksimal yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal AHTS akibat penggunaan thruster elektrik ?
2. Bagaimana cara mengatasi terjadinya arus hubungan pendek pada sistem kelistrikan kapal AHTS akibat penggunaan thruster elektrik ?

I.3 Batasan Masalah

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

1. Simulasi menggunakan software Matlab
2. Analisa yang dibuat fokus pada perhitungan besar arus hubung singkat maksimal
3. Tidak membahas segi ekonomi

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai arus hubungan pendek maksimal pada sistem kelistrikan kapal AHTS akibat penggunaan thruster elektrik.
2. Mengatasi terjadinya arus hubung pendek pada sistem kelistrikan kapal AHTS akibat penggunaan thruster elektrik

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar pengaturan proteksi akibat arus hubung singkat yang terjadi pada kapal yang menggunakan sistem *dynamic positioning*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kapal AHTS

AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*) merupakan sebuah kapal yang didesain khusus untuk menunjang operasional sistem bangunan lepas pantai. Kapal ini dirancang untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan mengeksplorasi lepas pantai (*offshore*). Kapal ini memiliki karakteristik tersendiri untuk harus bisa beroperasi di lingkungan yang sangat ekstrim, yaitu badan kapal kecil, daya mesin induk besar, sistem propeller ganda dan adanya alat bantu manuver seperti *bow thruster*, stern thruster, dan azimuth thruster untuk mempertahankan posisi ketika di tengah laut. Oleh karena itu performa dari kapal sangat dipertimbangkan dalam proses perancangan. Desain dari kapal AHTS sangat bervariasi, tergantung track record dari pembangun kapal dan area operasi dari kapal AHTS itu sendiri. Secara umum kapal AHTS dapat dikategorikan sebagai berikut : North European Anchor Handling Tug, American Anchor Handling Tug dan Anchor Handling Tug and Supply Vessel. Berikut adalah beberapa karakteristik yang mewakili kapal AHTS. Pertama, kapal memiliki *cargo area* yang melebar di bagian buritan. Bentuk yang melebar di bagian belakang ini untuk membawa muatan dan operasional dari *anchor handling* juga *towing* dari kapal itu sendiri. Kedua, di bagian samping dari *cargo area* terdapat bulwark yang tinggi. Hal ini bertujuan melindungi muatan atau peralatan beserta kru kapal yang berada diatas *cargo area* dari bahaya lingkungan lepas pantai. Ketiga, di bagian buritan kapal juga tampak area tersebut terbuka. Pada bagian tersebut diberi stern roller yang bisa bergerak memutar dengan tujuan membantu dalam proses operasi penurunan jangkar atau pengangkatan jangkar pada bangunan lepas pantai serta memungkinkan proses *towing* guna menarik sebuah platform atau kapal lain.



Gambar 1 Kapal AHTS Pelangi Escort-2

(sumber : www.anggrekhitam.com/anchor-handling-tug-supply-vessel-ahstv-pelangi-escort-2/)

Pada bagian depan cargo area terdapat towing winch house dan blok akomodasi. Towing winch house tepat berada di main deck sejajar dengan deck untuk cargo handling. Towing winch, Towing wire dan peralatan anchor handling lainnya berada di ruangan ini. Meskipun desain dari AHTS sangat bervariasi tergantung akan kebutuhan, namun secara umum fungsi, sistem dan peralatan pada kapal hampir sama pada sebagian besar kapal. Berikut ini adalah kriteria operasional sebuah kapal AHTS:

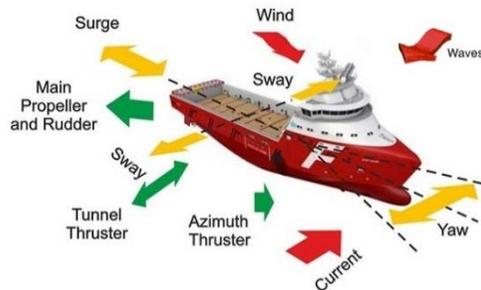
1. Desain lambung kapal dengan cargo deck area pada bagian belakang, hal ini untuk membawa muatan atau peralatan dari suatu platform atau menuju platform serta area yang terbuka pada bagian belakang untuk operasional *anchor handling*.
2. Bentuk lambung yang didesain guna menjaga manuverability saat kapal pada operasional slow speed atau keadaan statis. Tingginya luas area yang terkena terpaan angin merupakan kekurangan tersendiri bagi kapal AHTS saat melakukan penyebaran dan pengambilan jangkar ataupun ketika pengoperasian towing. Area terpaan angin yang tinggi membuat AHTS rentan mendapat gaya dari luar saat butuh akan static operation, sehingga kebutuhan daya akan meningkat untuk menjaga kapal AHTS tetap pada posisinya.
3. Sistem manoeuvring merupakan hal yang sangat penting dalam menjaga posisi kapal saat beroperasi.

II.2 Dynamic positioning

Pengertian dasar dari *dynamic positioning* adalah cara menahan kapal dalam posisi yang relatif tidak berubah dengan acuan dasar lautan, tanpa menggunakan jangkar melainkan menggunakan dua atau lebih propulsi yang dikontrol dengan masukan dari instrument pada dasar laut dan pada kapal, gyrocompass, dengan satelit navigasi atau dengan cara lain (Holvik, 1998). Selain itu menurut sorensen, *Dynamic positioning* pada kapal ada prosedur dimana secara otomatis mempertahankan posisi dan heading dari kapal.dengan menggunakan propeller dan *thruster* sendiri (Sorensen, 1996).

Sebuah kapal dengan sistem *dynamic positioning* (atau DP) mempertahankan posisi tetap relatif terhadap dasar laut. Teknologi canggih, dengan berbagai jenis sensor posisi, baling-baling dan pendorong memungkinkannya untuk melawan kekuatan alam seperti angin, arus dan gelombang tanpa menggunakan jangkar. Industri lepas pantai modern tidak akan terbayangkan tanpa posisi yang dinamis. DP adalah "teknologi yang memungkinkan" dan berhubungan terutama dengan pengembangan dan pengoperasian ladang minyak dan gas lepas pantai. Sistem pemosisian dinamis dari salah satu perusahaan kontrol ternama, Kongsberg, sekarang ditemukan di atas kapal pasokan, rig pengeboran, kapal penarik pipa dan kabel, kapal penarik batu, kapal tandu, kapal derek, kapal pemburu laut, kapal pesiar, hotel terapung dan kapal pesiar.

Para kru kapal tidak hanya mampu mengurangi beban kerja dengan sistem kontrol yang ada, tetapi kapal bisa juga mengikuti rute atau tinggal di area yang lebih besar. Sebuah rig pengeboran modern yang dioperasikan dengan *dynamic positioning*, atau DP, biasanya menghasilkan daya setara dengan pembangkit listrik tenaga air Norwegia berukuran sedang, atau setara dengan konsumsi sekitar 15.000 orang.



Gambar 2 Kapal dengan *dynamic positioning system*

(sumber : <http://www.offshoreengineering.com/education/dynamic-positioning-dp/what-is-dynamic-positioning/>)

Untuk mengatur serta meregulasi dari sistem *Dynamic positioning* ini, pada tahun 1990 dibentuk Asosiasi Pemilik Kapal *Dynamic positioning* (DPVOA). Asosiasi ini mengumpulkan data insiden dan mengembangkan guideline berdasarkan informasi tersebut. DPVOA bekerja sama dengan IMO menghasilkan Maritime Safety Committee Circular 645. Pada tahun 1995, DPVOA melakukan merger dengan AODC untuk membentuk International Marine Contractors Association (IMCA) dimana hingga saat ini menjadi satu-satunya badan regulator DP.

Sistem pemosisian dinamis biasanya digunakan oleh kapal-kapal lepas pantai untuk manuver yang akurat, untuk mempertahankan posisi tetap atau untuk pemeliharaan (peletakan pipa / kabel). Biasanya sistem DP dapat ditemukan pada:

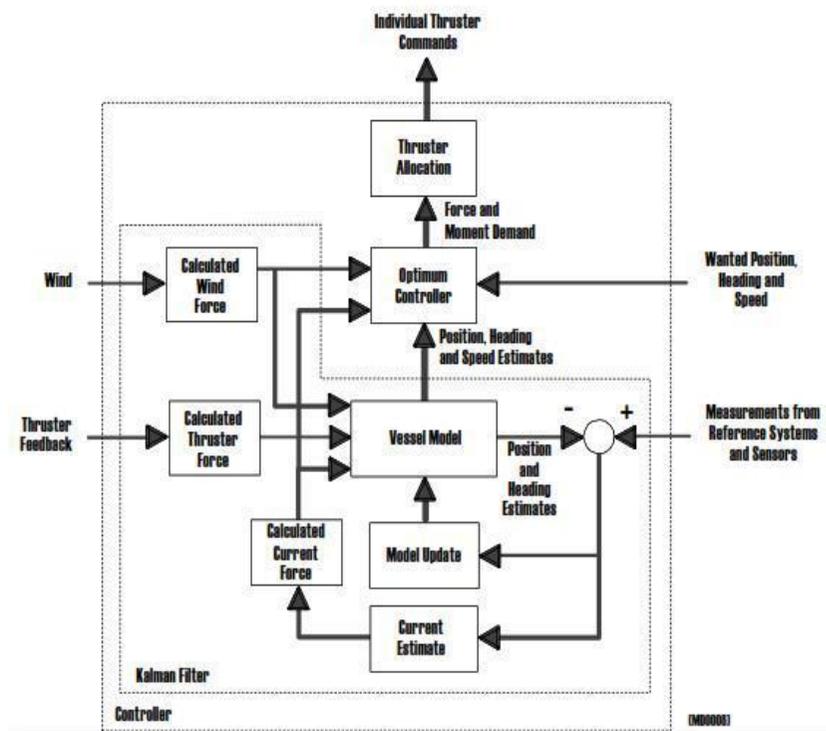
- a. Pemboran lepas pantai (Pengeboran kapal dan Semi-submersible).
Sebuah kapal Drilling akan menggunakan DP untuk tetap berada di lokasi perbaikan sementara pengeboran di air dalam.
- b. Kapal pendukung lepas pantai: Kapal pemasok platform (PSVs), kapal-kapal intervensi sumur (Well intervention vessels), Kapal-Kapal Penunjang Diving (Diving Support Vessel). Dukungan kapal menggunakan DP untuk tinggal di jarak yang aman dari anjungan lepas pantai dan rig pengeboran.
- c. Kapal-kapal konstruksi pelontar dan lepas pantai. Pipa-peletakan kapal menggunakan DP untuk menjaga posisi dan melacak lokasi.
- d. Kapal pengerukan. Kapal keruk Suction Hopper, kapal penarik batu, dan kapal penggalian

- e. Tanker Ulang-alik (Shuttle tanker), digunakan saat pembongkaran FPSO.

Dynamic positioning tidak selalu menjadi pilihan yang terbaik secara perhitungan ekonomis. Jalur tambat (*mooring*) biasanya merupakan pilihan yang lebih baik untuk air dangkal atau untuk operasi yang tidak memerlukan relokasi kapal yang sering (misalnya pengeboran di perairan dangkal, operasi penyelaman di perairan dangkal)(Sorensen et al., n.d.). Di sisi lain, DP adalah opsi terbaik untuk operasi air dalam, untuk dasar laut yang padat dan dalam situasi di mana kapal harus sering direlokasi.

Setiap kapal memiliki 6 jenis pergerakan bebas yakni *yaw*, *surge*, *sway*, *heave*, serta *pitch and roll*. Pergerakan tersebut dihasilkan akibat gaya yang berasal dari angin, gelombang, arus laut dan lainnya. Respon yang diberikan oleh kapal akibat gaya-gaya tersebut ialah perubahan position serta heading. Pada Sistem *Dynamic positioning* ini, pergerakan Heave dan Pitch and Roll tidak dapat dikendalikan oleh sistem DP. Sistem *Dynamic positioning* ini mengukur nilai deviasi antara titik posisi aktual dari kapal dengan posisi yang seharusnya, lalu menghitung gaya dimana *thruster* harus hasilkan untuk memperoleh nilai deviasi sekecil mungkin. Sistem ini mengontrol gerakan kapal dalam 3 derajat kebebasan yakni, *surge*, *sway* dan *yaw*.

Terdapat gaya internal maupun eksternal yang bekerja pada kapal, yang membuat kapal memiliki 6 derajat kebebasan di laut, suatu kapal dapat bergerak ke 6 sumbu gerak, antara lain ; tiga gerakan secara translasi, yaitu *surge (forward/astern)*, *sway (starboard/port)*, *heave (up/down)*, serta tiga gerakan secara rotasi : *roll (rotation about surge axis)*, *pitch (rotation about sway axis)* dan *yaw (rotation about heave axis)*(Holvik, 1998). Sistem DP memiliki suatu program komputer yang membuat pergerakan *surge*, *sway and yaw* dapat dengan otomatis di kontrol, untuk menjaga posisi kapal atau bangunan laut lainnya. Komputer tersebut akan mendapatkan data dari *refrences and sensors* dan membandingkan dengan *pre-set data*. Lalu sistem kontrol DP akan mengontrol sistem propulsi untuk mengeliminasi error-error diantara posisi aktualnya dan *heading data* dan *pre-set data* (Li, 2013). Prosedur pekerjaan sistem DP secara simple diilustrasikan pada gambar berikut ini.



Gambar 3 Diagram skematik dari sistem *dynamic positioning* (Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-Dynamic-Positioning-Systems_fig22_263580947)

- Dynamic positioning system* terdiri dari 3 bagian utama yaitu ;
1. *DP control system* : terdiri dari beberapa sub system yaitu : control system *dynamic positioning*; sistem sensor-sensor; *display system*; *associated cabling* dan *positioning refrence system*.
 - o *Positioning refrence system*, system ini menyediakan seluruh data refrensi system DP, seperti system DGPS, *taut wire position refrence system*, dan *acoustic position refrence systems*.
 2. *Power systems*: seluruh komponen dan system yang penting untuk menyuplai daya menuju system DP. System power terdiri dari : *prime movers* dengan system pendukung yang penting lainnya; generator; *switchboards*; *uninterruptable power supplies* dan baterai; system distribusi; *power management system*(*Lloyd rules*).
 3. *Thruster System* : umumnya, terdapat dua buah jenis yang biasa digunakan pada kapal dengan system DP : *tunnel thruster* dan *azimuth thruster*. Sebuah *azimuth thruster* dapat memberikan gaya pada 360 derajat pergerakan. Disamping *thruster* sendiri, *thruster system* juga termasuk *control part* dan *power supply part* (Li, 2013).

Berdasarkan *marine technology society*, terdapat tiga jenis *dynamic positioning vessel* berdasarkan pekerjaan industrial yaitu *mobile offshore drilling units (MODUs)*, *Project construction vessel*, dan *Logistics vessel* (marine technology comitee marine technology comitee, 2012). Setiap kapal tersebut memiliki mode operasi yang berbeda untuk menyelesaikan misi yang berbeda beda, namun pada umumnya terdapat enam mode operasi pada kapal dengan DP system menurut DPC, *marine technology society*, yaitu :

1. *Mode Manual / Joystick* memungkinkan operator mengendalikan kapal secara manual menggunakan joystick untuk kontrol posisi dan kontroler putar untuk kontrol pos.
2. *Mode Auto Position* dan *Auto Heading* secara otomatis mempertahankan posisi dan heading yang diinginkan.
3. *Mode Auto Area Position* secara otomatis menjaga kapal di dalam area yang diperbolehkan dan dalam batas *theme* yang diperbolehkan saat menggunakan jumlah daya minimum.
4. *Mode Auto Track* (kecepatan rendah dan kecepatan tinggi) kapal memiliki kemampuan untuk mengikuti jalur tertentu yang dijelaskan oleh satu set titik arah.
5. *Mode Autopilot* memungkinkan kapal untuk mengarahkan secara otomatis pada jalur yang telah ditentukan.
6. *Mode Follow Target* memungkinkan kapal untuk secara otomatis mengikuti set point yang selalu berubah (Holvik, 1998)

.IMO Marine Safety Committee Circular 645 (MSC 645), 'Guidance for Vessel with Dynamic positioning Systems ', 1994 dimaksudkan untuk memberikan standar internasional untuk sistem penentuan *Dynamic positioning* (Shengli and Ligang, 2017). Dokumen ini mendefinisikan tiga kelas peralatan DP yang dimaksudkan untuk memberikan tingkat keandalan stasiun yang berbeda yang dapat disesuaikan dengan konsekuensi kehilangan posisi. Ketiga kelas peralatan didefinisikan oleh efek kegagalan dan sifat kegagalan yang harus diperhatikan.

IMO MSC 645 tidak membahas misi industri kapal. Kelas peralatan kapal yang dibutuhkan untuk operasi tertentu harus disetujui antara pemilik kapal dan pelanggannya masing-masing berdasarkan analisis risiko kehilangan posisi. Beberapa Negara Bagian Pantai menerapkan persyaratan Kelas Peralatan Kelas minimum untuk kegiatan yang dilakukan di dalam wilayah mereka (Lloyd registers, 1994).

Sistem DP dirancang untuk memiliki tingkat kemampuan, keandalan dan redundansi stasiun tertentu. Notasi kelas DP System membahas keandalan berdasarkan redundansi dan toleransi kesalahan sistem DP.

Berikut adalah *DP equipment class* :

- 1) Untuk kapal dengan notasi DPS-0, atau DPS-1, kehilangan posisi dapat terjadi jika terjadi kesalahan tunggal, tidak ada persyaratan untuk system redundansi. Untuk notasi DPS-0, sistem penentuan posisi dinamis adalah memiliki sistem kontrol posisi manual. Untuk notasi DPS-1, sistem penentuan posisi dinamis adalah termasuk *automatic dynamic positioning system* dan sistem kontrol posisi manual.
- 2) Untuk kapal dengan notasi DPS-2, kehilangan posisi mungkin tidak terjadi jika terjadi kesalahan tunggal pada komponen atau sistem aktif apapun (generator, pendorong, switchboards, komputer kontrol DP, sensor, katup kendali jarak jauh, dll.), tidak termasuk kehilangan kompartemen.
- 3) Untuk kapal dengan notasi DPS-3, kehilangan posisi mungkin tidak terjadi jika terjadi kesalahan tunggal pada komponen atau sistem aktif atau statis, termasuk kehilangan kompartemen akibat kebakaran ataupun banjir (Lloyd registers, 1994)

Selain klasifikasi kelas berdasarkan *Equipment* terdapat klasifikasi dari Norwegian Maritime Authority (NMA) yang menentukan kelas apa yang harus digunakan sehubungan dengan risiko operasi. Dalam NMA Guidelines and Notes No. 28, enclosure terdapat empat kelas didefinisikan:

- 1) Kelas 0 Operasi dimana kehilangan kemampuan menjaga posisi tidak dianggap membahayakan kehidupan manusia, atau menyebabkan kerusakan. Operasi Kelas 1 dimana kehilangan kemampuan menjaga posisi dapat menyebabkan kerusakan atau polusi akibat kecil.
- 2) Operasi Kelas 2 dimana kehilangan kemampuan menjaga posisi dapat menyebabkan cedera, polusi, atau kerusakan dengan konsekuensi ekonomi yang besar.
- 3) Operasi Kelas 3 dimana kehilangan kemampuan menjaga posisi dapat menyebabkan kecelakaan fatal, atau polusi atau kerusakan parah dengan konsekuensi ekonomi utama.

Berdasarkan jenis kapal ini ditentukan untuk setiap operasi:

- 1) Unit Kelas 1 DP dengan kelas peralatan 1 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi tidak dianggap membahayakan jiwa manusia, menyebabkan kerusakan yang signifikan atau lebih dari polusi minimal.
- 2) Unit kelas 2 DP dengan kelas peralatan 2 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi dapat menyebabkan cedera personil, polusi atau kerusakan dengan konsekuensi ekonomi yang besar.
- 3) Unit kelas 3 DP dengan kelas peralatan 3 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi dapat menyebabkan kecelakaan fatal, polusi berat atau kerusakan dengan konsekuensi ekonomi utama.

II.3 Gangguan Hubungan Singkat (*Short circuit*)

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan tidak simetri (asimetri). Gangguan ini dapat menyebabkan mengalirnya arus lebih pada fasa yang terganggu. Selain itu, gangguan ini juga dapat menimbulkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetri (asimetri).

Gangguan arus lebih pada generator sering kali terjadi akibat adanya hubung singkat. Pada saat ini generator telah dibuat sedemikian rupa sehingga mampu bertahan terhadap adanya arus lebih, meskipun tidak terlalu lama. Settingan waktu tunda (*time delay*) dari pengaman harus mempertimbangkan kemampuan generator untuk bertahan terhadap kondisi hubung singkat yang terjadi di generator.

Gangguan hubung singkat terjadi akibat faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Sedangkan faktor eksternal adalah cuaca buruk, badai, hujan, bencana, petir, dan lain-lain. Selain faktor internal dan faktor eksternal, gangguan terdiri dari gangguan temporer atau permanent. Gangguan temporer biasanya diamankan dengan CB (*Circuit Breaker*) atau pengaman lainnya, Sedangkan gangguan permanent adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanent pada sistem. Seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, dan kerusakan pada peralatan. Pada gangguan permanen sering terjadi pada saluran bawah tanah. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik.

Beberapa akibat yang ditimbulkan dari adanya gangguan arus hubung singkat, yaitu aliran arus menjadi besar. Besarnya arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika alat tersebut tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat.

Besar kecil aliran arus hubung singkat dipengaruhi oleh letak terjadinya gangguan. Jika gangguan semakin dekat dengan sumber, maka arus gangguan akan semakin besar begitu sebaliknya(Saputra, 2016). Perluasan sistem tenaga listrik perlu dianalisa kembali untuk mengetahui tingkatan peralatan pemutus tegangan, misalnya *Circuit Breaker* (CB). Supaya *Circuit Breaker* (CB) dapat mengamankan dari gangguan sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan simetris dan hubung singkat tidak simetris. Perhitungan arus gangguan hubung singkat simetris dan tidak simetris dapat dilakukan dengan alat bantu perhitungan, yaitu komputer digital dengan bantuan software.

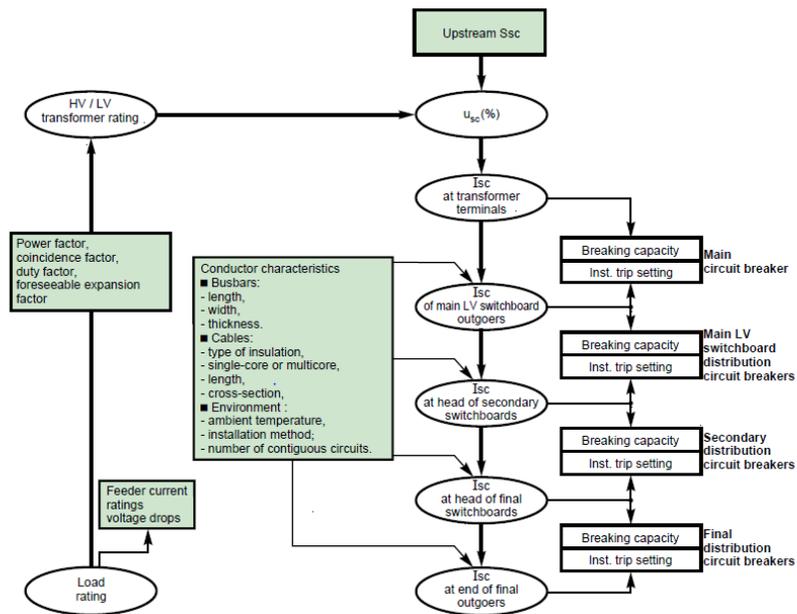
Sebagaimana diketahui bahwa pada saat terjadi hubung singkat, ada tiga kondisi arus atau reaktansi yang ada pada generator, yaitu arus sub peralihan (subtransient), arus peralihan (transient), arus tetap (steady state). Oleh karena itu, settingan arus dan waktu tunda hendaknya juga mempertimbangkan kondisi-kondisi tersebut.

Penyetelan arus hendaknya juga mempertimbangkan kondisi - kondisi tersebut. Penyetelan arus hendaknya lebih besar dari nilai arus nominal generator sehingga memungkinkan generator mampu menahan beban lebih untuk beberapa detik. Hal yang penting untuk pengaman generator terhadap arus lebih adalah adanya koordinasi pengaman, baik besaran arus maupun waktu tundanya (time delay). Disamping itu perlu pertimbangan juga adanya pengaman cadangan (back up) pada generator.

Instalasi listrik hampir selalu membutuhkan perlindungan terhadap arus pendek di mana pun di mana terdapat diskontinuitas listrik. Ini paling sering sesuai dengan poin di mana ada perubahan di penampang konduktor. Hubungan arus pendek saat ini harus dihitung pada setiap level dalam instalasi dalam pandangan menentukan karakteristik peralatan yang dibutuhkan untuk menahan atau merusak arus gangguan.

Terdapat dua nilai dari gangguan arus hubung singkat yang harus dievaluasi. Yang pertama arus hubung singkat maksimal. Nilai dari arus ini digunakan untuk mengetahui kapasitas pemutus dari *circuit breaker*, kapasitas pembuatan dari *circuit breaker*, dan kapasitas menahan elektrodinamik dari sistem pengkabelan dan switchgear. Nilai maksimal arus hubung singkat akan berkaitan dengan arus hubung singkat pada terminal di sekitar alat perlindungan. Nilai ini harus dihitung secara akurat dan ditambahkan margin pengaman. Yang kedua, arus hubung singkat minimal. Nilai dari arus ini arus penting digunakan ketika memilih kurva waktu-arus untuk rangkaian pemutus dan sekering, khususnya ketika: kabel berukuran panjang dan atau impedansi sumber relative tinggi, (seperti generator, UPSs), perlindungan jangka waktu hidup tergantung pada penggunaan *circuit breaker* atau sekering, khususnya pada kasus sistem elektrikal IT.

Perlu dicatat bahwa arus hubung singkat minimal tergantung pada arus hubung singkat pada ujung dari jaringan pelindung, umumnya fasa ke tanah untuk LV dan fasa ke fasa untuk HV (netral tidak terdistribusi), di bawah kondisi operasi yang paling buruk (kesalahan di ujung feeder dan bukan hanya downstream dari perangkat perlindungan, satu trafo di layanan ketika dua dapat dihubungkan, dll.).



Gambar 4 Prosedur perhitungan arus hubung singkat (Isc) ketika mendesain instalasi listrik
(sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Sistem proteksi adalah sistem pengamanan peralatan listrik seperti generator, transformator, motor dll. terhadap kondisi-kondisi abnormal. Fungsi utama dari sistem proteksi adalah menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik, mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, mengamankan manusia dari bahaya listrik (Hutahuruk, 1991).

Perhitungan sirkuit pendek untuk pemilihan switchgear dan koordinasi perlindungan dilakukan sesuai dengan praktik nasional dan internasional yang telah ditetapkan, yang paling penting dan diterima secara luas adalah Standar IEC dan ANSI / IEEE. Standar IEC 60909 yang diterapkan dalam makalah ini, mencakup berbagai tingkat tegangan jaringan, konfigurasi, kondisi operasi dan peralatan pembangkit dan beban (Esen et al., 2017).

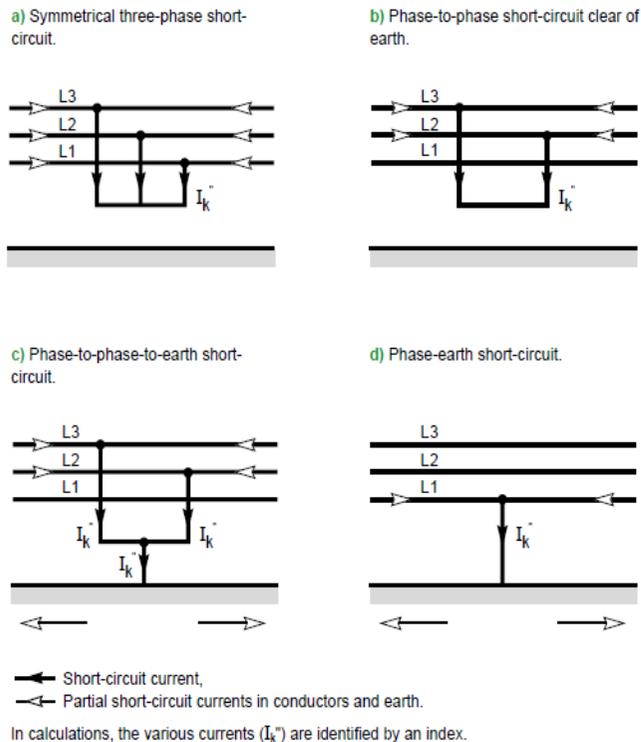
Koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan membutuhkan beberapa pembelajaran khusus salah satunya yaitu terletak pada cara mendesain waktu *trip*. Suatu *circuit breaker* harus dilakukan pengaturan waktu *pickup*-nya agar dapat beroperasi dengan cepat dan memiliki selektivitas tinggi dalam merasakan serta mengisolasi gangguan pada peralatan sekitarnya. Peralatan proteksi harus disiapkan untuk memutus setiap arus lebih yang mengalir pada motor atau rangkaian listrik sebelum arus tersebut dapat menyebabkan kenaikan suhu yang merusak isolasi, sambungan, terminasi atau sekeliling penghantar.

Untuk memproteksi sebuah sistem harus diperhatikan mengenai batas daerah mana yang akan diamankan, sehingga suatu sistem proteksi akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi pada sekitar daerah yang terkena gangguan. Idealnya daerah proteksi harus saling *overlap*, sehingga setiap bagian dari sistem mendapatkan perlindungan. Antara *circuit breaker* utama dengan *circuit breaker* cadangan (*backup*) harus di koordinasikan agar menghasilkan sistem proteksi yang sempurna.

Pada umumnya proteksi cadangan memiliki perlambatan waktu (*time delay*), hal ini bertujuan supaya proteksi utama dapat memproteksi terlebih dahulu, dan apabila proteksi utama gagal, maka proteksi cadangan yang akan beroperasi selanjutnya (Wahyudi, 2008). Untuk memenuhi fungsi tersebut maka waktu *trip* proteksi utama disetel lebih cepat daripada *trip* proteksi cadangan. Pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena dengan pengamanan yang cepat dan tepat maka akan mengisolir gangguan seminimal mungkin. (Warrington, 1962).

Beberapa arus hubung singkat dapat terjadi di instalasi listrik. Terdapat karakteristik utama yang dimiliki oleh gangguan ini, yaitu :

- a. Durasi (*self-extinguishing*, *transient*, dan *steady-state*)
- b. Sumber : mekanik (putus di salah satu konduktor, kontak listrik tak disengaja antara dua konduktor melalui benda penghantar dari luar), internal atau atmosfer tegangan berlebih
- c. Kerusakan isolasi akibat panas, kelembaban atau lingkungan korosif.
- d. Lokasi : di dalam atau di luar mesin atau *electrical switchboard*
- e. Fasa ke tanah (80% dari kegagalan)
- f. Fasa ke fasa (15% dari kegagalan). Tipe kegagalan ini seringkali digolongkan ke kegagalan 3 fasa
- g. Tiga fasa (hanya 5% dari keseluruhan kegagalan)(Metz-Noblat et al., n.d.)



Gambar 5 Perbedaan tipe dari jenis gangguan arus hubung singkat
 (sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Ada beberapa konsekuensi yang akan didapatkan ketika terjadi gangguan arus hubung singkat. Konsekuensi yang didapat bermacam-macam bergantung dengan tipe dan durasi dari gangguan, titik instalasi di mana terjadi gangguan, dan daya gangguan arus hubung singkat.

Konsekuensi yang didapat juga termasuk :

- a. Pada lokasi gangguan, kemunculan busur elektrik berakibat pada :
 - kerusakan isolasi
 - kerusakan hasil pengelasan konduktor
 - menyebabkan kebakaran dan membahayakan keselamatan
- b. Pada sirkuit gangguan (*faulty circuit*):
 - gaya elktrodinamis, menyebabkan :
 - deformasi pada busbar
 - kabel terputus
 - kenaikan temperatur yang berlebihan karena peningkatan di *joule losses*, dengan risiko kerusakan isolasi

- c. Pada sirkuit lain di jaringan atau dekat dengan jaringan terjadi gangguan :
 - tegangan turun selama waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan gangguan, mulai dari beberapa milidetik hingga beberapa bagian dari jaringan mati, sejauh mana bagian itu tergantung pada desain jaringan dan tingkat diskriminasi (*discrimination levels*) yang ditawarkan oleh perangkat perlindungan beberapa ratus milidetik
 - ketidakstabilan dinamik atau kehilangan sinkronisasi mesin
 - gangguan pada sirkuit kontrol dan monitor.

II.3.1 Perhitungan standar arus hubung singkat

Standar perhitungan untuk menghitung arus hubung singkat mengusulkan sejumlah metode.

- a. Panduan aplikasi C 15-105, yangsuplemen NF C 15-100 (Normes Françaises)(instalasi AC tegangan rendah), perincian empat metode:

- 1) Metode "impedansi", digunakan untuk menghitung gangguan arus pada setiap titik di instalasi, dengan tingkat akurasi yang tinggi. Metode ini melibatkan penambahan berbagai resistansi dan reaktansi dari loop gangguan secara terpisah, dari (dan termasuk) sumber ke titik gangguan, dan kemudian menghitung impedansi yang sesuai. Nilai I_{sc} adalah akhirnya diperoleh dengan menerapkan hukum Ohm:

$$I_{sc} = U_n / \sum(Z) \quad (2.1)$$

(Kasikci, 2002)

Semua karakteristik dari berbagai elemen diloop gangguan harus diketahui (sumber dan pengkabelan sistem). Perhatikan bahwa dalam panduan aplikasi, sejumlah faktor tidak diperhitungkan, terutama:

- Reaktansi dari pemutus sirkuit dan busbar;
- resistensi mesin berputar.

Hasil yang diperoleh mungkin berbeda dari itu disajikan dalam bab berikutnya, karena ini faktor diperhitungkan.

- 2) Metode "komposisi", yang dapat digunakan ketika karakteristik catu daya berada tidak diketahui. Impedansi hulu dari sirkuit yang diberikan dihitung atas dasar suatu perkiraan arus hubung singkat pada asalnya.

Faktor daya $\cos \Phi_{sc} = R / X$ diasumsikan, identik pada asal sirkuit dan kesalahan lokasi. Dengan kata lain, diasumsikan bahwa aimpedansi dasar dua berturut-turut bagian dalam instalasi cukup serupa dalam karakteristik mereka untuk membenarkan penggantian penambahan vektor dari impedansi oleh penambahan aljabar.

Pendekatan ini mungkin digunakan untuk menghitung nilai sirkuit pendek modulus saat ini dengan akurasi yang cukup untuk penambahan sirkuit. Ini sangat perkiraan metode harus digunakan hanya untuk instalasi ini nilai hingga 800 kVA

- 3) Metode "konvensional", yang dapat digunakan, ketika impedansi dari I_{sc} dipemasang hulu dari sirkuit yang diberikan tidak dikenal, untuk menghitung hubungan pendek minimum arus dan arus gangguan pada akhir garis. Ini didasarkan pada asumsi bahwa tegangan pada asal sirkuit sama dengan 80% dari tegangan pengenal instalasi selama arus pendek atau gangguan. Metode ini hanya mempertimbangkan resistensi dari konduktor dan menerapkan koefisien lebih besar dari 1 untuk konduktor dengan luas penampang yang besar untuk memperhitungkan induktansi mereka (1,15 untuk 150 mm², 1,20 untuk 185 mm², dll.). Itu terutama digunakan untuk sirkuit terakhir dengan asalnya di jarak yang cukup jauh dari kekuasaan sumber (jaringan atau unit pembangkit listrik).

Metode yang "disederhanakan" (disajikan secara rinci dalam panduan aplikasi ini), yang, melalui tabel berdasarkan pada berbagai asumsi penyederhanaan, menunjukkan untuk setiap area penampang konduktor:

- Nilai saat ini dari perlindungan yang berlebihan alat;
- Panjang maksimum sistem kabel yang harus dipelihara, perlindungan terhadap kontak tidak langsung;
- panjang yang diijinkan dalam melihat penurunan tegangan listrik. Data dalam tabel sebenarnya adalah hasil dari perhitungan berjalan menggunakan dasarnya komposisi dan metode konvensional. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan karakteristik rangkaian yang akan ditambahkan ke instalasi yang ada yang cukup informasi tidak tersedia. Itu langsung berlaku untuk instalasi LV, dan dapat digunakan dengan koefisien koreksi jika tegangan tidak 230/400 V.

- b. Standar IEC 909 (VDE 0102) berlaku untuk semua jaringan, radial atau menyatu, hingga 230 kV. Metode ini, berdasarkan teorema Thevenin, menghitung sumber tegangan ekuivalen pada lokasi hubungan pendek dan kemudian menentukan arus hubung singkat yang sesuai. Semua jaringan pengumpan serta sinkron dan mesin asynchronous diganti dalam perhitungan dengan impedansinya (positif urutan, urutan negatif dan zero sequence). Semua kapasitansi garis dan paralel penerimaan beban non-rotating, kecuali itu dari sistem urutan-nol, diabaikan.

II.3.2 Perhitungan arus hubung singkat berdasarkan metode impedansi

Arus hubung singkat dapat dihitung berdasarkan impedansi yang diwakili oleh rangkaian. Impedansi ini, pada gilirannya, dapat dihitung dengan menjumlahkan berbagai hambatan dan reaktansi dalam kekuasaan sumber dan loop garis kesalahan. Secara matematis, impedansi hubung pendek dihitung melalui (Z_{SC}) Persamaan (1). Dalam perhitungan ini, $\sum R$ adalah penjumlahan dari resistansi serial dan $\sum X$ adalah jumlah dari serial reaktansi (Schneider Electric, 2005).

$$Z_{sc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \quad (2.2)$$

(de Metz-Noblat et al., n.d.2005)

Kalkulasi dari arus hubung singkat berdasarkan hukum Ohm. Persamaan matematika diberikan pada persamaan di bawah ini. Di mana, I_{sc} adalah arus hubung singkat pada arus hubung singkat tiga fasa. V_n adalah tegangan jaringan tidak terdefinisi dan 3-5% lebih tinggi dari nilai tegangan terminal.

$$I_{sc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \times Z_{sc}} \quad (2.3)$$

(Metz-Noblat et al., n.d. 2005)

Gangguan arus hubung singkat tiga fasa ini melibatkan ketiga fase. Hubungan arus pendek I_{sc3} saat ini sama dengan :

$$I_{sc3} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{sc}} \quad (2.4)$$

(Metz-Noblat et al., n.d. 2005)

di mana U (tegangan fase-ke-fase) bersesuaian ke transformator tanpa beban tegangan yang 3 sampai 5% lebih besar dari tegangan beban di seluruh terminal. Misalnya, dalam jaringan 390 V, tegangan fase-ke-fase yang diadopsi adalah $U = 410$, dan tegangan fase-ke-netral adalah $U / \sqrt{3} = 237$ V.

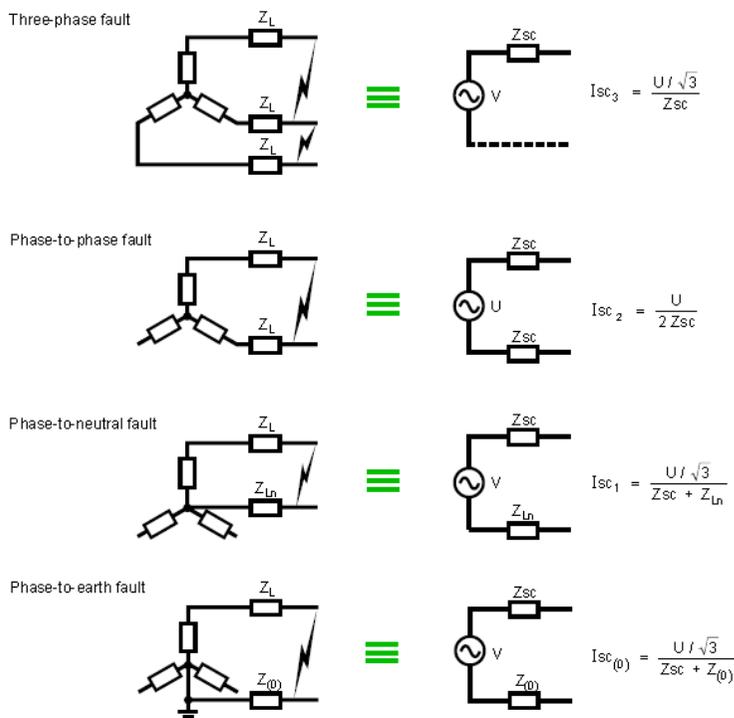
Perhitungan arus hubung singkat karenanya hanya membutuhkan perhitungan Z_{sc} , impedansi sama dengan semua impedansi yang dilaluinya. I_{sc} mengalir dari generator ke lokasi kesalahan, yaitu impedansi dari sumber daya dan jalur pengkabelan. Ini, pada kenyataannya, impedansi "urutan positif" per fase:

$$Z_{sc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \quad (2.5)$$

(Metz-Noblat et al., n.d.2005)

dimana $\sum R$ = jumlah resistansi seri, $\sum X$ = jumlah reaktansi seri.

Umumnya dianggap kesalahan tiga fase mampu menimbulkan kesalahan arus tertinggi. Kesalahan arus dalam diagram ekivalen polifase sistem dibatasi oleh hanya impedansi satu fase pada tegangan fase-ke-netral dari jaringan. Perhitungan I_{sc3} karenanya penting untuk pemilihan peralatan (arus maksimum dan kemampuan menahan elektrodinamik).



Gambar 6 Jenis arus hubung singkat
(sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Berikutnya adalah gangguan antara dua fase, diberikan dengan tegangan fase-ke-fase U . Dalam hal ini, arus pendek I_{sc2} kurang daripada kesalahan tiga fase:

$$I_{sc2} = \frac{U}{2 Z_{sc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0.866 I_{sc3} \quad (2.6)$$

(de Metz-Noblat et al., n.d.2005)

Selanjutnya adalah gangguan antara satu fase dan netral, dilengkapi dengan tegangan fase-ke-netral, $V = U / 3$. Maka, perhitungan dari I_{sc1} atau arus hubung singkat pada jenis ini adalah :

$$I_{sc1} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{Ln}} \quad (2.7)$$

(de Metz-Noblat et al., n.d.2005)

Dalam kasus-kasus khusus tertentu gangguan dari fase ke netral, impedansi urutan-nol dari sumber kurang dari Z_{sc} (misalnya, diterminal transformator terhubung bintang-zigzag atau generator di bawah kondisi subtransien). Dalam hal ini, arus gangguan fasa-ke-netral mungkin lebih besar daripada kesalahan tiga fase.

Perhitungan selanjutnya adalah jenis gangguan ini membawa urutan-nol impedansi $Z(0)$ ke dalam jaringan yang berjalan. Kecuali ketika mesin berputar terlibat (mengurangi impedansi urutan-nol), *short circuit* I_{sc} saat ini (0) kurang dari sebuah gangguan tiga fasa. Perhitungan $I_{sc}(0)$ mungkin diperlukan, tergantung pada sistem netral (sistem pengaturan pembumian), mengingat mendefinisikan pengaturan ambang untuk urutan-nol (HV) atau perangkat pelindung gangguan-bumi (LV). Rumus tercantum pada gambar 7 di atas.

II.3.3 Perhitungan nilai arus hubung singkat pada jaringan radial menggunakan komponen simetris

Metode perhitungan ini memiliki keuntungan. Perhitungan menggunakan komponen simetris sangat berguna ketika jaringan tiga fase tidak seimbang, karena, karena fenomena magnetis, misalnya, tradisional "siklikal" impedansi R dan X adalah, biasanya *speaking*, tidak lagi bisa digunakan. Perhitungan ini merupakan metode yang juga diperlukan ketika:

- sistem tegangan dan arus tidak simetris (vektor Fresnel dengan berbeda moduli dan ketidakseimbangan melebihi 120°). Ini kasus untuk fase-ke-bumi atau fase-ke-fase sirkuit pendek dengan atau tanpa koneksi bumi;
- jaringan termasuk mesin berputar dan / atau trafo khusus (koneksi Y_{yn} , untuk contoh).

Metode ini dapat digunakan untuk semua jenis radial jaringan distribusi di semua level tegangan.

Hampir sama dengan teorema Leblanc yang menyatakan bidang itu bolak lurus bujur sangkar dengan sinusoidal amplitudo setara dengan dua bidang yang berputar berputar ke arah yang berlawanan, definisi komponen simetris didasarkan pada kesetaraan antara *three phase* yang tidak seimbang pada sistem dan jumlah tiga seimbang sistem tiga fase, yaitu *positive sequence*, urutan negatif dan *zero sequence*.

Prinsip superposisi kemudian dapat digunakan hitung arus gangguan. Dalam uraian di bawah ini, sistem didefinisikan menggunakan \vec{I}_1 saat ini sebagai referensi rotasi, di mana:

- $\vec{I}_{(1)}$ adalah komponen urutan positif;
- $\vec{I}_{(2)}$ adalah komponen urutan negatif;
$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

c. $\vec{I}_{(3)}$ adalah komponen urutan-nol;

dan dengan menggunakan operator berikut, antara \vec{I}_1 , \vec{I}_2 , dan \vec{I}_3 .

Prinsip ini, diterapkan pada sistem saat ini, adalah dikonfirmasi oleh representasi grafis. Misalnya, grafis penambahan vektor menghasilkan, untuk, hasil sebagai berikut:

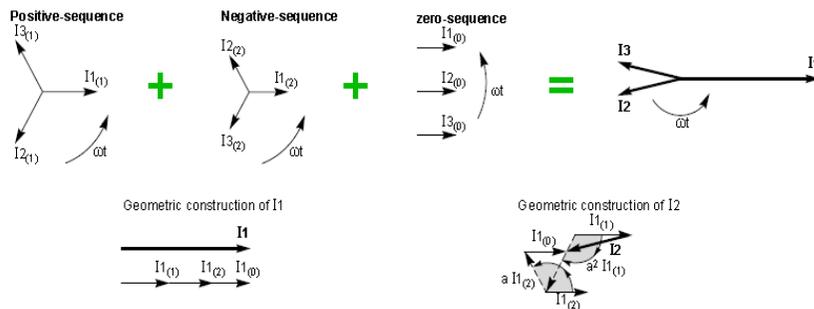
$$\vec{I}_2 = a^2 \vec{I}_{(1)} + a \vec{I}_{(2)} + \vec{I}_{(0)}$$

Arus \vec{I}_1 dan \vec{I}_3 dapat diekspresikan dalam dengan cara yang sama, maka sistemnya:

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_{(1)} + \vec{I}_{(2)} + \vec{I}_{(0)}$$

$$\vec{I}_2 = a^2 \vec{I}_{(1)} + a \vec{I}_{(2)} + \vec{I}_{(0)}$$

$$\vec{I}_3 = a \vec{I}_{(1)} + a^2 \vec{I}_{(2)} + \vec{I}_{(0)}$$



Gambar 7 Konstruksi grafis dari jumlah tiga sistem tiga fase yang seimbang (urutan positif, urutan negatif dan urutan nol)

(sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Komponen arus simetris interkait dengan komponen tegangan simetris oleh impedansi yang sesuai:

$$Z_{(1)} = \frac{V_{(1)}}{I_{(1)}}, Z_{(2)} = \frac{V_{(2)}}{I_{(2)}} \text{ and } Z_{(0)} = \frac{V_{(0)}}{I_{(0)}}$$

Impedansi ini dapat didefinisikan dari karakteristik (disediakan oleh produsen) dari berbagai elemen di listrik yang diberikan jaringan. Di antara karakteristik ini, kita bisa perhatikan bahwa $Z_{(2)} \approx Z_{(1)}$, kecuali untuk mesin berputar, sedangkan $Z_{(0)}$ bervariasi tergantung pada masing-masing elemen.

Tabel 1 Karakteristik urutan nol dari berbagai elemen dalam jaringan listrik.
(sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Elements		$Z_{(0)}$
Transformer (seen from secondary winding)		
No neutral		∞
Yyn or Zyn	free flux	∞
	forced flux	10 to 15 $X_{(1)}$
Dyn or YNyn		$X_{(1)}$
primary D or Y + zn		0.1 to 0.2 $X_{(1)}$
Machine		
Synchronous		$\approx 0.5 Z_{(1)}$
Asynchronous		≈ 0
Line		$\approx 3 Z_{(1)}$

II.4 Perhitungan berdasarkan IEC 60909

IEC 60909 adalah *short circuit currents standard* yang digunakan sebagian besar Eropa. Metode SCC (*short circuit currents*) mirip dengan perhitungan FIC (fixed impedance calculation). Perbedaan yang paling penting adalah penggunaan faktor koreksi tegangan ($c = 1.1$ untuk tegangan tinggi jaringan) dan faktor koreksi impedansi. Pengenalan faktor koreksi tegangan c pada dasarnya meningkatkan besarnya tegangan sumber tegangan diterapkan ke N2 jaringan pasif sebesar 10%. Ini membuat kesalahan saat ini setidaknya 10% lebih tinggi dan terkadang mengarah ke hasil yang lebih konservatif (pesimis). Impedansi dari semua rotating plant adalah konstan dalam hal ini perhitungan. Ini impedansi konstan untuk sinkron mesin dihitung menggunakan impedansi sub-transien dan faktor koreksi impedansi terkait. Impedansi yang digunakan untuk motor asynchronous dihitung menggunakan nilai impedansi rotor yang terkunci.

Standar IEC 60909 mendefinisikan dan menyajikan serta menerapkan metode komponen simetris, yang dapat digunakan oleh para insinyur yang tidak khusus lapangan. Metode ini berlaku untuk jaringan listrik dengan tegangan pengenal kurang dari 230 kV dan standar menjelaskan perhitungan minimum dan arus hubung singkat maksimum.

Diperlukan mengingat kalibrasi arus lebih perangkat perlindungan dan yang terakhir digunakan untuk menentukan karakteristik yang dinilai untuk peralatan listrik. Mengingat aplikasinya ke jaringan LV, yang standar disertai dengan panduan aplikasi IEC 60781. Berikut adalah prosedur perhitungan dengan standar IEC 60909.

1. Menghitung tegangan ekuivalen pada lokasi gangguan, sama dengan $c U_n / \sqrt{3}$, di mana c adalah faktor tegangan yang diperlukan dalam perhitungan untuk memperhitungkan
 - variasi tegangan dalam ruang dan waktu;
 - kemungkinan perubahan tappings transformator;
 - perilaku subtransier generator dan motor.(Schlabach, 2005)

Tabel 2 Nilai dari faktor tegangan (c)
(sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Rated voltage U_n	Voltage factor c for calculation of	
	Isc max.	Isc min.
LV		
230 - 400 V	1	0.95
Others	1.05	1
HV		
1 to 230 kV	1.1	1

2. Mentukan dan menambahkan positive sequence setara,urutan negatif dan zerosequence impedansi hulu dari kesalahan lokasi.
3. Menghitung arus hubung singkat awal menggunakan komponen simetris. Praktis berbicara dan tergantung pada jenis kesalahan, yang persamaan yang diperlukan untuk perhitungan Isc ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.
4. Setelah nilai Isc (I_k) diketahui, menghitung nilai-nilai lain seperti nilai puncak Isc, thenilai Isc steady state dan maksimum, steady state Nilai Isc.

Tabel 3 Nilai-nilai gangguan arus hubung singkat tergantung pada urutan-positif, urutan-negatif & impedansi urutan-nol dari jaringan yang diberikan (sumber : B. D. Metz-Noblat, 2005)

Type of short-circuit	I_k^* General situation	Fault occurring far from the generators
Three-phase (any Z_e)	$= \frac{c \text{ Un}}{\sqrt{3} Z_{(0)} }$ In both cases, the short-circuit current depends only on $Z_{(0)}$, which is generally replaced by Z_k , the short-circuit impedance at the fault location, defined by $Z_k = \sqrt{Rk^2 + Xk^2}$ where Rk is the sum of the resistances of one phase, connected in series; Xk is the sum of the reactances of one phase, connected in series.	$= \frac{c \text{ Un}}{\sqrt{3} Z_{(0)} }$
Phase-to-phase clear of earth ($Z_e = \infty$)	$= \frac{c \text{ Un}}{ Z_{(1)} + Z_{(2)} }$	$= \frac{c \text{ Un}}{2 Z_{(0)} }$
Phase-to-earth	$= \frac{c \text{ Un} \sqrt{3}}{ Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)} }$	$= \frac{c \text{ Un} \sqrt{3}}{2 Z_{(1)} + Z_{(0)} }$
Phase-to-phase-to-earth (Z_{sc} between phases = 0)	$= \frac{c \text{ Un} \sqrt{3} Z_{(2)} }{ Z_{(1)} Z_{(2)} + Z_{(2)} Z_{(0)} + Z_{(1)} Z_{(0)} }$	$= \frac{c \text{ Un} \sqrt{3}}{ Z_{(1)} + 2 Z_{(0)} }$

Symbols used in this table

- phase-to-phase rms voltage of the three-phase network = U
- modulus of the short-circuit current = I_k^*
- symmetrical impedances = $Z_{(1)}, Z_{(2)}, Z_{(0)}$
- short-circuit impedance = Z_{sc}
- earth impedance = Z_e .

II.4.1 Menentukan berbagai impedansi gangguan hubung singkat

Metode ini digunakan menentukan arus hubung singkat yang pada sebuah jaringan listrik berdasarkan nilai impedansi yang tersedia di "sirkuit" yang mana arus hubung singkat tersebut lalui. Impedansi ini mungkin dihitung setelah menjumlahkan secara terpisah berbagai resistensi dan reaktansi dalam jaringan gangguan, dari (dan termasuk) sumber daya ke lokasi gangguan.

a. Sinkron generator

Impedansi mesin umumnya dinyatakan sebagai persentase, misalnya: $X_d = 5\%$. Selain nilai impedansi, biasanya diberikan juga nilai R/X . Nilai ini digunakan untuk menentukan total impedansi dari mesin tersebut.

$$X_g = \frac{X_d}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}, \quad (2.8)$$

(de Metz-Noblat et al., n. d. 2005)

dimana:

X_g = Impendansi generator

X_d = impendansi generator pada gangguan 3 fasa (%)

V = tegangan sistem (V)

MVA = *Apparent power* dari generator (MVA)

b. Motor asinkron

Impedansi motor asinkron umumnya dinyatakan dalam persentase. Pada umumnya bernilai 15%-25%. Selain nilai impedansi, biasanya diberikan juga nilai R/X. Nilai ini digunakan untuk menentukan total impedansi dari mesin tersebut.

$$X_m = \frac{X_d}{746} \times \frac{V^2}{HP}, \quad (2.9)$$

(Lackovic, 2005)

dimana :

X_m = Impedansi motor

X_d = persentase impedansi motor pada gangguan 3 fasa (%)

V = tegangan sistem (V)

HP = *Active Power* dari motor (HP)

II.5 Matlab

Matlab merupakan sebuah singkatan dari Matrix Laboratory, yang pertama kali dikenalkan oleh University of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. software ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks. Saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkannya toolbox-toolbox yang sangat luar biasa. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain:

- 1) Perhitungan Matematika
- 2) Komputasi numerik
- 3) Simulasi dan pemodelan
- 4) Visualisasi dan analisis data
- 5) Pembuatan grafik untuk keperluan sains dan teknik
- 6) Pengembangan aplikasi, misalnya dengan memanfaatkan GUI.

Matlab dapat dipandang sebagai sebuah kalkulator dengan fitur yang lengkap. Kita pernah menggunakan kalkulator dengan fasilitas minimal, misalnya hanya terdapat fasilitas penambahan, pengurangan perkalian dan pembagian. Kalkulator yang lebih lengkap lagi adalah kalkulator scientific dimana fasilitas yang diberikan tidak hanya yang disebutkan di atas, melainkan sudah ada fungsi-fungsi trigonometri, bilangan kompleks, akar kuadrat dan logaritma. Matlab seperti dengan kalkulator tersebut, namun dengan fitur-fitur yang lengkap diantaranya dapat digunakan untuk memprogram, aplikasi berbasis GUI dan lengkap dengan toolbox yang dapat dimanfaatkan untuk memecahkan masalah sains dan teknik.

Matlab memberikan kemudahan bagi para pengguna untuk menemukan bantuan sehubungan dengan semua fasilitas yang diberikan oleh Matlab.

Misalnya, bantuan tentang bagaimana memulai Matlab pertama kali, trik pemrograman, membuat grafik 2 dan 3 dimensi, menggunakan tool akuisisi data, pengolahan, sinyal, penyelesaian persamaan diferensial parsial.

Untuk memperoleh bantuan tersebut, kita dapat memilih **MATLAB Menu** dari menu **Help**. Untuk bantuan tentang Matlab sendiri, dibagi atas beberapa bagian antara lain :

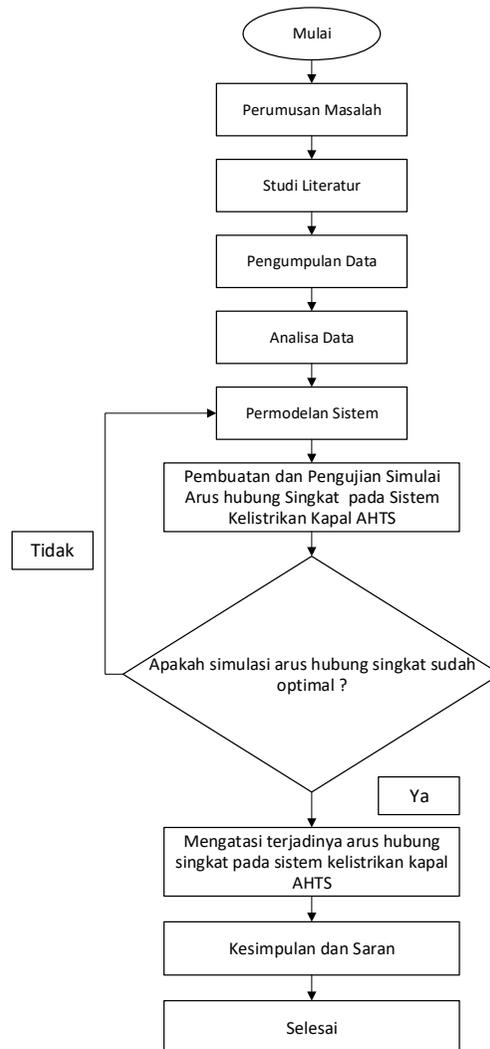
- **Development Environment**, bagian ini akan memberikan informasi yang lengkap mengenai desktop dari Matlab.
- **Mathematics**, bagian yang menjelaskan bagaimana menggunakan fitur yang dimiliki oleh Matlab untuk dalam mengolah data matematis dan statistik. Isi dalam bantuan ini dicakup antara lain: Matriks dan aljabar linier, polinomial dan interpolasi, analisis data dan statistik, fungsi function, matriks jarang (*sparse matrix*).
- **Programming and data type**, bagian ini menjelaskan bagaimana membuat script dan fungsi dengan menggunakan Matlab. Bantuan ini mencakup pemrograman M-File, larik, larik multidimensi, optimalisasi performance Matlab, tip pemrograman Matlab.
- **Graphics**, bagian ini menjelaskan tentang bagaimana membuat atau mengplot grafik dari data yang kita miliki. Yang termasuk dalam bagian ini antara lain, dasar-dasar pengeplotan, format grafik, membuat grafik khusus misalnya grafik dalam bentuk bar, histogram, contour dan lain-lain.
- **3-D Visualization**, bagian ini menjelaskan dengan tuntas bagaimana menampilkan data yang kita miliki dalam grafik 3 dimensi, termasuk didalamnya membuat grafik 3D, menentukan tampilan objek, transparansi objek, lighting dan lain-lain.
- **Creating Graphical User Interfaces**, bagian ini menjelaskan bagaimana kita dapat membuat GUI (Graphical User Interface) berbasis Matlab.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Umum

Dalam pembuatan skripsi ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahap demi tahap yang akan dilakukan dalam Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :



Gambar 8 Flowchart pengerjaan penelitian

1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai analisa arus hubung singkat pada sistem kelistrikan kapal AHTS akibat penggunaan thruster elektrik menggunakan metode simulasi software matlab

2. Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Dimana yang harus dilakukan pada tahap ini, adalah mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan juga mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membawa paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

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 single line diagram dari sistem kelistrikan thruster kapal AHTS
2. Data wiring diagram dari sistem kelistrikan thruster kapal AHTS
3. Data spesifikasi komponen kelistrikan thruster kapal AHTS
4. Data standar IEEE dan IEC

4. Analisa Data

Selanjutnya adalah pembuatan rangkaian sistem kelistrikan pada *software* simulasi sesuai dengan data *oneline diagram* yang telah diperoleh guna mengetahui keadaan awal dari sistem kelistrikan kapal yang dianalisa dan mengetahui besar beban kelistrikan pada kapal yang dianalisa.

5. Permodelan sistem

Pada tahap ini dilakukan permodelan dengan single line diagram pada *software* simulasi yang digunakan yaitu Matlab. Dilakukan proses gambar ulang sistem kelistrikan sesuai dengan kondisi riil pada kapal AHTS. Adanya data spesifikasi setiap komponen yang bekerja pada mode *dynamic positioning maneuver* akan membantu permodelan sesuai dengan kondisi riil.

6. Pembuatan dan Pengujian Simulasi Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS

Setelah dilakukan pembuatan permodelan rangkaian sistem kelistrikan pada software simulasi, kemudian melakukan simulasi arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat maksimum dan simulasi arus hubung singkat satu fasa sebagai nilai arus hubung singkat minimum. Jika pengujian dari simulasi ini berhasil, maka akan dilanjutkan ke tahap berikutnya. Apabila terjadi kegagalan dalam pengujian simulasi, maka dilakukan permodelan ulang pada sistem yang sebelumnya dibuat.

7. Mengatasi Terjadinya Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS

Pada tahap ini dilakukan proses menemukan solusi untuk mengatasi terjadinya arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal AHTS sesuai dengan hasil simulasi yang telah dibuat. Dari hasil simulasi akan diketahui, pada skenario dan variasi pembebanan *bow thruster* seberapa banyak yang terjadi arus hubung singkat dan dicari cara untuk mengatasi hal tersebut. Setelah didapatkan solusi untuk mengatasi arus hubung singkat pada sistem kelistrikan kapal AHTS tersebut, dilakukan analisa kembali apakah terjadi perubahan daripada hasil simulasi yang telah didapatkan.

8. Kesimpulan

Pada bagian kesimpulan berisi rangkuman hasil analisa dan jawaban dari rumusan masalah. Saran berisikan mengenai hal – hal yang perlu dikaji lebih lanjut mengenai tugas akhir ini maupun hal lain serupa yang ingin dikaji lebih lanjut untuk penelitian berikutnya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Data Utama Kapal

Pada bab ini penulis membahas analisa gangguan arus hubung singkat pada sistem kelistrikan Kapal AHTS BNI Castor akibat penggunaan thruster elektrik. Langkah awal yang dilakukan adalah membuat *one line diagram* pada software simulasi sesuai dengan data yang telah didapatkan dari perusahaan. One line diagram yang telah dibuat akan digunakan untuk melakukan simulasi hubungan singkat. Simulasi ini menjadi acuan dalam menentukan *circuit breaker* yang digunakan. Berikut ini adalah data utama Kapal AHTS BNI Castor.

Tipe Kapal	: Anchor Handling / Offshore Support Vessel
Nama Kapal	: AHTS BNI Castor
Class	: ABS
Tonnage Gross	: 1350
Deadweight	: 1678
LOA	: 59,25 m
B	: 14,95 m
H	: 6,15 m
T	: 4,95 m
Generator set	: diesel engine, Caterpillar C18 Alternator, Leroy Somer ARCB 592, Output: 350 kW
<i>Generator thruster</i>	: Shaft Alternator, Output: 800 kW
<i>Bow thruster</i>	: ABB Shanghai Motors co.,ltd, Output: 515 kW, Propeller speed : 475



Gambar 9 Kapal BNI Castor
(sumber : marinetraffic.com)

Untuk simulasi arus hubung singkat yang akan dibuat dalam software, terdapat 5 variasi scenario konfigurasi generator dengan beberapa variable daya pengoperasian *bow thruster*. Adapun 5 macam variasi scenario konfigurasi tersebut dijelaskan pada tabel 3 :

Tabel 4 Variasi pembebanan daya *bow thruster* dan konfigurasi suplai daya-beban listrik

Variasi	Suplai Daya	Beban Listrik	Variasi Daya	
			<i>Bow thruster 1</i>	<i>Bow thruster 2</i>
1	2 <i>Generator thruster</i>	2 <i>Bow thruster</i>	60% 100% 100% 110%	75% 80% 100% 110%
2	1 <i>Generator thruster (Split Plan)</i>	2 <i>Bow thruster</i>	40 % 50 % 60 %	40 % 50 % 60 %
3	2 <i>Generator thruster, 1 Diesel generator (Closed Bus)</i>	2 <i>Bow thruster</i> dan semua beban di kapal	60% 100% 100% 110%	75% 80% 100% 110%
4	2 <i>Generator thruster, 2 Diesel generator (Closed Bus)</i>	2 <i>Bow thruster</i> dan semua beban di kapal	60% 100% 100% 110%	75% 80% 100% 110%
5	1 <i>Generator thruster, 2 Diesel generator (Closed Bus)</i>	2 <i>Bow thruster</i> dan semua beban di kapal	75% 80% 85%	75% 80% 85%

IV.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data primer kelistrikan Kapal AHTS dengan sistem *dynamic positioning* yang diperoleh dari perusahaan PT.Bahtera Niaga Internasional, yang bergerak dalam bidang penyewaan kapal offshore supply vessel. Setelah data didapatkan, maka dilakukan perhitungan secara manual pada beberapa variasi untuk validasi hasil perhitungan simulasi yang nantinya akan didapatkan setelah menjalankan simulasi yang dibuat pada software.

Terdapat beberapa komponen beban listrik pada kapal AHTS BNI Castor, kemudian sumber suplai daya yang digunakan untuk mensuplai kebutuhan listrik di kapal serta kebutuhan listrik dua buah *bow thruster* pada kapal AHTS BNI Castor. Berikut merupakan spesifikasi teknis dari generator utama, *generator thruster* dan motor elektrik pada *bow thruster* di kapal AHTS BNI Castor.

Generator

Generator merupakan sebuah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah energy mekanik menjadi energi listrik yang memiliki fungsi mensuplai seluruh kebutuhan listrik di kapal serta juga memungkinkan sebagai sumber penggerak motor-motor listrik berkapasitas besar yang berguna untuk *bow thruster* maupun sistem propulsi kapal.

- a. *Generator thruster*, merupakan jenis generator yang mendapatkan suplai energy mekanik dari *main propulsion engine* suatu kapal. *Generator thruster* hanya dapat menghasilkan suplai listrik saat mesin utama kapal menyala karena generator bertipe *shaft generator* cara kerjanya dikopel dengan *shaft* dari *main propulsion engine*. pada Kapal AHTS BNI Castor terdapat dua buah *Generator thruster* yang memiliki fungsi utama untuk memberikan suplai daya menuju 2 buah *bow thruster*. Namun dari konfigurasi *single line diagram* Kapal AHTS BNI castor tersebut memungkinkan *Generator thruster* untuk dapat di fungsikan sebagai suplai daya beban listrik lainnya.

Berikut adalah spesifikasi dari *generator thruster* :

Tipe	: Shaft Alternator
Daya	: 800 kw
kVa	: 1000 kVa
Frekuensi	: 50 Hz
Putaran	: 1500 rpm
Tegangan	: 415 Volt
P.F	: 0,8

- b. Generator utama, pada Kapal AHTS BNI Castor generator utama menggunakan *diesel generator* konvensional dimana suplai energy mekanik di dapatkan dari mesin diesel konvensional. Terdapat dua buah generator utama yang di sambungkan pada dua bus menuju beban-beban listrik pada kapal. Untuk keadaan tertentu generator utama dapat diparalelkan dengan shaft generator atau generator utama lainnya untuk mensuplai daya pada thruster maupun beban listrik lain pada kapal AHTS BNI Castor.

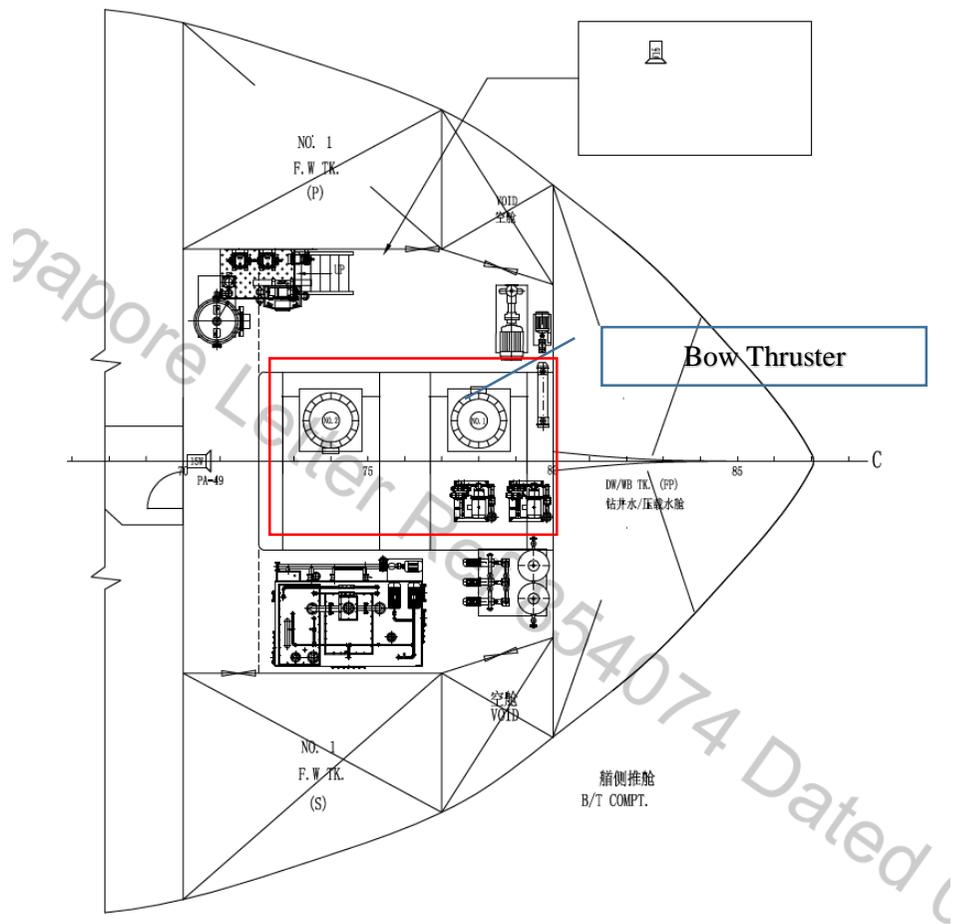
Berikut adalah spesifikasi dari Generator utama :

Merek	: LEROY SOMER
Tipe	: ARCB 592
Daya	: 350 kW
Frekuensi	: 50 Hz
P.F	: 0.8
Putaran	: 1500 rpm
Tegangan	: 415 Volt
KVA	: 438 kVA

Motor elektrik *bow thruster*

Motor elektrik berfungsi untuk merubah energy listrik menjadi energy mekanis. Terdapat dua buah motor elektrik terbesar yaitu penggerak *bow thruster* pada kapal AHTS BNI Castor yang mendapatkan suplai daya utama dari dua buah *shaft generator*. Berikut merupakan spesifikasi motor listrik untuk penggerak *bow thruster* :

Merek	: ABB Shanghai Motors co.,ltd
Tipe	: KT-72B3
Jenis	: Three phase Induction motor
Propeller speed	: 475 rpm
Input Shaft Speed	: 1450 rpm
Rated Power	: 515 kw
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan	: 415 Volt
Fase	: 3 Phase



Gambar 10 General Arrangement *Bow thruster* Compartment
(sumber : Interior Communication Equipment Arrangement, AHTS ship)

Pada gambar 10, *bow thruster* yang digunakan sebagai pendorong samping ditempatkan di saluran yang terletak di ujung depan kapal. Motor elektrik berfungsi untuk menggerakkan *bow thruster* diletakkan pada ruangan bernama *bow thruster compartment*. Peletakkan motor elektrik untuk thruster diposisikan di tempat yang kering dan berventilasi baik. Dalam gambar general arrangement di gambar 11, posisi pemasangan *bow thruster* tegak lurus terhadap sumbu kapal.

IV.2.1 Perhitungan Skenario 1

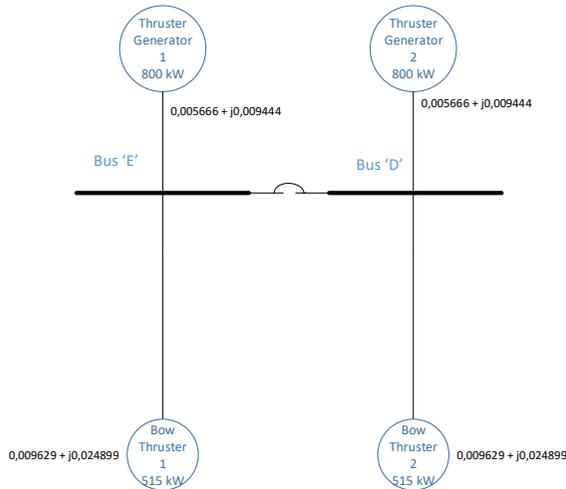
Pada skenario yang ke-1 ini, konfigurasi yang dipakai adalah 2 buah thruster generator dengan beban 2 *bow thruster* yang terpasang dikapal. Untuk variasi pembebanan *bow thruster* yang digunakan pada simulasi nantinya adalah 60%-75%,100-80%,100%-100%, dan 110%-110%. Skenario ini dijalankan dengan sumber listrik sebesar 2000 kVA, 415 kV.

Tabel 5 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 1

Assigned values		Calculated Values
kVAbase	kVbase (kV)	Ibase (A)
2000	0,415	2782,410936

Gambar 11 ini merupakan gambar sistem yang terdiri dari komponen-komponen yang digunakan pada skenario 1. Dari gambar tersebut dapat dilihat nilai impedansi dari masing-masing komponen pada rangkaian skenario 1. Gambar 11 disebut dengan diagram impedansi.

SKENARIO 1



Gambar 11 Diagram Impedansi Skenario 1

Diagram impedansi skenario 1 dibuat berdasarkan one line diagram jaringan listrik yang dimiliki kapal AHTS. Nilai impedansi didapatkan berdasarkan nilai estimasi perhitungan yang direkomendasikan oleh IEC (contoh mesin dan nilai impedansi terdapat pada IEC 60909-2). Dalam skenario ke-1 ini, Bus 'E' merupakan tempat terjadinya fault (gangguan).

Ketika telah ditentukan tempat terjadinya gangguan, selanjutnya dapat dihitung besar arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat terbesar dari skenario ini. Untuk nilai perhitungan impedansi semua komponen yang ada dalam diagram gambar 11, akan ditampilkan pada tabel 6.

Tabel 6 Nilai impedansi komponen skenario 1

Component	R	X	Z = R + jX
Thruster generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Thruster generator 2 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Bow thruster 1 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899
Bow thruster 2 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899

Komponen-komponen yang terdapat pada diagram skenario 1, setelah diketahui nilai impedansi dari masing-masing komponen tersebut, kemudian diselesaikan menjadi suatu nilai impedansi total sistem. Nilai impedansi total sistem ini digunakan untuk menghitung nilai arus hubung singkat tiga fasa dengan gangguan di Bus 'E'. Cara mendapatkan nilai total impedansi dengan menjumlahkan nilai total R dan X dari seluruh komponen yang digunakan pada skenario. Berikut ini adalah tabel 7 berisi impedansi total skenario 1.

Tabel 7 Nilai impedansi total skenario 1

Branch	R	X
Thruster generator 1	0,005666	0,009444
Thruster generator 2	0,005666	0,009444
BT 1 + BT 2	0,004814	0,01245
Total	0,016147	0,031337

$$Z_{net} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_{net} = 0,035252309$$

Setelah didapatkan nilai impedansi total skenario ke-1, dapat dihitung nilai arus hubung singkat simetris dengan lokasi gangguan di Bus ‘E’. Arus hubung singkat simetris dalam *low-voltage short circuits* sama dengan arus hubung singkat tiga fasa yang merupakan arus hubung singkat maksimal dalam suatu rangkaian listrik dengan tegangan rendah (Schlabach, 2005). Berikut adalah perhitungan nilai arus hubung singkat tiga fasa skenario ke-1.

$$I''k_3 = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \times Z_{sc}}$$

$$I''k_3 = \frac{1,1 \times 415}{\sqrt{3} \times 0,035252309}$$

$$I''k_3 = 7480,400 \text{ A}$$

$$I''k_3 = 7,480400 \text{ kA}$$

Nilai c sebesar 1,1 didapatkan dari tabel *voltage factor IEC 60909*. Dalam tabel *voltage factor IEC 60909* (tabel 8), untuk tegangan rendah, nilai c bernilai sebesar 1,1 untuk toleransi 10%. Nilai c sebesar 1,1 ini merupakan c_{max} digunakan untuk menghitung nilai arus hubung singkat tiga fasa. Perhitungan pada perhitungan selanjutnya juga menggunakan nilai c sebesar 1,1.

Di bawah ini adalah tabel faktor tegangan yang digunakan sebagai standar perhitungan IEC 60909.

Tabel 8 Voltage Factor for Calculation Short circuit IEC 60909 Standard

Nominal system voltage U_n	Voltage factor c for calculation of	
	Maximal short-circuit current, c_{max}	Minimal short-circuit current, c_{min}
LV: 100 V up to 1000 V (inclusive) (IEC 60038, Table 1)		
Voltage tolerance +6%	1.05	0.95
Voltage tolerance +10%	1.10	0.95

IV.2.2 Perhitungan Skenario 2

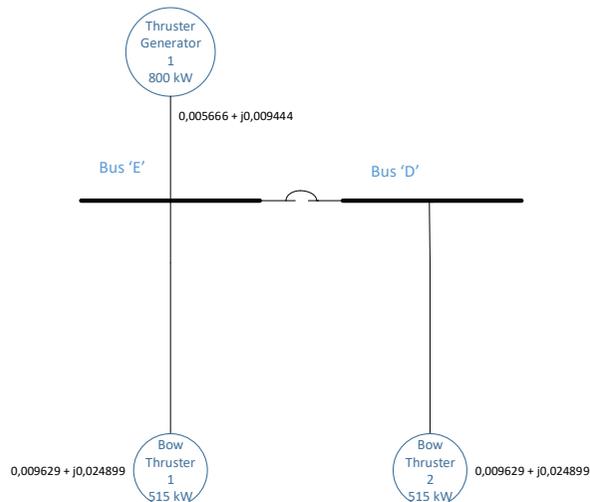
Pada skenario yang ke-2 ini, konfigurasi yang dipakai adalah 1 buah thruster generator dengan beban 2 *bow thruster* yang terpasang dikapal. Untuk variasi pembebanan *bow thruster* yang digunakan pada simulasi nantinya adalah 40%-40%,50-50%,60%-60%. Skenario ini dijalankan dengan sumber listrik sebesar 1000 kVA, 415 kV.

Tabel 9 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 1

Assigned values		Calculated Values
kVA _{base} (kVA)	kV _{base} (kV)	I _{base} (A)
1000	0,415	1391,205

Gambar 12 berikut ini merupakan gambar sistem yang terdiri dari komponen-komponen yang digunakan pada skenario 2, yaitu 1 thruster generator dan 2 motor *bow thruster*. Dari gambar di bawah ini dapat dilihat nilai impedansi dari masing-masing komponen pada rangkaian skenario 2.

SKENARIO 2



Gambar 12 Diagram Impedansi Skenario 2

Dalam skenario ke-2 ini, Bus 'E' merupakan tempat terjadinya fault (gangguan). Ketika telah ditentukan tempat terjadinya gangguan, selanjutnya dapat dihitung besar arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat terbesar dari skenario ini. Untuk nilai perhitungan impedansi semua komponen yang ada dalam diagram gambar 12, akan ditampilkan pada tabel 10.

Tabel 10 Nilai impedansi komponen skenario 2

Component	R	X	Z = R + jX
Thruster generator 1 $Xg = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF= 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Bow thruster 1 $Xm = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899
Bow thruster 2 $Xm = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899

Cara mendapatkan nilai total impedansi dari skenario 2 dengan menjumlahkan nilai total R dan X dari seluruh komponen yang digunakan pada skenario. Dalam sub-bab ini, perhitungan yang ditampilkan adalah pada saat pembebanan *bow thruster* 60%. Berikut adalah tabel impedansi total dan perhitungan arus hubung singkat tiga fasa skenario 2.

Tabel 11 Nilai impedansi total skenario 2

Branch	R	X
Thruster generator 1	0,005666	0,009444
BT 1 + BT 2	0,004814	0,01245
Total	0,010481	0,021893

$$Z_{net} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_{net} = 0,024272613$$

$$I''k_3 = \frac{c Un}{\sqrt{3} \times Zsc}$$

$$I''k_3 = \frac{1,1 \times 415}{\sqrt{3} \times 0,024272613}$$

$$I''k_3 = 7950,10553 \text{ A}$$

$$I''k_3 = 7,95010553 \text{ kA}$$

IV.2.3 Perhitungan Skenario 3

Pada skenario yang ke-3 ini, konfigurasi yang dipakai adalah 2 buah thruster generator dan 1 *diesel generator* dengan beban 2 *bow thruster* beserta 60% keseluruhan beban listrik yang terpasang dikapal. Untuk variasi pembebanan *bow thruster* yang digunakan pada simulasi nantinya adalah 60%-75%, 100-80%, 100%-100%, dan 110%-110%. Skenario ini dijalankan dengan sumber listrik sebesar 2438 kVA, 415 kV.

Tabel 12 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 3

Assigned values		Calculated Values
kVA _{base} (kVA)	kV _{base} (kV)	I _{base} (A)
2438	0,415	3391,758931

Gambar 13 berikut ini merupakan gambar sistem yang terdiri dari komponen-komponen yang digunakan pada skenario 3. Dari gambar di tersebut dapat dilihat nilai impedansi dari masing-masing komponen pada rangkaian skenario 3.

Dalam skenario ke-3 ini, Bus 'E' merupakan tempat terjadinya fault (gangguan). Ketika telah ditentukan tempat terjadinya gangguan, selanjutnya dapat dihitung besar arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat terbesar dari skenario ini. Untuk nilai perhitungan impedansi semua komponen yang ada dalam diagram gambar 13, akan ditampilkan pada tabel 13.

Tabel 13 Nilai impedansi komponen skenario 3

Component	R	X	Z = R + jX	
Thruster generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j	0,009444
Thruster generator 2 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j	0,009444
Bow thruster 1 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j	0,024899
Bow thruster 2 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j	0,024899
Diesel generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{0,438 \times 10^6}$	0,012937	0,021561	0,012937 + j	0,021561
F.W Pressure Pump $X_m = 22,31/746 \times 415^2/(0,938,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,89, R=13,12%	32,28701	54,9149	32,28701 + j	54,9149
S.W Pressure Pump $X_m = 22,31/746 \times 415^2/(0,938,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,53, R=13,12%	32,28701	54,9149	32,28701 + j	54,9149

B/T S.W Cooling Pump X _m = 22,62/746 x 415 ² /(0,804,1x100) R/X=0,59, %PF= 80,53, R=13,42%	38,53217	64,99287	38,53217	+ j	64,99287
B/T Compt Vent Fan X _m = 19,89/746 x 415 ² /(3,618,1x100) R/X=0,54, %PF= 84,12, R=19,89%	6,862345	12,69103	6,862345	+ j	12,69103
Misc. Vent Fan Load X _m = 19,89/746 x 415 ² /(3,618,1x100) R/X=0,54, %PF= 84,12, R=10,75%	0,627941	1,371329	0,627941	+ j	1,371329
D.M Pwr pack 1/2	0,121393	0,309001	0,121393	+ j	0,309001
D.M Pwr pack 2/2	0,121393	0,309001	0,121393	+ j	0,309001
E.R Vent Fan 1	1,536128	3,132427	1,536128	+ j	3,132427
Bilge Pump	7,169552	13,22499	7,169552	+ j	13,22499
F.O Separator	6,142833	11,43307	6,142833	+ j	11,43307
G.S/Fire Pump	6,862345	12,69103	6,862345	+ j	12,69103
D.M Pwr Pack Pilot					
Motor	2,691323	5,27755	2,691323	+ j	5,27755
CPP Hyd. Pack (P)	2,74543	5,376545	2,74543	+ j	5,376545
Hyd. Pack, Karm Fork	1,911293	3,836904	1,911293	+ j	3,836904
F.O TRF Pump	38,53217	64,99287	38,53217	+ j	64,99287
S/G Room Vent.	21,7366	37,71396	21,7366	+ j	37,71396
Sludge Pump	47,27535	78,9504	47,27535	+ j	78,9504
Deck Crane	1,940233	3,890925	1,940233	+ j	3,890925
Bilge Water Separator	17,4548	30,63449	17,4548	+ j	30,63449
A.C Cooling Pump					
Starter	1,332937	2,746137	1,332937	+ j	2,746137
CPP Hyd. Pack (S)	2,74543	5,376545	2,74543	+ j	5,376545

Cara mendapatkan nilai total impedansi dari skenario 3 dengan menjumlahkan nilai total R dan X dari seluruh komponen yang digunakan pada skenario. Dalam sub-bab ini, perhitungan yang ditampilkan adalah pada saat pembebanan *bow thruster* 100%. Berikut ini adalah tabel 14 berisi informasi impedansi total dan perhitungan arus hubung singkat tiga fasa skenario 3.

Tabel 14 Nilai impedansi total skenario 3

Branch	R	X
Branch 60% load	0,044564	0,106114
Branch 60% load +DG1	0,010026	0,01792
(Branch 60% load+DG1)+TG2	0,00362	0,006184
(Branch 60% load+DG1+TG2)+TG1	0,002209	0,003737
(Branch 60% load+DG1+TG2+TG1)+BT1+BT2	0,021467	0,053536
Total	0,021467	0,053536

$$Z_{net} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_{net} = 0,057679071$$

$$I''_{k3} = \frac{c Un}{\sqrt{3} x Z_{sc}} \quad , \text{ dengan } c = 1,1 \text{ untuk } 10\% \text{ toleransi}$$

$$I''_{k3} = \frac{1,1 x 415}{\sqrt{3} x 0,057679071}$$

$$I''_{k3} = 4569,428000 \text{ A}$$

$$I''_{k3} = 4,569428000 \text{ kA}$$

IV.2.4 Perhitungan Skenario 4

Pada skenario yang ke-4 ini, konfigurasi yang dipakai adalah 2 buah thruster generator dan 2 *diesel generator* dengan beban 2 *bow thruster* beserta 60% keseluruhan beban listrik yang terpasang dikapal. Untuk variasi pembebanan *bow thruster* yang digunakan pada simulasi nantinya adalah 60%-75%,100-80%,100%-100%, dan 110%-110%. Skenario ini dijalankan dengan sumber listrik sebesar 2876 kVA, 415 kV.

Tabel 15 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 4

Assigned values		Calculated Values
kVA _{base} (kVA)	kV _{base} (kV)	I _{base} (A)
2876	0,415	4001,106926

Gambar 14 berikut ini merupakan gambar sistem yang terdiri dari komponen-komponen yang digunakan pada skenario 4. Dari gambar 14, dapat dilihat nilai impedansi dari masing-masing komponen pada rangkaian skenario 4.

Dalam skenario ke-4 ini, Bus 'E' merupakan tempat terjadinya fault (gangguan). Ketika telah ditentukan tempat terjadinya gangguan, selanjutnya dapat dihitung besar arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat terbesar dari skenario ini. Untuk nilai perhitungan impedansi semua komponen yang ada dalam diagram gambar 14, akan ditampilkan pada tabel 16 berikut ini.

Tabel 16 Nilai impedansi komponen skenario 4

Component	R	X	Z = R + jX
Thruster generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Thruster generator 2 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Bow thruster 1 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899
Bow thruster 2 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899
Diesel generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{0,438 \times 10^6}$	0,012937	0,021561	0,012937 + j 0,021561
F.W Pressure Pump $X_m = 22,31/746 \times 415^2/(0,938,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,89, R=13,12%	32,28701	54,9149	32,28701 + j 54,9149
S.W Pressure Pump $X_m = 22,31/746 \times 415^2/(0,938,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,53, R=13,12%	32,28701	54,9149	32,28701 + j 54,9149

Diesel generator 2					
X_g					
$= \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{0,438 \times 10^6}$	0,012937	0,021561	0,012937 + j	0,021561	
B/T S.W Cooling Pump					
$X_m = 22,62/746 \times$ $415^2/(0,804,1 \times 100)$ $R/X=0,59, \%PF= 80,53,$ $R=13,42\%$	38,53217	64,99287	38,53217 + j	64,99287	
B/T Compt Vent Fan					
$X_m = 19,89/746 \times$ $415^2/(3,618,1 \times 100)$ $R/X=0,54, \%PF= 84,12,$ $R=19,89\%$	6,862345	12,69103	6,862345 + j	12,69103	
Misc. Vent Fan Load					
$X_m = 19,89/746 \times$ $415^2/(3,618,1 \times 100)$ $R/X=0,54, \%PF= 84,12,$ $R=10,75\%$	0,627941	1,371329	0,627941 + j	1,371329	
D.M Pwr pack 1/2	0,121393	0,309001	0,121393 + j	0,309001	
D.M Pwr pack 2/2	0,121393	0,309001	0,121393 + j	0,309001	
E.R Vent Fan 1	1,536128	3,132427	1,536128 + j	3,132427	
Bilge Pump	7,169552	13,22499	7,169552 + j	13,22499	
F.O Separator	6,142833	11,43307	6,142833 + j	11,43307	
G.S/Fire Pump	6,862345	12,69103	6,862345 + j	12,69103	
D.M Pwr Pack Pilot					
Motor	2,691323	5,27755	2,691323 + j	5,27755	
CPP Hyd. Pack (P)	2,74543	5,376545	2,74543 + j	5,376545	
Hyd. Pack, Karm Fork	1,911293	3,836904	1,911293 + j	3,836904	
F.O TRF Pump	38,53217	64,99287	38,53217 + j	64,99287	
S/G Room Vent.	21,7366	37,71396	21,7366 + j	37,71396	
Sludge Pump	47,27535	78,9504	47,27535 + j	78,9504	
Deck Crane	1,940233	3,890925	1,940233 + j	3,890925	
Bilge Water Separator	17,4548	30,63449	17,4548 + j	30,63449	
A.C Cooling Pump					
Starter	1,332937	2,746137	1,332937 + j	2,746137	
CPP Hyd. Pack (S)	2,74543	5,376545	2,74543 + j	5,376545	

Cara mendapatkan nilai total impedansi dari skenario 4 dengan menjumlahkan nilai total R dan X dari seluruh komponen yang digunakan pada skenario. Dalam sub-bab ini, perhitungan yang ditampilkan adalah pada saat pembebanan *bow thruster* 100%. Berikut adalah tabel 17 yang berisi impedansi total dan perhitungan arus hubung singkat tiga fasa skenario 4.

Tabel 17 Nilai impedansi total skenario 4

Branch	R	X
DG 1 + DG 2	0,006468	0,01078
(DG 1 + DG 2)+Branch 60%Lo	0,051032	0,116894
(DG 1 + DG 2+Branch 60%Lo)+BT2	0,0081	0,020527
(DG 1 + DG 2+Branch 60%Lo+BT2)+TG2	0,013767	0,029971
(DG 1 + DG 2+Branch 60%Lo+BT2+TG2)+TG1	0,004014	0,007181
DG 1 + DG 2+Branch 60%Lo+BT2+TG2+TG1+BT1	0,013643	0,029817
Total	0,013643	0,029817

$$Z_{net} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_{net} = 0,032789642$$

$$I''_{k3} = \frac{c Un}{\sqrt{3} x Z_{sc}}, \text{ dengan } c = 1,1 \text{ untuk } 10\% \text{ toleransi}$$

$$I''_{k3} = \frac{1,1 x 415}{\sqrt{3} x 0,032789642}$$

$$I''_{k3} = 8037,91619 \text{ A}$$

$$I''_{k3} = 8,03791619 \text{ kA}$$

IV.2.5 Perhitungan Skenario 5

Pada skenario yang ke-5 ini, konfigurasi yang dipakai adalah 1 buah thruster generator dan 2 *diesel generator* dengan beban 2 *bow thruster* beserta 60% keseluruhan beban listrik yang terpasang dikapal. Untuk variasi pembebanan *bow thruster* yang digunakan pada simulasi nantinya adalah 75%-75%, 80%-80%, 85%-85% Skenario ini dijalankan dengan sumber listrik sebesar 1876 kVA, 415 kV.

Tabel 18 Nilai kVA, voltage, dan arus sumber listrik skenario 4

Assigned values		Calculated Values
kVA _{base} (kVA)	kV _{base} (kV)	I _{base} (A)
1876	0,415	2609,901458

Gambar 15 di bawah ini merupakan gambar sistem yang terdiri dari komponen-komponen yang digunakan pada skenario 5. Dari gambar 15 di berikut ini dapat dilihat nilai impedansi dari masing-masing komponen pada rangkaian skenario 5.

Dalam skenario ke-5 ini, Bus 'E' merupakan tempat terjadinya fault (gangguan). Ketika telah ditentukan tempat terjadinya gangguan, selanjutnya dapat dihitung besar arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat terbesar dari skenario ini. Untuk nilai perhitungan impedansi semua komponen yang ada dalam diagram gambar 15, akan ditampilkan pada tabel 19 berikut ini.

Tabel 19 Nilai impedansi komponen skenario 5

Component	R	X	Z = R + jX
Thruster generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Thruster generator 2 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{1 \times 10^6}$ R/X=0,6, %PF = 0,8, R=3,29%	0,005666	0,009444	0,005666 + j 0,009444
Bow thruster 1 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899
Bow thruster 2 $X_m = 7,44/746 \times 415^2/(690,1 \times 100)$ R/X=0,39, %PF= 92,22, R=2,88%	0,009629	0,024899	0,009629 + j 0,024899
Diesel generator 1 $X_g = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{0,438 \times 10^6}$	0,012937	0,021561	0,012937 + j 0,021561
F.W Pressure Pump $X_m = 22,31/746 \times 415^2/(0,938,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,89, R=13,12%	32,28701	54,9149	32,28701 + j 54,9149
S.W Pressure Pump $X_m = 22,31/746 \times 415^2/(0,938,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,53, R=13,12%	32,28701	54,9149	32,28701 + j 54,9149

Diesel generator 2 $Xg = \frac{5,483}{100} \times \frac{(0,415 \times 10^3)^2}{0,438 \times 10^6}$	0,012937	0,021561	0,012937 + j	0,021561
B/T S.W Cooling Pump $Xm = 22,62/746 \times 415^2/(0,804,1 \times 100)$ R/X=0,59, %PF= 80,53, R=13,42%	38,53217	64,99287	38,53217 + j	64,99287
B/T Compt Vent Fan $Xm = 19,89/746 \times 415^2/(3,618,1 \times 100)$ R/X=0,54, %PF= 84,12, R=19,89%	6,862345	12,69103	6,862345 + j	12,69103
Misc. Vent Fan Load $Xm = 19,89/746 \times 415^2/(3,618,1 \times 100)$ R/X=0,54, %PF= 84,12, R=10,75%	0,627941	1,371329	0,627941 + j	1,371329
D.M Pwr pack 1/2	0,121393	0,309001	0,121393 + j	0,309001
D.M Pwr pack 2/2	0,121393	0,309001	0,121393 + j	0,309001
E.R Vent Fan 1	1,536128	3,132427	1,536128 + j	3,132427
Bilge Pump	7,169552	13,22499	7,169552 + j	13,22499
F.O Separator	6,142833	11,43307	6,142833 + j	11,43307
G.S/Fire Pump	6,862345	12,69103	6,862345 + j	12,69103
D.M Pwr Pack Pilot Motor	2,691323	5,27755	2,691323 + j	5,27755
CPP Hyd. Pack (P)	2,74543	5,376545	2,74543 + j	5,376545
Hyd. Pack, Karm Fork	1,911293	3,836904	1,911293 + j	3,836904
F.O TRF Pump	38,53217	64,99287	38,53217 + j	64,99287
S/G Room Vent.	21,7366	37,71396	21,7366 + j	37,71396
Sludge Pump	47,27535	78,9504	47,27535 + j	78,9504
Deck Crane	1,940233	3,890925	1,940233 + j	3,890925
Bilge Water Separator	17,4548	30,63449	17,4548 + j	30,63449
A.C Cooling Pump Starter	1,332937	2,746137	1,332937 + j	2,746137
CPP Hyd. Pack (S)	2,74543	5,376545	2,74543 + j	5,376545

Cara mendapatkan nilai total impedansi dari skenario 5 dengan menjumlahkan nilai total R dan X dari seluruh komponen yang digunakan pada skenario. Dalam sub-bab ini, perhitungan yang ditampilkan adalah pada saat pembebanan *bow thruster* 100%. Berikut adalah tabel 20 berisi impedansi total dan perhitungan arus hubung singkat tiga fasa skenario 5.

Tabel 20 Nilai impedansi total skenario 4

Branch	R	X
DG 1 + DG 2	0,006468	0,01078
(DG 1 + DG 2)+L60%	0,051032	0,116894
(DG 1 + DG 2+L60%)+BT2	0,0081	0,020527
(DG 1 + DG 2+L60%+BT2)+BT1	0,004399	0,011251
(DG 1 + DG 2+L60%+BT2+BT1)+TG1	0,010066	0,020695
Total	0,010066	0,020695

$$Z_{net} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z_{net} = 0,023012006$$

$$I''_{k3} = \frac{c Un}{\sqrt{3} x Z_{sc}}, \text{ dengan } c = 1,1 \text{ untuk } 10 \% \text{ toleransi}$$

$$I''_{k3} = \frac{1,1 x 415}{\sqrt{3} x 0,023012006}$$

$$I''_{k3} = 11452,67141 \text{ A}$$

$$I''_{k3} = 11,45267141 \text{ kA}$$

IV.3 Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Kapal AHTS dengan Program Matlab

Simulasi gangguan hubung singkat kapal AHTS ini dilakukan dengan program Matlab. Setelah melakukan proses perhitungan untuk kelima skenario yang telah ditetapkan, selanjutnya dilakukan proses perancangan bahasa program ke dalam aplikasi pemrograman yang digunakan. Rumus-rumus yang ada pada perhitungan tentunya akan dimasukkan ke dalam Bahasa pemrograman untuk mendapatkan hasil simulasi. Simulasi dimulai dengan menentukan cabang mana yang mengalami gangguan hubung singkat. Penempatan gangguan hubung singkat untuk kapal AHTS ini ada pada Bus 'E', di mana bus tersebut merupakan bus utama yang dekat dengan sumber listrik. Simulasi dilakukan dengan tujuan mengetahui besar arus gangguan hubung singkat yang akan terjadi di tempat gangguan.

Berdasarkan pada buku IEEE Violet, arus hubung singkat pada sistem kelistrikan bertegangan rendah (*low voltage system* : sistem kelistrikan dengan besar tegangan dari 100 V hingga 1000 V) merupakan arus hubung singkat jauh dari generator (*far from generator short circuit*). Jenis *short circuit* ini, besar komponen AC simetrikal dari prospektif arus gangguan pada dasarnya memiliki nilai konstan terhadap waktu.

Tegangan internal mengalami konstan, sementara impedansi tidak mengalami perubahan terhadap waktu (MacDowell and Davis, 2006). Oleh karena itu, untuk simulasi ini, output akhir yang dihasilkan adalah besar arus hubung singkat tiga fasa sebagai arus hubung singkat maksimal sesuai dengan besar tegangan pada sistem kelistrikan ini (Schlabach, 2005). Pada gambar 16, dapat dilihat tampilan pemrograman untuk simulasi arus hubung singkat 3 fasa pada kapal AHTS BNI Castor.

```

% Perhitungan arus hubung singkat (Isc)

bV = 0.415; %baseVoltage (kV)
V = bV*(10^3);
bPtg = 1; %basePower generator thruster(MVA)
bkVAatg = bPtg*(10^3); %kVA
Ptg = bPtg*(10^6);
bPdg = 0.438; %basePower diesel generator(MVA)
bkVAadg = bPdg*(10^3); %kVA
Pdg = bPdg*(10^6);
% bP = 1000; %basePower (kVA)

RperXgen = 0.05;
RperXbow = 0.18;
RperXkap = 0;
Xdgen = 19; %
Xdbow = 16.41625; %
HP = 690.1;

% EQUIPMENT
% 1. Thruster Generator 1
X1 = (Xdgen/100)*((V^2)/Ptg);
R1 = X1*RperXgen;
% 2. Thruster Generator 2
X2 = (Xdgen/100)*((V^2)/Ptg);
R2 = X2*RperXgen;
% 3. Diesel Generator 1
X3 = (Xdgen/100)*((V^2)/Pdg);
R3 = X3*RperXgen;

```

Gambar 16 Tampilan pemrograman pada simulasi arus hubung singkat kapal AHTS

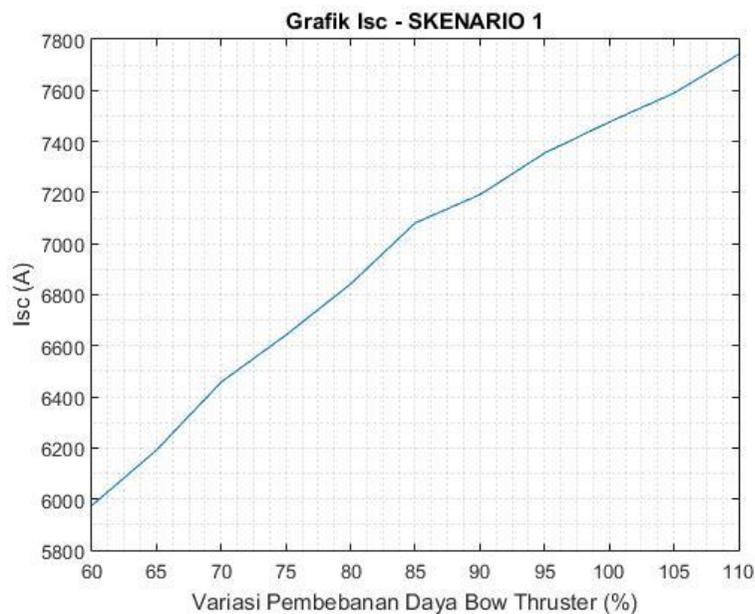
IV.3.1 Hasil Simulasi Skenario 1

Dalam skenario 1, terdapat konfigurasi sistem kelistrikan :

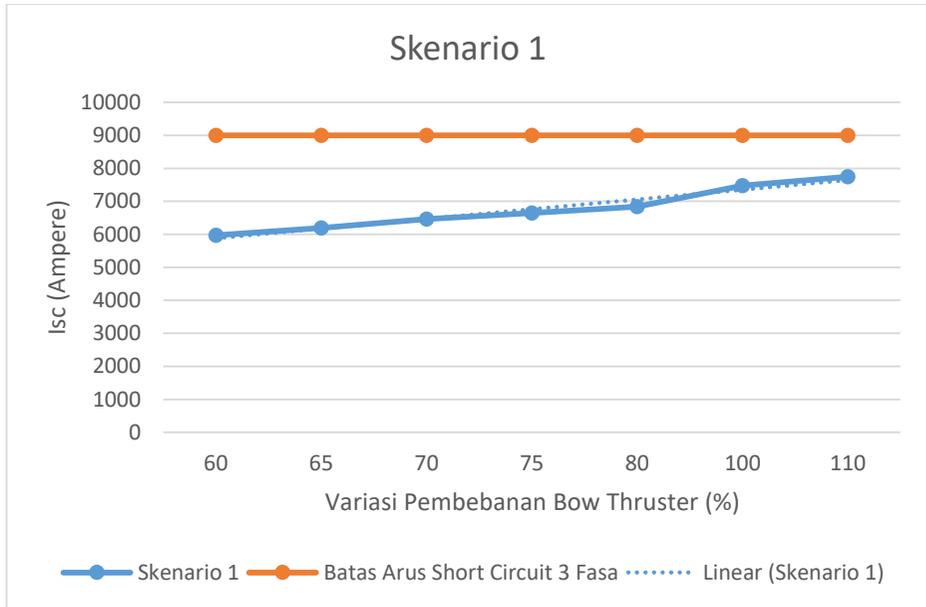
1. Suplai daya : 2 buah thruster generator (thruster generator 1 dan thruster generator 2)
2. Beban : 2 buah *bow thruster* (*bow thruster* 1 dan *bow thruster* 2).

Konfigurasi sistem kelistrikan ini dijalankan dengan berbagai macam variasi pembebanan untuk *bow thruster* 1 dan 2, dari rentang 60% hingga 110%. Digunakan pembebanan maksimal pada *bow thruster* sebesar 110% ini bertujuan untuk mengetahui apabila *bow thruster* beroperasi di daya output lebih dari 100%, bisa diketahui besar nilai arus hubung singkat yang terjadi dan apakah nilai tersebut sudah mencapai batas besar arus terjadinya short circuit pada kelistrikan bertegangan rendah atau bahkan nilainya melebihi batas tersebut.

Berikut pada grafik 1 dan 2, dapat dilihat hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus hubung singkat skenario 1 dengan berbagai variasi pembebanan *bow thruster*.



Grafik 1 Grafik hasil simulasi matlab skenario 1 (konfigurasi 2 generator thruster dengan beban 2 bow thruster)



Grafik 2 Grafik hasil simulasi skenario 1

Dari grafik yang dihasilkan pada simulasi skenario 1 yang ditampilkan pada grafik 1, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya *bow thruster* atau semakin besar nilai variasi pembebanan pada *bow thruster*, maka semakin besar pula nilai arus hubung singkat tiga fasa. Sebagai contoh, pada variasi pembebanan *bow thruster* sebesar 70%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan sebesar 6.458,2 A atau 6,458 kA. Jika kita bandingkan dengan variasi pembebanan *bow thruster* di 85% daya, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 7.081A atau 7,081 kA, maka ini berarti bahwa nilai arus hubung singkat tiga fasa nilainya berbanding lurus dengan nilai variasi pembebanan daya *bow thruster*.

Pada variasi pembebanan 100%, dari hasil simulasi skenario 1 pada grafik 1, dihasilkan nilai arus hubung singkat 3 fasa sebesar 7.476,4 A atau 7,476 kA. Jika nilai hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil perhitungan manual skenario 1 pada sub bab IV.2.1 (pada halaman 40), terdapat perbedaan sebesar 0,05%, dengan nilai hasil perhitungan manual skenario lebih besar dari nilai hasil simulasi. Untuk besar nilai hasil perhitungan manual skenario sesuai dengan sub bab IV.2.1 adalah 7480,400 A atau 7,4804 kA.

Berdasarkan penelitian yang dibuat oleh Ismail Kasikci mengenai analisa arus hubung singkat pada tegangan rendah dengan standar perhitungan IEC 60909, ditentukan bahwa gangguan hubung singkat tiga fasa akan terjadi ketika arus hubung singkat tiga fasa atau arus hubung singkat maksimal yang tercipta sebesar 9 kA atau 9.000 A pada sistem kelistrikan yang memiliki tegangan dari 100 V hingga 1000 V (Kasikci, 2002b). Untuk skenario 1 ini, nilai arus hubung singkat tiga fasa pada pembebanan *bow thruster* sebesar 110% sebagai nilai terbesar pada skenario ini adalah 7.741,3 A atau 7,741 kA. Nilai tersebut masih berada di bawah standar nilai arus terjadinya *short circuit low voltage*. Untuk nilai arus hubung singkat pada pembebanan *bow thruster* di bawah 110%, semuanya juga dibawah standar terjadinya arus hubung singkat tiga fasa listrik tegangan rendah.

Tabel 21 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 1

Perbandingan Suplai Daya dan Beban yang Digunakan
Skenario 1

Suplai daya		Beban	
Komponen	kW	Komponen	kW
Thruster Generator 1	800	Motor <i>Bow thruster</i> 1	515
Thruster Generator 2	800	Motor <i>Bow thruster</i> 2	515
Total suplai daya	1600	Total beban	1030

Perbandingan suplai daya dan beban

Total suplai daya : total beban = 1,533398058

Margin suplai daya

Total suplai daya - total beban = 570 kW

Tabel 21, merupakan tabel perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 1. Besar keseluruhan suplai daya yang digunakan pada skenario 1 ini adalah 1600 kW. Untuk total nilai beban yang digunakan pada skenario ini adalah 1030 kW. Dari hasil perbandingan dari suplai daya dan beban yang digunakan, diperoleh nilai sebesar 1,533. Nilai ini menunjukkan bahwa daya yang menyuplai sistem kelistrikan lebih besar dari total keseluruhan beban yang digunakan pada skenario ini. Nilai margin suplai daya pada skenario 1 adalah 570 kW. Jika dilihat dari perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 1 ini, hal ini sesuai dengan nilai arus hubung singkat yang dihasilkan dari berbagai variasi pembebanan motor *bow thruster*.

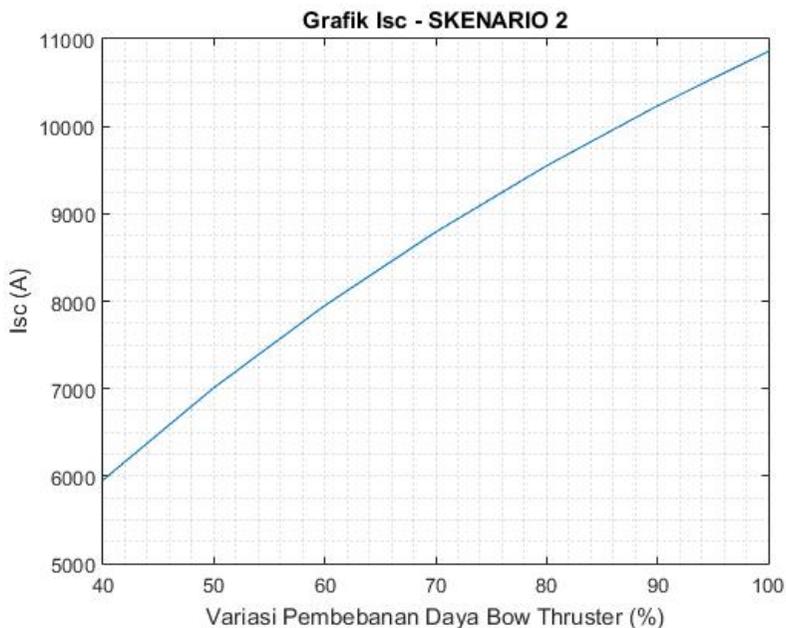
Sesuai simulasi arus hubung singkat pada grafik 2, dari pembebanan 60% hingga 110%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan kurang dari 9.000 kA. Ini berarti bahwa pembebanan motor *bow thruster* yang dilaksanakan lebih dari 100%, tidak terjadi gangguan karena margin suplai daya yang ada mampu untuk menjalankan kedua motor *bow thruster* lebih dari 100%.

IV.3.2 Hasil Simulasi Skenario 2

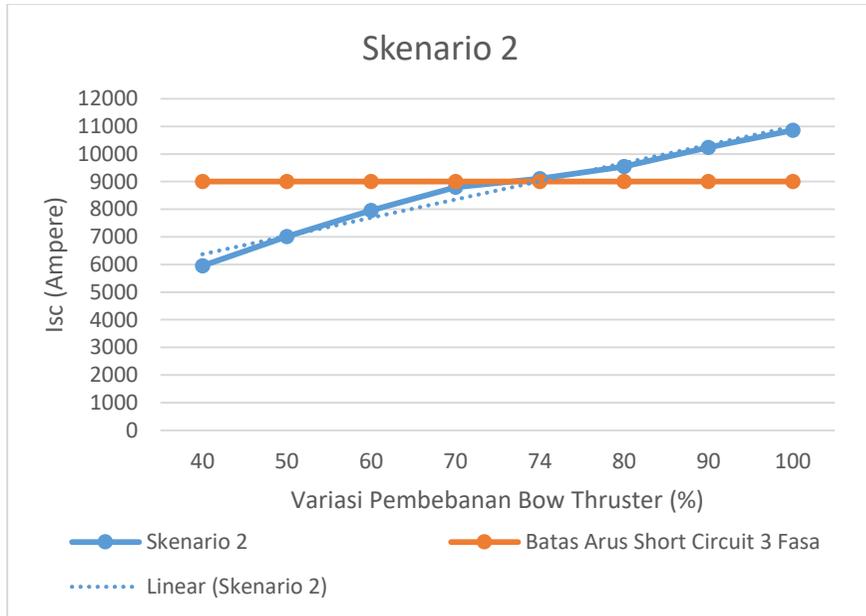
Pada skenario 2 ini, terdapat konfigurasi sistem kelistrikan :

1. Suplai daya : 1 buah thruster generator (thruster generator 1)
2. Beban : 2 buah *bow thruster* (*bow thruster* 1 dan *bow thruster* 2).

Konfigurasi sistem kelistrikan ini dijalankan dengan berbagai macam variasi pembebanan untuk *bow thruster* 1 dan 2, dari rentang 40% hingga 100%. Berikut pada grafik 3 dan 4, dapat dilihat hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus hubung singkat skenario 2 dengan berbagai variasi pembebanan *bow thruster*.



Grafik 3 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 2 (konfigurasi 1 generator thruster dengan beban 2 bow thruster)



Grafik 4 Grafik hasil simulasi skenario 1

Pada grafik yang dihasilkan pada simulasi skenario 2 yang ditampilkan di grafik 1, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya *bow thruster* atau semakin besar nilai variasi pembebanan pada *bow thruster*, maka semakin besar pula nilai arus hubung singkat tiga fasa. Sebagai contoh, pada variasi pembebanan *bow thruster* sebesar 50%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan sebesar 7.010 A atau 7,01 kA. Jika kita bandingkan dengan variasi pembebanan *bow thruster* di 60% daya, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 7.950 A atau 7,95 kA, maka ini berarti bahwa nilai arus hubung singkat tiga fasa nilainya berbanding lurus dengan nilai variasi pembebanan daya *bow thruster*.

Pada variasi pembebanan 60%, dari hasil simulasi skenario 2 pada graik 1, dihasilkan nilai arus hubung singkat 3 fasa sebesar 7.951,10 A atau 7,951 kA. Jika nilai hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil perhitungan manual skenario 2 pada sub bab IV.2.2 (pada halaman 42), terdapat perbedaan sebesar 0,0125%, dengan nilai hasil perhitungan manual skenario lebih kecil dari nilai hasil simulasi. Untuk besar nilai hasil perhitungan manual skenario sesuai dengan sub bab IV.2.2 adalah 7950,10553 A atau 7,95010 kA.

Untuk skenario 2 ini, nilai arus hubung singkat tiga fasa pada pembebanan *bow thruster* sebesar 100% sebagai nilai terbesar pada skenario ini adalah 10.858 A atau 10,858 kA. Nilai tersebut sudah di atas nilai standar terjadinya *short circuit* low voltage sebesar 9.000 A atau 9,0 kA. Bahkan pada pembebanan *bow thruster* sebesar 74%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi sudah mencapai standar sebesar 9,030 A atau 9,03 kA. Untuk nilai arus hubung singkat pada pembebanan *bow thruster* di bawah 74%, semuanya di bawah standar nilai arus terjadinya arus hubung singkat tiga fasa listrik tegangan rendah.

Tabel 22 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 2

Perbandingan Suplai Daya dan Beban yang Digunakan
Skenario 2

Suplai daya		Beban	
Komponen	kW	Komponen	kW
Thruster Generator 1	800	Motor <i>Bow thruster</i> 1	515
		Motor <i>Bow thruster</i> 2	515
Total suplai daya	800	Total beban	1030

Perbandingan beban dan suplai daya

Total suplai daya : total beban = 0,776699029

Margin suplai daya

Total suplai daya - total beban = -230 kW

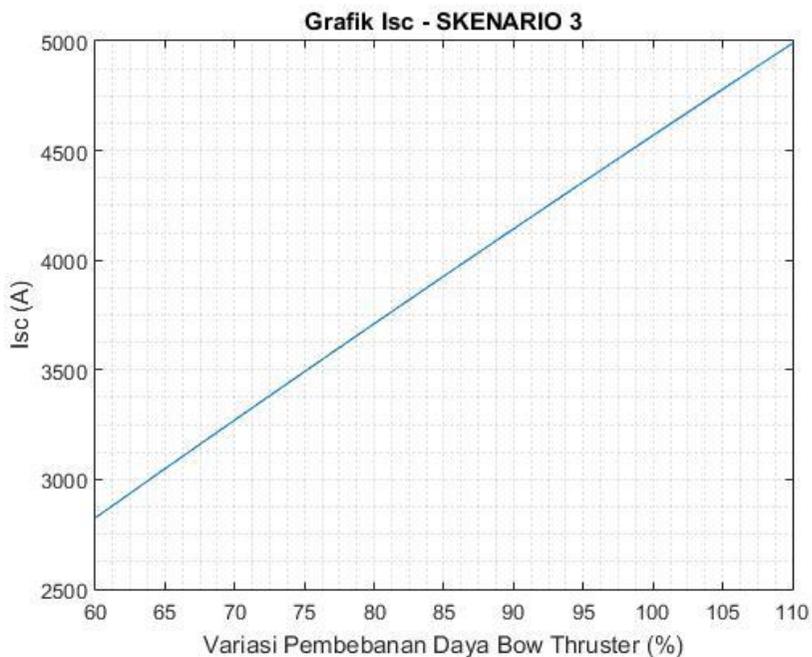
Tabel 22, merupakan tabel perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 2. Besar keseluruhan suplai daya yang digunakan pada skenario 1 ini adalah 800 kW. Untuk total nilai beban yang digunakan pada skenario ini adalah 1030 kW. Dari hasil perbandingan dari suplai daya dan beban yang digunakan, diperoleh nilai sebesar 0,77. Nilai ini menunjukkan bahwa daya yang menyuplai sistem kelistrikan lebih kecil dari total keseluruhan beban yang digunakan pada skenario ini. Nilai margin suplai daya pada skenario 2 adalah -230 kW. Jika dilihat dari perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 2 ini, hal ini sesuai dengan nilai arus hubung singkat yang dihasilkan dari berbagai variasi pembebanan motor *bow thruster*. Sesuai simulasi arus hubung singkat pada gambar 19b, dari pembebanan 60% hingga 74%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan kurang dari 9.000 kA. Namun ketika pembebanan lebih dari 74%, maka nilai arus hubung singkat akan lebih dari 9 kA. Ini berarti bahwa pembebanan motor *bow thruster* yang dilaksanakan lebih dari 74%, akan terjadi gangguan karena margin suplai daya yang ada tidak mampu untuk menjalankan kedua motor *bow thruster* pada pembebanan tersebut.

IV.3.3 Hasil Simulasi Skenario 3

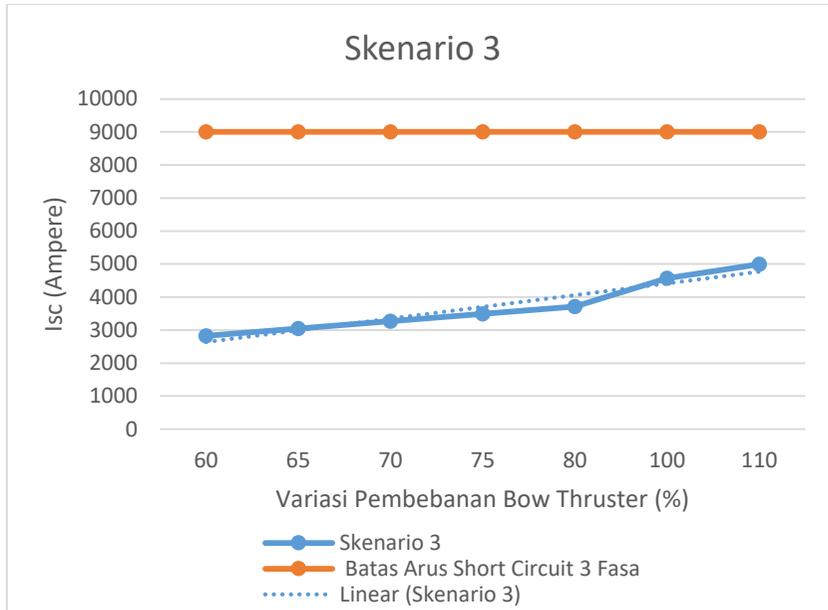
Pada skenario 3 ini , terdapat konfigurasi sistem kelistrikan :

1. Suplai daya : 2 buah thruster generator (thruster generator 1 dan 2), 1 buah *diesel generator*
2. Beban : 2 buah *bow thruster* (*bow thruster* 1 dan *bow thruster* 2) dan 60% beban kapal.

Konfigurasi sistem kelistrikan ini dijalankan dengan berbagai macam variasi pembebanan untuk *bow thruster* 1 dan 2, dari rentang 60% hingga 110%. Berikut pada grafik 5 dan 6, dapat dilihat hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus hubung singkat skenario 3 dengan berbagai variasi pembebanan *bow thruster*.



Grafik 5 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 3 (konfigurasi 2 *generator thruster* dan 1 *diesel generator* dengan beban 2 *bow thruster* beserta 60% beban kapal)



Grafik 6 Grafik hasil simulasi skenario 3

Pada grafik yang dihasilkan pada simulasi skenario 3 yang ditampilkan di grafik 5, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya *bow thruster* atau semakin besar nilai variasi pembebanan pada *bow thruster*, maka semakin besar pula nilai arus hubung singkat tiga fasa. Sebagai contoh, pada variasi pembebanan *bow thruster* sebesar 70%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan sebesar 3.271 A atau 3,271 kA. Jika kita bandingkan dengan variasi pembebanan *bow thruster* di 80% daya, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 3.710,7 A atau 3,711 kA, maka ini berarti bahwa nilai arus hubung singkat tiga fasa nilainya berbanding lurus dengan nilai variasi pembebanan daya *bow thruster*.

Pada variasi pembebanan 100%, dari hasil simulasi skenario 3 pada grafik 5, dihasilkan nilai arus hubung singkat 3 fasa sebesar 4569,428000 A atau 4,569 kA. Jika nilai hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil perhitungan manual skenario 3 pada sub bab IV.2.3 (pada halaman 47), terdapat perbedaan sebesar 8%, dengan nilai hasil perhitungan manual skenario lebih besar dari nilai hasil simulasi. Untuk besar nilai hasil perhitungan manual skenario sesuai dengan sub bab IV.2.3 adalah 4.989,3 A atau 4,989 kA.

Untuk skenario 3 ini, nilai arus hubung singkat tiga fasa pada pembebanan *bow thruster* sebesar 110% sebagai nilai terbesar pada skenario ini adalah 4.989 A atau 4,989 kA. Nilai tersebut masih di bawah standar terjadinya *short circuit* low voltage sebesar 9.000 A atau 9,0 kA. Untuk nilai arus hubung singkat pada pembebanan *bow thruster* di bawah 110%, semuanya di bawah standar nilai arus terjadinya arus hubung singkat tiga fasa listrik tegangan rendah.

Tabel 23 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 3

Perbandingan Suplai Daya dan Beban yang Digunakan
Skenario 3

Suplai daya		Beban	
Komponen	kW	Komponen	kW
Thruster Generator 1	800	Motor <i>Bow thruster</i> 1	515
Thruster Generator 2	800	Motor <i>Bow thruster</i> 2	515
<i>Diesel generator</i> 1	350	Beban kapal 60%	267,6
Total suplai daya	1950	Total beban	1297,6

Perbandingan beban dan suplai daya

Total suplai daya : total beban = 1,502774353

Margin suplai daya

Total suplai daya - total beban = 652,4 kW

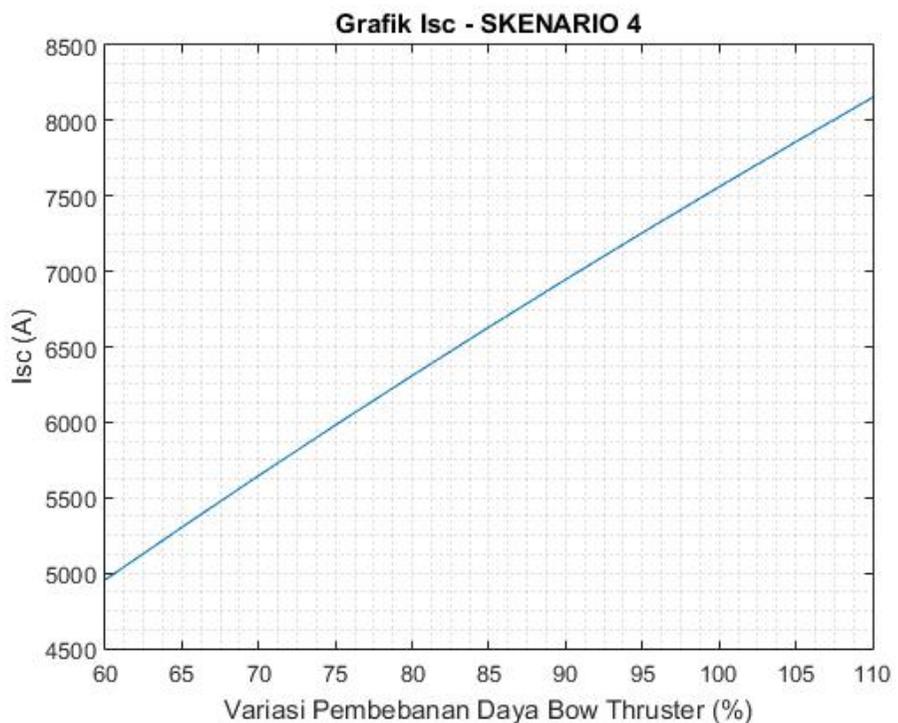
Tabel 23, merupakan tabel perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 3. Besar keseluruhan suplai daya yang digunakan pada skenario 1 ini adalah 1950 kW. Untuk total nilai beban yang digunakan pada skenario ini adalah 1297,6 kW. Dari hasil perbandingan dari suplai daya dan beban yang digunakan, diperoleh nilai sebesar 1,50. Nilai ini menunjukkan bahwa daya yang menyuplai sistem kelistrikan lebih besar dari total keseluruhan beban yang digunakan pada skenario ini. Nilai margin suplai daya pada skenario 3 adalah 652,4 kW. .Jika dilihat dari perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 3 ini, hal ini sesuai dengan nilai arus hubung singkat yang dihasilkan dari berbagai variasi pembebanan motor *bow thruster*. Sesuai simulasi arus hubung singkat pada grafik 6, dari pembebanan 60% hingga 110%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan kurang dari 9.000 kA. Ini berarti bahwa pembebanan motor *bow thruster* yang dilaksanakan lebih dari 100%, tidak terjadi gangguan karena margin suplai daya yang ada mampu untuk menjalankan kedua motor *bow thruster* lebih dari 100%.

IV.3.4 Hasil Simulasi Skenario 4

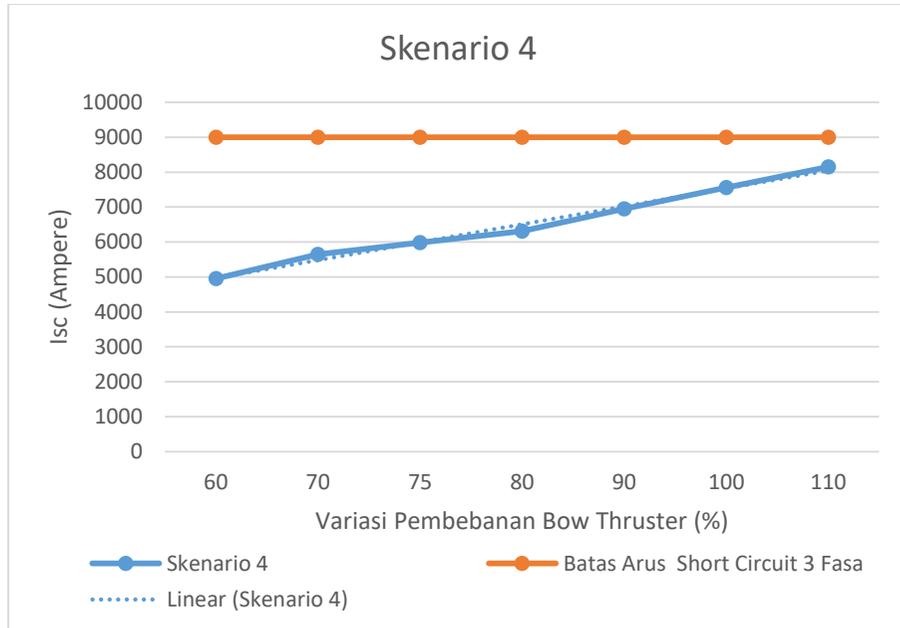
Dari skenario 4 ini , terdapat konfigurasi sistem kelistrikan :

1. Suplai daya : 2 buah thruster generator (thruster generator 1 dan 2), 2 buah *diesel generator*
2. Beban : 2 buah *bow thruster* (*bow thruster* 1 dan *bow thruster* 2) dan 60% beban kapal.

Konfigurasi sistem kelistrikan ini dijalankan dengan berbagai macam variasi pembebanan untuk *bow thruster* 1 dan 2, dari rentang 60% hingga 110%. Berikut pada grafik 7 dan 8, dapat dilihat hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus hubung singkat skenario 4 dengan berbagai variasi pembebanan *bow thruster*.



Grafik 7 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 4 (konfigurasi 2 *generator thruster* dan 2 *diesel generator* dengan beban 2 *bow thruster* beserta 60% beban kapal)



Grafik 8 Grafik hasil simulasi skenario 4

Dari grafik yang dihasilkan pada simulasi skenario 4 yang ditampilkan di grafik 7, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya *bow thruster* atau semakin besar nilai variasi pembebanan pada *bow thruster*, maka semakin besar pula nilai arus hubung singkat tiga fasa. Sebagai contoh, pada variasi pembebanan *bow thruster* sebesar 65%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan sebesar 5.304 A atau 5,304 kA. Jika kita bandingkan dengan variasi pembebanan *bow thruster* di 80% daya, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 6.308 A atau 6,308 kA, maka ini berarti bahwa nilai arus hubung singkat tiga fasa nilainya berbanding lurus dengan nilai variasi pembebanan daya *bow thruster*.

Untuk skenario 4 ini, nilai arus hubung singkat tiga fasa pada pembebanan *bow thruster* sebesar 110% sebagai nilai terbesar pada skenario ini adalah 8.150 A atau 8,15 kA. Nilai tersebut masih di bawah standar terjadinya *short circuit* low voltage sebesar 9.000 A atau 9,0 kA. Untuk nilai arus hubung singkat pada pembebanan *bow thruster* di bawah 110%, semuanya dibawah standar terjadinya arus hubung singkat tiga fasa listrik tegangan rendah.

Tabel 24 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 4
 Perbandingan Suplai Daya dan Beban yang Digunakan
 Skenario 4

Suplai daya		Beban	
Komponen	kW	Komponen	kW
Thruster Generator 1	800	Motor <i>Bow thruster</i> 1	515
Thruster Generator 2	800	Motor <i>Bow thruster</i> 2	515
<i>Diesel generator</i> 1	350	Beban kapal 60%	267,6
<i>Diesel generator</i> 2	350		
Total suplai daya	2300	Total beban	1297,6

Perbandingan beban dan suplai daya

Total suplai daya : total beban = 1,772503083

Margin suplai daya

Total suplai daya - total beban = 1002,4 kW

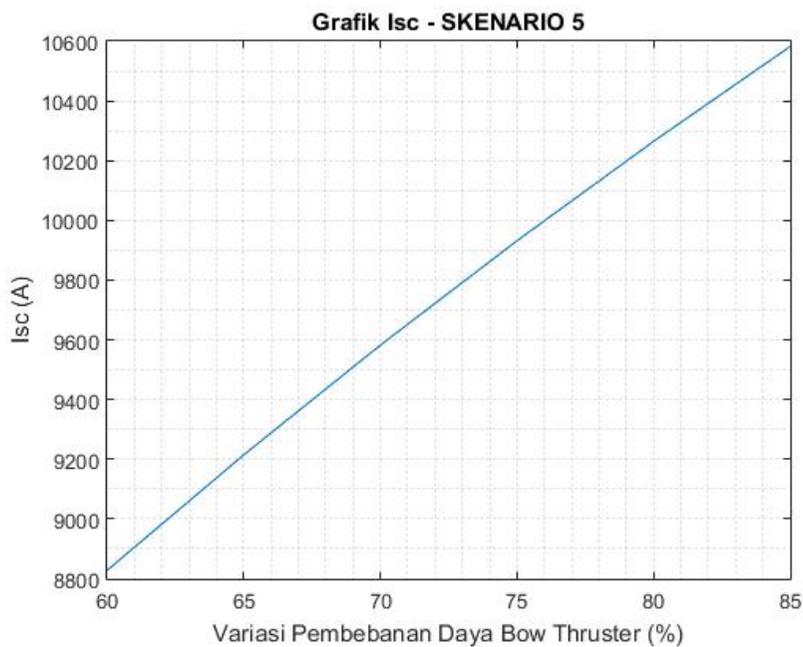
Tabel 24, merupakan tabel perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 4. Besar keseluruhan suplai daya yang digunakan pada skenario 1 ini adalah 2300 kW. Untuk total nilai beban yang digunakan pada skenario ini adalah 1297,6 kW. Dari hasil perbandingan dari suplai daya dan beban yang digunakan, diperoleh nilai sebesar 1,733. Nilai ini menunjukkan bahwa daya yang menyuplai sistem kelistrikan lebih besar dari total keseluruhan beban yang digunakan pada skenario ini. Nilai margin suplai daya pada skenario 1 adalah 1002,4 kW. .Jika dilihat dari perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 4 ini, hal ini sesuai dengan nilai arus hubung singkat yang dihasilkan dari berbagai variasi pembebanan motor *bow thruster*. Sesuai simulasi arus hubung singkat pada grafik 8, dari pembebanan 60% hingga 110%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan kurang dari 9.000 kA. Ini berarti bahwa pembebanan motor *bow thruster* yang dilaksanakan lebih dari 100%, tidak terjadi gangguan karena margin suplai daya yang ada mampu untuk menjalankan kedua motor *bow thruster* lebih dari 100%.

IV.3.5 Hasil Simulasi Skenario 5

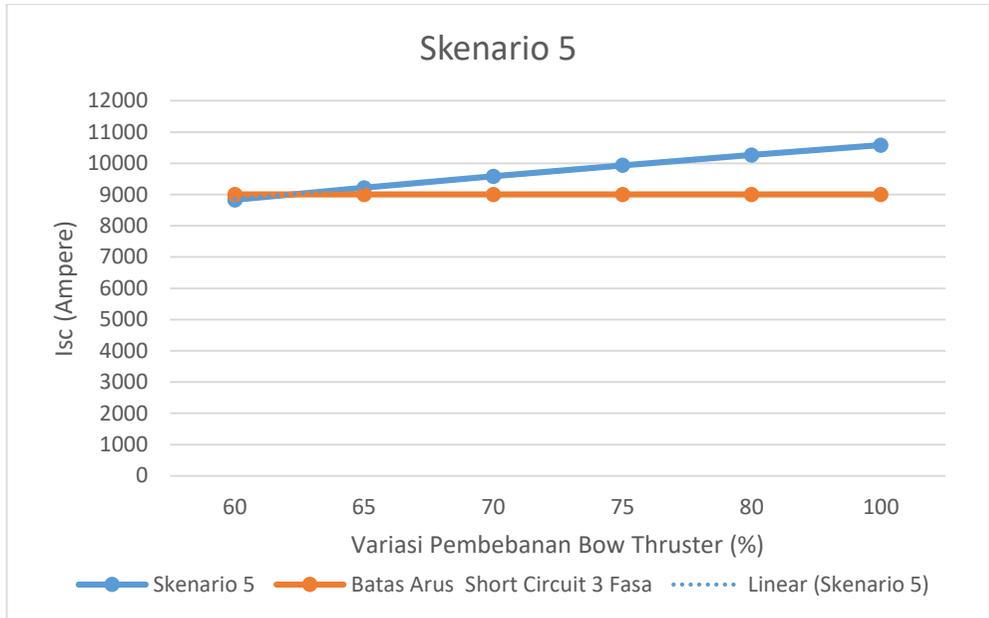
Pada skenario 5 ini , terdapat konfigurasi sistem kelistrikan :

1. Suplai daya : 1 buah thruster generator (thruster generator 1 dan 2), 2 buah *diesel generator*
2. Beban : 2 buah *bow thruster* (*bow thruster* 1 dan *bow thruster* 2) dan 60% beban kapal.

Konfigurasi sistem kelistrikan ini dijalankan dengan berbagai macam variasi pembebanan untuk *bow thruster* 1 dan 2, dari rentang 60% hingga 85%. Berikut pada grafik 9 dan 10, dapat dilihat hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus hubung singkat skenario 5 dengan berbagai variasi pembebanan *bow thruster*.



Grafik 9 Grafik hasil simulasi Matlab skenario 5 (konfigurasi 1 *generator thruster* dan 2 *diesel generator* dengan beban 2 *bow thruster* beserta 60% beban kapal)



Grafik 10 Grafik hasil simulasi skenario 5

Dari grafik yang dihasilkan pada simulasi skenario 5 yang ditampilkan di grafik 9, dapat dilihat bahwa semakin besar penggunaan daya *bow thruster* atau semakin besar nilai variasi pembebanan pada *bow thruster*, maka semakin besar pula nilai arus hubung singkat tiga fasa. Sebagai contoh, pada variasi pembebanan *bow thruster* sebesar 75%, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan sebesar 9,9317 A atau 9,9317 kA.

Jika kita bandingkan dengan variasi pembebanan *bow thruster* di 80% daya, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 10.265 A atau 10,265 kA, maka ini berarti bahwa nilai arus hubung singkat tiga fasa nilainya berbanding lurus dengan nilai variasi pembebanan daya *bow thruster*.

Untuk skenario 5 ini, nilai arus hubung singkat tiga fasa pada pembebanan *bow thruster* sebesar 85% sebagai nilai terbesar pada skenario ini adalah 10.580 A atau 10,58 kA. Nilai tersebut di atas standar terjadinya *short circuit* low voltage sebesar 9.000 A atau 9,0 kA. Dilihat dari grafik pada grafik 9, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang dihasilkan pada pembebanan di atas 62,5%, nilainya sudah di atas standar terjadinya arus hubung singkat tiga fasa listrik tegangan rendah.

Untuk pembebanan *bow thruster* di bawah 62,5%, sebagai contoh pada pembebanan 60%, dapat dilihat di grafik pada grafik 9, besarnya arus sebesar 8820 A atau 8,82 kA. Nilai ini di bawah standar terjadinya *short circuit* low voltage.

Oleh karena itu, pada skenario 5, variasi pembebanan pada skenario ini dari 62,5%-85% tergolong nilai arus yang mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa sesuai standar yang ada. Sedangkan pada pembebanan di bawah 62,5%, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan masih aman karena di bawah standar.

Tabel 25 Perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 5

Perbandingan Suplai Daya dan Beban yang Digunakan
Skenario 5

Suplai daya		Beban	
Komponen	kW	Komponen	kW
Thruster Generator 1	800	Motor <i>Bow thruster</i> 1	515
<i>Diesel generator</i> 1	350	Motor <i>Bow thruster</i> 2	515
<i>Diesel generator</i> 2	350	Beban kapal 60%	267,6
Total suplai daya	1500	Total beban	1297,6

Perbandingan beban dan suplai daya

Total suplai daya : total beban = 1,155980271

Margin suplai daya

Total suplai daya - total beban = 202,4 kW

Tabel 25, merupakan tabel perbandingan suplai daya dan beban yang digunakan pada skenario 5. Besar keseluruhan suplai daya yang digunakan pada skenario 1 ini adalah 1500 kW. Untuk total nilai beban yang digunakan pada skenario ini adalah 1297,6 kW. Dari hasil perbandingan dari suplai daya dan beban yang digunakan, diperoleh nilai sebesar 1,155. Nilai ini menunjukkan bahwa daya yang menyuplai sistem kelistrikan lebih besar dari total keseluruhan beban yang digunakan pada skenario ini. Nilai margin suplai daya pada skenario 1 adalah 202,4 kW. Namun, dengan adanya margin senilai tersebut, tidak akan mampu mengoperasikan kedua *bow thruster* pada pembebanan lebih dari 100%. Jika dipaksakan beroperasi pada variasi pembebanan lebih dari 100%, tentunya akan menimbulkan gangguan lain pada sistem tersebut. Untuk mengatasi nilai arus gangguan yang melebihi batas standar mulai dari variasi pembebanan 62,5%, maka dilakukan pemilihan ACB(*Air Circuit Breaker*) dan MCCB(*Moulded Case Circuit Breaker*) dengan kemampuan menahan arus gangguan 1,5 hingga 2 kali dari kemampuan alat yang saat ini telah terpasang.

IV.4 Mengatasi Arus Hubung Singkat pada Kapal AHTS

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan 2 kegiatan untuk mengatasi atau kegiatan perlindungan pada sistem kelistrikan kapal AHTS BNI Castor ini dari gangguan arus hubung singkat, yaitu :

1. Mengoperasikan *bow thruster* pada skenario dan variasi pembebanan di bawah standar nilai arus terjadinya gangguan hubung singkat tiga fasa

Pada skenario 2 dan skenario 5, terdapat hasil nilai arus hubung singkat 3 fasa yang melebihi standar nilai terjadinya arus hubung singkat 3 fasa pada sistem kelistrikan tegangan rendah (*low voltage short circuit*). Jika skenario 2 dan 5 ini dijalankan, maka perlu diperhatikan di nilai variasi pembebanan *bow thruster*, di mana pada variasi pembebanan tertentu, nilai arus hubung singkat yang dihasilkan lebih dari standar nilai arus terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa. Apabila skenario 2 dan 5 dijalankan pada variasi pembebanan di atas standar arus gangguan hubung singkat 3 fasa sistem tegangan rendah, tentunya hal ini akan menyebabkan gangguan pada sistem kelistrikan kapal AHTS ini.

Untuk skenario 2, di mana konfigurasi sistem kelistrikan yang digunakan adalah 1 buah thruster generator dengan beban 2 buah *bow thruster*, variasi pembebanan *bow thruster* yang aman untuk dijalankan adalah variasi pembebanan <74%. Pada variasi pembebanan 74%, berdasarkan grafik simulasi yang dihasilkan pada grafik 2, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang terbentuk sebesar 9,03 kA. Nilai tersebut sudah melewati batas standar nilai arus terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 9 kA (Kasikci, 2002b). Sebagai contoh pengoperasian skenario 2 di bawah variasi pembebanan *bow thruster* <74%, jika skenario 2 ini dijalankan pada variasi pembebanan 60%, arus hubung singkat 3 fasa yang dihasilkan hanya sebesar 7,95 kA. Tentunya nilai ini aman karena berada di bawah standar yang ada. Namun, apabila skenario 2 dijalankan pada variasi pembebanan *bow thruster* sebesar 80%, arus hubung singkat 3 fasa yang dihasilkan sebesar 9,549 kA, di mana nilai tersebut melewati standar arus gangguan.

Tabel 26 Nilai arus hubung singkat tiga fasa tiap variasi pembebanan skenario 2

Tabel Skenario 2		
	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	5.9546e+03	40
2	7.0105e+03	50
3	7.9501e+03	60
4	8.7914e+03	70
5	9.5490e+03	80
6	1.0235e+04	90
7	1.0858e+04	100

Pada skenario 5, di mana konfigurasi sistem kelistrikan yang digunakan adalah 1 buah thruster generator, 2 buah *diesel generator* dengan beban 2 buah *bow thruster* dan beban kapal 60%, variasi pembebanan *bow thruster* yang aman untuk dijalankan adalah variasi pembebanan <62,5% (dapat dilihat pada Grafik 9). Pada variasi pembebanan 62,5%, berdasarkan grafik simulasi yang dihasilkan, nilai arus hubung singkat tiga fasa yang terbentuk sebesar 9,07 kA. Nilai tersebut sudah melewati batas standar nilai arus terjadinya hubung singkat 3 fasa sebesar 9 kA (Kasikci, 2002b). Sebagai contoh, jika skenario 5 ini dijalankan pada variasi pembebanan 60%, arus hubung singkat 3 fasa yang dihasilkan hanya sebesar 8,82 kA. Tentunya nilai ini aman karena berada di bawah standar yang ada.

Tabel 27 Nilai arus hubung singkat tiga fasa tiap variasi pembebanan skenario 5

Tabel Skenario 5		
	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	8.8282e+03	60
2	9.2148e+03	65
3	9.5821e+03	70
4	9.9317e+03	75
5	1.0265e+04	80
6	1.0582e+04	85

2. Perbaikan isolasi

Isolasi adalah bahan yang non-konduktif, atau bahan yang tahan terhadap aliran arus listrik. Isolator sering disebut dielektrik dalam kabel frekuensi radio. Bahan isolasi mampu menahan kebocoran listrik, mencegah arus kawat konduktor dari kontak dengan konduktor lain dan menjaga kemampuan material kawat konduktor dengan melindungi dari ancaman lingkungan seperti air maupun panas. Keamanan dan keefektifan kawat konduktor tergantung pada isolasinya.

Setiap kabel penghantar dilengkapi dengan bahan isolator yang bertujuan untuk mencegah terjadinya perpindahan aliran muatan listrik yang tidak diinginkan. Dengan pencegahan berupa mengganti konduktor penghantar yang mengalami pengurangan ketebalan isolasi maupun lapisan isolasi yang terkelupas, diharapkan gangguan pada instalasi listrik akibat kurangnya performa isolator dan resiko-resiko bahaya yang lebih fatal lainnya dapat dihindari. Dalam gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi dalam sistem kelistrikan, salah satu sebab gangguan itu biasa terjadi adalah berkurangnya performa dari isolator sebuah kawat penghantar. Ketika isolator sebuah kawat penghantar mengalami penipisan ketebalan atau mengalami pengelupasan akibat tertimpa benda, tergores, maupun gigitan hewan, tentunya performa isolator tersebut berkurang bahkan menimbulkan terhubungnya 2 konduktor yang menimbulkan arus hubung singkat itu sendiri. Oleh karena itu, pemilihan isolator yang tepat pada sebuah kawat penghantar harus disesuaikan juga dengan kemampuan isolator tersebut menahan besarnya arus hubung singkat yang akan terjadi. Ketebalan dari sebuah isolator konduktor penghantar, berpengaruh pada kekuatan dari isolator tersebut dapat ditembus arus gangguan dalam nilai tertentu. Jika kita memiliki suatu nilai arus gangguan hubung singkat sebesar “x”, maka dalam memilih isolator dan kawat penghantar harus memiliki spesifikasi mampu menahan arus gangguan > nilai “x”. Selain itu, jenis material yang digunakan dalam pembuatan isolator berpengaruh pada besar suhu yang mampu ditahan oleh isolator ketika terjadi gangguan.

Berikut ini merupakan contoh spesifikasi isolator kawat penghantar yang dapat digunakan dalam kapal AHTS BNI Castor dan isolator ini memiliki kemampuan untuk menahan nilai arus hubung singkat terbesar yang dihasilkan pada simulasi ini, yaitu sebesar 10.585 A atau 10,585 kA.

a. Low Voltage Cable PT JEMBO Cables Company Tbk.

Pada data kapal yang ada, disebutkan bahwa spesifikasi kabel penghantar yang digunakan adalah P3/120. Dari spesifikasi tersebut, dapat diketahui bahwa kabel penghantar yang dipilih seharusnya memiliki jumlah kawat inti 3 atau untuk listrik 3 fasa, dan luas penampang kabel berukuran 120 mm². Di bawah ini merupakan contoh spesifikasi kabel marine dari PT Jembo Cables Company Tbk yang dapat dipilih.

Tabel 28 Spesifikasi kabel marine PT Jembo Cable Company Tbk.

<i>Specification</i>	<i>Fire Resistance Low Voltage Power Cable</i>	<i>Low Voltage Power Cable</i>
<i>Conductor</i>	Copper wire	Copper wire
<i>Insulation</i>	XLPE as per IEC 60092	XLPE as per IEC 60092
<i>Fire resistance layer</i>	Mica/Glass Type	-
<i>Number of Core</i>	3	3
<i>Nominal Area</i>	120 mm ²	120 mm ²
<i>Thickness of insulation</i>	1,2 mm	1,2 mm
<i>Maximum rated temperature</i>	90°C	90°C
<i>Short circuit Current of 1 s</i>	13,92 kA	13,92 kA

Dari spesifikasi kabel penghantar terpilih yang ada pada tabel 28, dapat diketahui bahwa ketebalan isolasi yang dimiliki oleh kabel penghantar terpilih, baik kabel tahan api maupun kabel tidak tahan api adalah 1,2 mm dengan kemampuan menahan arus *short circuit* sebesar 13,92 kA. Tentunya nilai arus *short circuit* sebesar itu, mampu menahan nilai arus *short circuit* terbesar hasil simulasi yang memiliki nilai sebesar 10,585 kA. Untuk jenis material isolator yang disediakan dari perusahaan ini adalah jenis XLPE (Cross-Linked Polyethylene).

Material memiliki rantai polyethylene berbeda yang dihubungkan bersama ("Cross-linking") yang membantu mencegah polimer meleleh atau berpisah pada ketinggian suhu tertentu. Karena itu XLPE berguna untuk aplikasi suhu tinggi. XLPE memiliki kerugian dielektrik lebih tinggi dari PE, tetapi memiliki karakteristik penuaan yang lebih baik dan ketahanan terhadap *water treeing*. Suhu operasi normal biasanya antara 90⁰C dan 110⁰C. Batas suhu maksimal adalah 250⁰C. Senyawa ini paling banyak digunakan dalam kabel koaksial dan kapasitansi rendah karena kualitas listriknya yang cukup bagus. Sering kali material ini digunakan dalam aplikasi sistem kelistrikan tegangan rendah karena harganya terjangkau dan dapat berbusa untuk mengurangi konstanta dielektrik menjadi 1,50, sehingga menjadikannya pilihan yang menarik untuk kabel yang membutuhkan transmisi kecepatan tinggi.

Polyethylene juga dapat dihubungkan silang untuk menghasilkan ketahanan tinggi terhadap retak, pemotongan, penyolderan, dan pelarut. Polietilen dapat digunakan dalam suhu mulai dari negatif 65 derajat Celcius hingga 80 derajat Celcius. Semua kepadatan polietilen kaku, keras dan tidak fleksibel. Bahannya juga mudah terbakar. Bahan aditif dapat digunakan untuk membuatnya tahan api, tetapi ini akan mempengaruhi kenaikan konstanta dielektrik dan meningkatkan kehilangan daya.

b. Low Voltage Cable AEI Cables Oil, Gas, and Marine (UK)

Pada data kapal yang ada, disebutkan bahwa spesifikasi kabel penghantar yang digunakan adalah P3/120. Dari spesifikasi tersebut, dapat diketahui bahwa kabel yang dipilih seharusnya memiliki jumlah kawat inti 3 atau untuk listrik 3 fasa, dan luas penampang kabel berukuran 120 mm². Di bawah ini pada tabel 21, merupakan contoh spesifikasi kabel dari AEI Cables Oil, Gas, and Marine (UK) yang dapat dipilih.

Tabel 29 Spesifikasi kabel marine AEI Cables Oil, Gas, and Marine (UK)

<i>Specification</i>	<i>Fire Resistance Low Voltage Power Cable</i>	<i>Low Voltage Power Cable</i>
<i>Conductor</i>	Copper wire	Copper wire
<i>Insulation</i>	Thermoplastic Elastomer	Thermoplastic Elastomer
<i>Fire resistance layer</i>	Mica/Glass Type	-
<i>Number of Core</i>	3	3
<i>Nominal Area</i>	120 mm ²	120 mm ²
<i>Thickness of insulation</i>	2,4 mm	2,4 mm
<i>Maximum rated temperature</i>	90°C	90°C
<i>Short circuit Current of 1 s</i>	12 kA	12 kA
<i>Internal bending radius</i>	340 mm	348 mm

Untuk jenis material isolator yang disediakan dari perusahaan ini adalah jenis elastomer termoplastik (TPE). Dari spesifikasi kabel penghantar terpilih pada tabel 29, dapat diketahui bahwa ketebalan isolasi yang dimiliki oleh kabel penghantar terpilih adalah 2,4 mm dengan kemampuan menahan arus *short circuit* sebesar 12 kA, baik untuk kabel tahan api maupun kabel tidak tahan api. Tentunya nilai arus *short circuit* sebesar itu, mampu menahan nilai arus *short circuit* terbesar hasil simulasi yang hanya memiliki nilai 10,585 kA.

Elastomer termoplastik terdiri dari campuran polimer, biasanya plastik dan karet, untuk menggabungkan manfaat setiap bahan menjadi satu produk isolasi. TPE dapat dicetak, diekstrusi dan digunakan kembali mirip dengan plastik sehingga tetap mempertahankan fleksibilitas dan bentangan karet.

TPE memiliki daya tahan api tinggi dan tingkat fleksibilitas yang bagus. Kerugian TPE termasuk ketahanan kimia yang cukup rendah, stabilitas termal yang rendah dan biaya yang lebih tinggi daripada jenis isolasi lainnya.

Untuk jenis material isolator yang disediakan dari perusahaan ini adalah jenis EPR (Ethylene Propylene Rubber) dan XLPE (Cross-Linked Polyethylene). Dari spesifikasi kabel penghantar terpilih, dapat diketahui bahwa ketebalan isolasi yang dimiliki oleh kabel penghantar terpilih (jenis material PVC) adalah 1,6 mm dengan kemampuan menahan arus *short circuit* sebesar 11,8 kA. Tentunya nilai arus *short circuit* sebesar itu, mampu menahan nilai arus *short circuit* terbesar hasil simulasi yang hanya memiliki nilai 10,585 kA. Sedangkan, ketebalan isolasi yang dimiliki oleh kabel penghantar terpilih (jenis material XLPE) adalah 1,2 mm dengan kemampuan menahan arus *short circuit* sebesar 17,16 kA.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

V.1 Kesimpulan

Berikut ini merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

1. Pada skenario 2, dengan konfigurasi 1 buah thruster generator dan beban 2 buah *bow thruster*, terjadi gangguan arus hubung singkat pada variasi pembebanan 74% hingga variasi pembebanan 100%, dengan besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 9,03 kA sampai dengan 10,85 kA.
2. Pada skenario 5, dengan konfigurasi 1 buah thruster generator, 2 buah *diesel generator*, dan beban 2 buah *bow thruster* serta beban kapal sebesar 60%, terjadi arus hubung singkat tiga fasa mulai pada variasi pembebanan *bow thruster* di 62,5% hingga variasi pembebanan 85%, dengan besar arus hubung singkat 3 fasa sebesar 9,023 kA sampai dengan 10,58 kA.
3. Untuk mengatasi terjadinya arus hubung singkat tiga fasa pada pengoperasian kelistrikan kapal AHTS, dapat dilakukan dengan mengoperasikan skenario 2 dan skenario 5 yang diketahui memiliki variasi pembebanan dengan besar arus hubung singkat 3 fasa melebihi standar arus terjadinya arus hubung singkat 3 fasa, pada variasi pembebanan yang aman atau memiliki nilai arus hubung singkat 3 fasa di bawah standar arus terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa. Pada skenario 2, dapat dioperasikan pada variasi pembebanan *bow thruster* <74%. Sedangkan, pada skenario 5, dapat dioperasikan pada variasi pembebanan *bow thruster* <62,5% agar tidak terjadi gangguan.

V.2 Rekomendasi

Berikut ini merupakan rekomendasi yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik lagi serta untuk perusahaan.

dalam mengambil keputusan atas masalah yang ingin diselesaikan:

1. Melengkapi data-data alat-alat proteksi yang digunakan, untuk melakukan perhitungan proteksi *circuit breaker* dan *fuses* yang digunakan memutus arus hubung singkat yang terjadi
2. Melakukan perhitungan dan penelitian lebih lanjut mengenai material yang digunakan sebagai bahan dasar isolasi konduktor pada sistem kelistrikan yang mampu menahan besar arus hubung singkat yang terjadi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- de Metz-Noblat, B., Dumas, F., Poulain, C., n.d. Calculation of short-circuit currents. *Schneider Electr.* 35.
- Esen, V., Oral, B.O., Akinci, T.C., 2017. The determination of short circuits and grounding faults in electric power systems using time-frequency analysis. *J. Energy South. Afr.* 26, 123. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2015/v26i2a2206>
- Holvik, J., 1998. *Basics of Dynamic Positioning* 10.
- Kasikci, I., 2002a. *Analysis and Design of Low Voltage Power Systems An Engineers Field Guide.*
- Kasikci, I., 2002b. *Short Circuits in Power Systems.* Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG. <https://doi.org/10.1002/3527600469>
- Lackovic, V., 2005. *Introduction to Short Circuit Current Calculations.*
- MacDowell, J., Davis, C.E., 2006. *IEEE VIOLET BOOK - IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems.*
- Metz-Noblat, B.D., Dumas, F., Thomasset, G., n.d. Calculation of short-circuit currents 36.
- Saputra, V.B., 2016. *Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik Di KSO Pertamina EP – Geo Cepu Indonesia Distrik 1 Kawangan Menggunakan Software Etap* 12.6.
- Sarwito, Sardono, and Semin Semin. 2017." *Analysis of Three Phases Asynchronous Slip Ring Motor Performance Feedback Type 243". International Journal of Marine Engineering Innovation and Research Vol 2, No 1.*
- Schlabach, J., 2005. *Short-circuit Currents.* Inst. Eng. Technol. Faraday House Six Hills Way Stevenage Herts SG1 2AY U. K. 1, 336.
- Shengli, D., Ligang, S., 2017. The design and realization of ship dynamic positioning controller based on DSP, in: *2017 36th Chinese Control Conference (CCC)*. Presented at the 2017 36th Chinese Control Conference (CCC), IEEE, Dalian, China, pp. 6348–6352. <https://doi.org/10.23919/ChiCC.2017.8028363>
- Sorensen, A.J., Strand, J.P., Nyberg, H., n.d. *Dynamic positioning of ships and floaters in extreme seas* 1849–1854. <https://doi.org/10.1109/oceans.2002.1191913>

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Spesifikasi kabel



TOGETHER WE GROW
PT JEMBO CABLE COMPANY Tbk.

Low Voltage Power & Control Cable

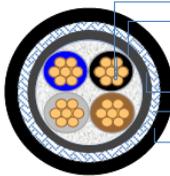
CABLE DESIGNATION

0.6/1 kV TICI (CU/XLPE/GSWB/SHF 1)

APPLICATION STANDARD

- Design guide	: IEC 60092-350& IEC 60092-353
- Insulation material	: IEC 60092-360, XLPE
- Sheath material	: IEC 60092-360, SHF1
- Flame retardant	: IEC 60332-1 & IEC 60332-3 Category A
- Halogen content	: IEC 60754-1, 0.5 %↓
- Smoke emission	: IEC 61034, 60% ↑
- Cold bend/impact	: CSA 22.2 No. 0.3 (-40° C/ -35° C)
- Max rated conductor temperature	: 90° C

CONSTRUCTION



Classification	Code	Construction detail																					
1. Conductor		- Stranded plain annealed copper wires as per IEC 60228, Class 2																					
2. Insulation	T	- XLPE as per IEC 60092-360																					
3. Cabling		- Insulated conductor shall be cabled. - Flame retardant & non-hydroscopic fillers may be used. - Suitable tape (s) may be applied on the cabled core. - A Filler may be applied to obtain a circular cable																					
4. Inner covering	I	- SHF 1 as per IEC 60092-360																					
5. Armour	C	- Braid of Galvanized steel wire - Coverage density : Min. 60%																					
6. Sheath	I	- SHF 1 as per IEC 60092-360 - Sheath color : Black																					
7. Identification		<table border="1"> <thead> <tr> <th>No. of cores</th> <th>without earth core</th> <th>with earth core</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1C</td> <td>Black</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2C</td> <td>Blue, Brown</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>3C /2C+E</td> <td>Black, Brown, Grey</td> <td>Brown, Blue, G/Y</td> </tr> <tr> <td>4C /3C+E</td> <td>Blue, Black, Brown, Grey</td> <td>Black, Brown, Grey, G/Y</td> </tr> <tr> <td>5C /4C+E</td> <td>Black No. on White Insulation</td> <td>Black, Brown, Grey, Blue, G/Y</td> </tr> <tr> <td>5C and over</td> <td>Black number on white insulation</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	No. of cores	without earth core	with earth core	1C	Black	-	2C	Blue, Brown	-	3C /2C+E	Black, Brown, Grey	Brown, Blue, G/Y	4C /3C+E	Blue, Black, Brown, Grey	Black, Brown, Grey, G/Y	5C /4C+E	Black No. on White Insulation	Black, Brown, Grey, Blue, G/Y	5C and over	Black number on white insulation	
	No. of cores	without earth core	with earth core																				
	1C	Black	-																				
	2C	Blue, Brown	-																				
	3C /2C+E	Black, Brown, Grey	Brown, Blue, G/Y																				
	4C /3C+E	Blue, Black, Brown, Grey	Black, Brown, Grey, G/Y																				
5C /4C+E	Black No. on White Insulation	Black, Brown, Grey, Blue, G/Y																					
5C and over	Black number on white insulation																						
		Note : 1. G/Y means green base color with yellow strip 2. control cable (2C,3C and 4C) shall be identified by the number printing.																					

Note.

The order color of sheath and insulation may to applicable when purchaser required.

No of Cores	Conductor			Thickness of Insulation	Thickness of inner Sheath	Dia of wire for armour	Thickness of Sheath	Overall diameter		Conductor Resistance (at 20° C) (Max)	Insulation Resistance (at 20° C) (Min)	Test Voltage V/5 min.	Cable Weight kg/km
	Nominal Area	Min Number of Wires	Max Dia					Nominal	Tolerance				
No.	mm²	ea.	mm	mm	mm	mm	mm	± mm	ohm/km	M. Ohm km			
3	70	19	10.45	1.1	1.9	0.3	1.3	35.1	1.8	0.268	800	3500	2803
3	95	19	12.3	1.1	2.0	0.4	1.4	39.8	2.0	0.193	800	3500	3527
3	120	37	13.88	1.2	2.1	0.4	1.5	44.1	2.2	0.153	800	3500	4356
3	150	37	15.4	1.4	2.3	0.4	1.6	48.8	2.4	0.124	800	3500	5324
3	185	37	17.22	1.6	2.4	0.4	1.7	54.2	2.7	0.0991	800	3500	6544
3	240	61	19.8	1.7	2.7	0.4	1.9	61.0	3.1	0.0754	2500	3500	8453

Fire Resistance Low Voltage Power & Control Cable

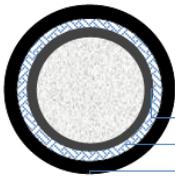
CABLE DESIGNATION

0.6/ 1 kV BICI (CU/MGT/XLPE/GSWB/SHF 1)

APPLICATION STANDARD

- Design guide	: IEC 60092-350& IEC 60092-353
- Insulation material	: IEC 60092-360, XLPE
- Sheath material	: IEC 60092-360, SHF1
- Flame retardant	: IEC 60332-1 & IEC 60332-3 Category A
- Fire resistance	: IEC 60331-21 (90 min) IEC 60331-1, -2 (120 min)
- Halogen content	: IEC 60754-1, 0.5 %↓
- Smoke emission	: IEC 61034, 60% ↑
- Cold bend/impact	: CSA 22.2 No. 0.3 (-40° C/ -35° C)
- Max rated conductor temperature	: 90° C

CONSTRUCTION



Classification	Code	Construction detail																					
1. Conductor		- Stranded plain annealed copper wires as per IEC 60228, Class 2																					
2. Fire Resistance layer	B	- Mica/Glass tape																					
3. Insulation		- XLPE as per IEC 60092-360																					
4. Cabling		- Insulated conductor shall be cabled. - Flame retardant & non-hygroscopic fillers may be used. - Suitable tape (s) may be applied on the cabled core. - A Filler may be applied to obtain a circular cable																					
5. Inner covering	I	- SHF 1 as per IEC 60092-360																					
6. Armour	C	- Braid of Galvanized steel wire - Coverage density : Min. 90%																					
7. Sheath	I	- SHF 1 as per IEC 60092-360 - Sheath color : Black																					
8. Identification		<table border="1"> <thead> <tr> <th>No. of cores</th> <th>without earth core</th> <th>with earth core</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1C</td> <td>Black</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2C</td> <td>Blue, Brown</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>3C /2C+E</td> <td>Black, Brown, Grey</td> <td>Brown, Blue, G/Y</td> </tr> <tr> <td>4C /3C+E</td> <td>Blue, Black, Brown, Grey</td> <td>Black, Brown, Grey, G/Y</td> </tr> <tr> <td>5C /4C+E</td> <td>Black No.on White insulation</td> <td>Black, Brown, Grey, Blue, G/Y</td> </tr> <tr> <td>5C and over</td> <td>Black number on white insulation</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	No. of cores	without earth core	with earth core	1C	Black	-	2C	Blue, Brown	-	3C /2C+E	Black, Brown, Grey	Brown, Blue, G/Y	4C /3C+E	Blue, Black, Brown, Grey	Black, Brown, Grey, G/Y	5C /4C+E	Black No.on White insulation	Black, Brown, Grey, Blue, G/Y	5C and over	Black number on white insulation	
	No. of cores	without earth core	with earth core																				
	1C	Black	-																				
	2C	Blue, Brown	-																				
	3C /2C+E	Black, Brown, Grey	Brown, Blue, G/Y																				
	4C /3C+E	Blue, Black, Brown, Grey	Black, Brown, Grey, G/Y																				
5C /4C+E	Black No.on White insulation	Black, Brown, Grey, Blue, G/Y																					
5C and over	Black number on white insulation																						
		Note : 1. G/Y means green base color with yellow strip 2. control cable (2C,3C and 4C) shall be identified by the number printing.																					

No of Cores	Conductor			Thickness of Insulation	Thickness of inner Sheath	Dia of wire for armour	Thickness of Sheath	Overall diameter		Conductor Resistance (at 20° C) (Max)	Insulation Resistance (at 20° C) (Min)	Test Voltage V/5 min.	Cable Weight kg/km
	Nominal Area	Min Number of Wires	Max Dia					Nominal	Tolerance				
No.	mm ²	ea.	mm	mm	mm	mm	mm	± mm	ohm/km	M.Ohm km			
3	70	19	10.45	1.1	1.9	0.4	1.4	38.1	1.9	0.268	800	3500	2912
3	95	19	12.3	1.1	2.1	0.4	1.5	42.8	2.1	0.193	800	3500	3732
3	120	37	13.86	1.2	2.2	0.4	1.6	46.9	2.3	0.153	800	3500	4577
3	150	37	15.4	1.4	2.4	0.4	1.7	51.8	2.6	0.124	800	3500	5575
3	185	37	17.22	1.6	2.5	0.4	1.8	57.0	2.8	0.0991	800	3500	6814
3	240	61	19.8	1.7	2.8	0.4	1.9	63.8	3.2	0.0754	2500	3500	8732



Constructional and Electrical Performance Data

BS6883 – 1.9/3.3kV – Three core Copper conductors, elastomeric insulated, armoured cables											
Nominal area of conductor	mm ²	16.00	25.00	35.00	50.00	70.00	95.00	120.00	150.00	185.00	240.00
Insulation radial thickness	mm	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
Inner sheath radial thickness	mm	1.60	1.80	1.80	1.90	2.10	2.30	2.40	2.60	2.70	3.00
Galvanised steel wire braid diameter	mm	0.30	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Outer sheath radial thickness	mm	1.80	2.00	2.10	2.20	2.40	2.60	2.70	2.90	3.00	3.30
Overall diameter (Nom)	mm	32.30	37.20	39.10	42.20	46.60	52.80	56.30	60.10	64.50	74.60
Cable weight (Nom)	Kg/Km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Internal bending radius (Min)	mm	200	231	243	263	289	328	348	371	399	460
Braid resistance @ 20°C (Max)	Ω/Km	11.28	8.44	7.19	7.19	6.50	6.30	4.37	4.09	4.09	3.18
Armour gross cross sectional area	mm ²	16.96	26.72	30.54	30.54	34.35	38.17	45.80	51.53	51.53	62.98
d.c. conductor resistance @ 20°C (Max)	Ω/Km	1.16	0.734	0.529	0.391	0.270	0.195	0.154	0.126	0.100	0.0762
a.c. conductor resistance @ 90°C (Max)	Ω/Km	1.48	0.936	0.675	0.499	0.345	0.250	0.198	0.163	0.131	0.102
Inductive reactance @ 60 Hz	Ω/Km	0.137	0.123	0.119	0.114	0.109	0.105	0.102	0.0999	0.0974	0.0933
Impedance @ 60 Hz	Ω/Km	1.49	0.944	0.685	0.512	0.362	0.271	0.223	0.191	0.163	0.138
Continuous current carrying capacity @ 45°C	A	67	89	105	135	170	205	240	270	305	365
Conductor short circuit symmetrical fault											
90°C – 160°C for 1 sec	kA rms	-	-	-	-	6.99	9.49	12.00	15.00	18.50	24.00
90°C – 250°C for 1 sec	kA rms	2.29	3.58	5.01	7.15	-	-	-	-	-	-
Braid short circuit asymmetrical earth fault											
80°C – 220°C for 1 sec	kA rms	0.848	1.336	1.527	1.527	1.718	1.909	2.290	2.576	2.576	3.149



Constructional and Electrical Performance Data

BS7917 – 1.9/3.3kV – Three core Copper conductors, elastomeric insulated, fire resistant, armoured cables											
Nominal area of conductor	mm ²	25.00	35.00	50.00	70.00	95.00	120.00	150.00	185.00	240.00	300.00
Insulation radial thickness	mm	2.20	2.20	2.20	2.20	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
Inner sheath radial thickness	mm	1.80	1.80	1.90	2.10	2.30	2.40	2.60	2.70	3.00	3.20
Galvanised steel wire braid diameter	mm	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Outer sheath radial thickness	mm	2.00	2.10	2.20	2.40	2.60	2.70	2.90	3.00	3.30	3.50
Overall diameter (Nom)	mm	36.20	38.30	41.80	46.50	52.40	56.60	60.70	65.60	72.40	78.90
Cable weight (Nom)	Kg/Km										
Internal bending radius (Min)	mm	220	230	250	280	315	340	365	395	435	475
Braid resistance @ 20°C (Max)	Ω/Km	8.44	7.19	7.19	6.50	6.30	4.37	4.37	4.09	3.18	3.30
Armour gross cross sectional area	mm ²	26.75	30.55	30.55	34.35	38.20	45.80	45.80	51.55	63.00	63.00
d.c. conductor resistance @ 20°C (Max)	Ω/Km	0.734	0.529	0.391	0.270	0.195	0.154	0.126	0.100	0.0762	0.0607
a.c. conductor resistance @ 20°C (Max)	Ω/Km	0.936	0.675	0.499	0.345	0.250	0.198	0.163	0.131	0.102	0.0830
Inductive reactance @ 60 Hz	Ω/Km	0.123	0.119	0.114	0.109	0.105	0.102	0.0999	0.0974	0.0933	0.0914
Impedance @ 60 Hz	Ω/Km	0.944	0.685	0.512	0.362	0.271	0.223	0.191	0.163	0.138	0.123
Continuous current carrying capacity @ 45°C	A	89	105	135	170	205	240	270	305	365	415
Conductor short circuit symmetrical fault											
90°C – 160°C for 1 sec	kA rms	-	-	-	6.99	9.49	12.00	15.00	18.50	24.00	30.00
90°C – 250°C for 1 sec	kA rms	3.58	5.01	7.15	-	-	-	-	-	-	-

Tabel Hasil Simulasi

Tabel Skenario 1

	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	5.9750e+03	60
2	6.1921e+03	65
3	6.4582e+03	70
4	6.6423e+03	75
5	6.8421e+03	80
6	7.0814e+03	85
7	7.1921e+03	90
8	7.3546e+03	95
9	7.4764e+03	100
10	7.5896e+03	105
11	7.7413e+03	110

Tabel Skenario 2

	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	5.9546e+03	40
2	7.0105e+03	50
3	7.9501e+03	60
4	8.7914e+03	70
5	9.5490e+03	80
6	1.0235e+04	90
7	1.0858e+04	100

Tabel Skenario 3

	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	2.8257e+03	60
2	3.0495e+03	65
3	3.2716e+03	70
4	3.4920e+03	75
5	3.7107e+03	80
6	3.9278e+03	85
7	4.1433e+03	90
8	4.3572e+03	95
9	4.5694e+03	100
10	4.7801e+03	105
11	4.9893e+03	110

Tabel Skenario 4

	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	4.9552e+03	60
2	5.3043e+03	65
3	5.6460e+03	70
4	5.9808e+03	75
5	6.3089e+03	80
6	6.6307e+03	85
7	6.9463e+03	90
8	7.2562e+03	95
9	7.5604e+03	100
10	7.8592e+03	105
11	8.1528e+03	110

Tabel Skenario 5

	Isc (A)	Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)
1	8.8282e+03	60
2	9.2148e+03	65
3	9.5821e+03	70
4	9.9317e+03	75
5	1.0265e+04	80
6	1.0582e+04	85

Program Matlab

```
% Perhitungan arus hubung singkat (Isc)
bV = 0.415; %baseVoltage (kV)
V = bV*(10^3);
bPtg = 1; %basePower generator thruster(MVA)
bkVAtg = bPtg*(10^3); %kVA
Ptg = bPtg*(10^6);
bPdg = 0.438; %basePower diesel generator(MVA)
bkVAdg = bPdg*(10^3); %kVA
Pdg = bPdg*(10^6);
% bP = 1000; %basePower (kVA)

RperXgen = 0.05;
RperXbow = 0.18;
RperXkap = 0;
Xdgen = 19; %
Xdbow = 16.41625; %
HP = 690.1;

% EQUIPMENT
% 1. Thruster Generator 1
X1 = (Xdgen/100)*((V^2)/Ptg);
R1 = X1*RperXgen;

% 2. Thruster Generator 2
X2 = (Xdgen/100)*((V^2)/Ptg);
R2 = X2*RperXgen;

% 3. Diesel Generator 1
X3 = (Xdgen/100)*((V^2)/Pdg);
R3 = X3*RperXgen;

% 4. Diesel Generator 2
X4 = (Xdgen/100)*((V^2)/Pdg);
R4 = X4*RperXgen;

% 5. Bow Thruster 1
X5 = ((Xdbow/746)*((V^2)/HP))/100;
R5 = X5*RperXbow;

% 6. Bow Thruster 2
X6 = ((Xdbow/746)*((V^2)/HP))/100;
R6 = X6*RperXbow;

% 7. 60% Beban Kapal
X7 = 0.110363953;
R7 = 0.044563688;
```

```

% Base Power & I base SKENARIO 1
bP1 = 2*bkVAtg;
Ib1 = bP1/(sqrt(3)*bV); %Ibase (A)

% Base Power & I base SKENARIO 2
bP2 = 1*bkVAtg;
Ib2 = bP2/(sqrt(3)*bV); %Ibase (A)

% Base Power & I base SKENARIO 3
bP3 = (2*bkVAtg)+(1*bkVAdg);
Ib3 = bP3/(sqrt(3)*bV); %Ibase (A)

% Base Power & I base SKENARIO 4
bP4 = (2*bkVAtg)+(2*bkVAdg);
Ib4 = bP4/(sqrt(3)*bV); %Ibase (A)

% Base Power & I base SKENARIO 5
bP5 = (1*bkVAtg)+(2*bkVAdg);
Ib5 = bP5/(sqrt(3)*bV); %Ibase (A)

% VARIASI 1 60%-75%
Rtot1a = R1+R2+(((R5/0.6)*(R6/0.75))/((R5/0.6)+(R6/0.75)));
Xtot1a = X1+X2+(((X5/0.6)*(X6/0.75))/((X5/0.6)+(X6/0.75)));
Znet1a = sqrt((Rtot1a^2)+(Xtot1a^2));
% Iscl1a = Ib1/Znet1a;
Iscl1a = 5974.99676;

% VARIASI 1 100%-80%
Rtot1b = R1+R2+(((R5)*(R6/0.8))/((R5)+(R6/0.8)));
Xtot1b = X1+X2+(((X5)*(X6/0.8))/((X5)+(X6/0.8)));
Znet1b = sqrt((Rtot1b^2)+(Xtot1b^2));
% Iscl1b = Ib1/Znet1b;
Iscl1b = 6842.12;

% VARIASI 1 100%-100%
Rtot1c = R1+R2+((R5*R6)/(R5+R6));
Xtot1c = X1+X2+((X5*X6)/(X5+X6));
Znet1c = sqrt((Rtot1c^2)+(Xtot1c^2));
% Iscl1c = Ib1/Znet1c;
Iscl1c = 7476.400949;

% VARIASI 1 110%-110%
Rtot1d = R1+R2+(((R5/1.1)*(R6/1.1))/((R5/1.1)+(R6/1.1)));
Xtot1d = X1+X2+(((X5/1.1)*(X6/1.1))/((X5/1.1)+(X6/1.1)));
Znet1d = sqrt((Rtot1d^2)+(Xtot1d^2));
% Iscl1d = Ib1/Znet1d;
Iscl1d = 7741.302106;

```

```

% -----
% VARIASI 2 40%-40%
Rtot2a = R1+(((R5/0.4)*(R6/0.4))/((R5/0.4)+(R6/0.4)));
Xtot2a = X1+(((X5/0.4)*(X6/0.4))/((X5/0.4)+(X6/0.4)));
Znet2a = sqrt((Rtot2a^2)+(Xtot2a^2));
% Isc2a = Ib2/Znet2a;
Isc2a = 5954.574487;

% VARIASI 2 50%-50%
Rtot2b = R1+(((R5/0.5)*(R6/0.5))/((R5/0.5)+(R6/0.5)));
Xtot2b = X1+(((X5/0.5)*(X6/0.5))/((X5/0.5)+(X6/0.5)));
Znet2b = sqrt((Rtot2b^2)+(Xtot2b^2));
% Isc2b = Ib2/Znet2b;
Isc2b = 7010.54185;

% VARIASI 2 60%-60%
Rtot2c = R1+(((R5/0.6)*(R6/0.6))/((R5/0.6)+(R6/0.6)));
Xtot2c = X1+(((X5/0.6)*(X6/0.6))/((X5/0.6)+(X6/0.6)));
Znet2c = sqrt((Rtot2c^2)+(Xtot2c^2));
% Isc2c = Ib2/Znet2c;
Isc2c = 7950.106635;

% VARIASI 2 100%-100%
Rtot2d = 0,01048;
Xtot2d = 0,02189;
Znet2d = sqrt((Rtot2d^2)+(Xtot2d^2));
% Isc2d = Ib2/Znet2d;
Isc2d = 10858.34471;

% -----
% VARIASI 3 60%-75%
% Rtot3a = R1+R2+R3+R5+R6+R7;
% Xtot3a = X1+X2+X3+(X5/0.6)+(X6/0.75)+X7;
Rtot3a = 0.029547722;
Xtot3a = 0.176722375;
Znet3a = sqrt((Rtot3a^2)+(Xtot3a^2));
% Isc3a = Ib3/Znet3a;
Isc3a = 2825.708624;

% VARIASI 3 100%-80%
% Rtot3b = R1+R2+R3+R5+R6+R7;
% Xtot3b = X1+X2+X3+X5+(X6/0.8)+X7;
Rtot3b = 0.022326077;
Xtot3b = 0.135533441;
Znet3b = sqrt((Rtot3b^2)+(Xtot3b^2));
% Isc3b = Ib3/Znet3b;
Isc3b = 3710.741533;

```

```

% VARIASI 3 100%-100%
% Rtot3c = R1+R2+R3+R5+R6+R7;
% Xtot3c = X1+X2+X3+X5+X6+X7;
Rtot3c = 0.019918862;
Xtot3c = 0.121803796;
Znet3c = sqrt((Rtot3c^2)+(Xtot3c^2));
% Isc3c = Ib3/Znet3c;
Isc3c = 4569.428607;

% VARIASI 3 110%-110%
% Rtot3d = R1+R2+R3+R5+R6+R7;
% Xtot3d = X1+X2+X3+(X5/1.1)+(X6/1.1)+X7;
Rtot3d = 0.01816816;
Xtot3d = 0.111818599;
Znet3d = sqrt((Rtot3d^2)+(Xtot3d^2));
% Isc3d = Ib3/Znet3d;
Isc3d = 4989.253124;

% -----
% VARIASI 4 60%-75%
% Rtot4a = R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7;
% Xtot4a = X1+X2+X3+X4+(X5/0.6)+(X6/0.75)+X7;
Rtot4a = 0.017483414;
Xtot4a = 0.073288962;
Znet4a = sqrt((Rtot4a^2)+(Xtot4a^2));
% Isc4a = Ib4/Znet4a;
Isc4a = 4955.227721;

% VARIASI 4 100%-80%
% Rtot4b = R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7;
% Xtot4b = X1+X2+X3+X4+X5+(X6/0.8)+X7;
Rtot4b = 0.01105636;
Xtot4b = 0.073114873;
Znet4b = sqrt((Rtot4b^2)+(Xtot4b^2));
% Isc4b = Ib4/Znet4b;
Isc4b = 7560.387953;

% VARIASI 4 100%-100%
% Rtot4c = R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7;
% Xtot4c = X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7;
Rtot4c = 0.01102699;
Xtot4c = 0.072497258;
Znet4c = sqrt((Rtot4c^2)+(Xtot4c^2));
% Isc4c = Ib4/Znet4c;
Isc4c = 8037.91619;

% VARIASI 4 110%-110%
% Rtot4d = R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7;
% Xtot4d = X1+X2+X3+X4+(X5/1.1)+(X6/1.1)+X7;
Rtot4d = 0.0101379;

```

```

Xtot4d = 0.072228539;
Znet4d = sqrt((Rtot4d^2)+(Xtot4d^2));
% Isc4d = Ib5/Znet4d;
Isc4d = 8152.81022;

% VARIASI 4 80% - 80%
% Isc5b = 53818.7194;

% -----
% VARIASI 5 60%-60%
Rtot5a = R1+R3+R4+R5+R6+R7;
Xtot5a = X1+X3+X4+(X5/0.60)+(X6/0.60)+X7;
Znet5a = sqrt((Rtot5a^2)+(Xtot5a^2));
% Isc5a = Ib5/Znet5a;
Isc5a = 8828.2126;

% VARIASI 5 75%-75%
Rtot5b = R1+R3+R4+R5+R6+R7;
Xtot5b = X1+X3+X4+(X5/0.75)+(X6/0.75)+X7;
Znet5b = sqrt((Rtot5b^2)+(Xtot5b^2));
% Isc5b = Ib5/Znet5b;
Isc5b = 10100.1734;

% VARIASI 5 80%-80%
Rtot5c = R1+R3+R4+R5+R6+R7;
Xtot5c = X1+X3+X4+(X5/0.8)+(X6/0.8)+X7;
Znet5c = sqrt((Rtot5c^2)+(Xtot5c^2));
% Isc5c = Ib5/Znet5c;
Isc5c = 10264.68583;

% VARIASI 5 85%-85%
Rtot5d = R1+R3+R4+R5+R6+R7;
Xtot5d = X1+X3+X4+(X5/0.85)+(X6/0.85)+X7;
Znet5d = sqrt((Rtot5d^2)+(Xtot5d^2));
% Isc5d = Ib5/Znet5d;
Isc5d = 10582.29705;

% Skenario 1
varx1 = [Isc1a, Isc1b, Isc1c, Isc1d];
vary1 = [60, 80, 100, 110];

% Skenario 2
varx2 = [Isc2a, Isc2b, Isc2c, Isc2d];
vary2 = [40, 50, 60, 100];
% Skenario 3
varx3 = [Isc3a, Isc3b, Isc3c, Isc3d];
vary3 = [60, 80, 100, 110];
% Skenario 4
varx4 = [Isc4a, Isc4b, Isc4c, Isc4d];
vary4 = [60, 80, 100, 110];

```

```

% Skenario 5
varx5 = [Isc5a,Isc5b,Isc5c,Isc5d];
vary5 = [60,75,80,85];

% grafik 2D menggunakan hasil Isc tiap skenario
figure
plot(vary1,varx1)
title('Grafik Isc - SKENARIO 1')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
% legend('VARIASI 1','VARIASI 2','VARIASI 3')
grid minor

% hold on
figure
plot (vary2,varx2)
title('Grafik Isc - SKENARIO 2')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
% legend('VARIASI 1','VARIASI 2','VARIASI 3')
grid minor

% hold on
figure
plot (vary3,varx3)
title('Grafik Isc - SKENARIO 3')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
% legend('VARIASI 1','VARIASI 2','VARIASI 3')
grid minor

figure
plot (vary4,varx4)
title('Grafik Isc - SKENARIO 4')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
% legend('VARIASI 1','VARIASI 2','VARIASI 3')
grid minor

figure
plot (vary5,varx5)
title('Grafik Isc - SKENARIO 5')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
% legend('VARIASI 1','VARIASI 2','VARIASI 3')

```

```

grid minor

figure
subplot (5,1,1)
plot (vary1,varx1)
title('Grafik Isc - SKENARIO 1')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,2)
plot (vary2,varx2)
title('Grafik Isc - SKENARIO 2')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,3)
plot (vary3,varx3)
title('Grafik Isc - SKENARIO 3')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,4)
plot (vary4,varx4)
title('Grafik Isc - SKENARIO 4')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,5)
plot (vary5,varx5)
title('Grafik Isc - SKENARIO 5')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

% Skenario 1
Isc1a = 5974.996762;
Isc1aa = 6377.650313;
Isc1b = 6436.956592;
Isc1bb = 6760.102654;
Isc1c = 6832.952244;
Isc1cc = 7081.360174;
Isc1d = 7176.139557;
Isc1dd = 7354.619717;
Isc1e = 7476.400949;
Isc1ee = 7589.631407;
Isc1f = 7741.302106;

```

```
varx1 = [60,65,70,75,80,85,90,95,100,105,110];  
vary1 =  
[Isc1a,Isc1aa,Isc1b,Isc1bb,Isc1c,Isc1cc,Isc1d,Isc1dd,Isc1e,Is  
c1ee,Isc1f];
```

```
%% Skenario 2
```

```
Isc2a = 5954.574487;  
Isc2b = 7010.54185;  
Isc2c = 7950.106635;  
Isc2d = 8791.402114;  
Isc2e = 9549.000598;  
Isc2f = 10234.74242;  
Isc2g = 10858.34471;  
varx2 = [40,50,60,70,80,90,100];  
vary2 = [Isc2a,Isc2b,Isc2c,Isc2d,Isc2e,Isc2f,Isc2g];
```

```
%% Skenario 3
```

```
Isc3a = 2825.708624;  
Isc3aa = 3049.502007;  
Isc3b = 3271.592584;  
Isc3bb = 3491.999479;  
Isc3c = 3710.741533;  
Isc3cc = 3927.837313;  
Isc3d = 4143.30511;  
Isc3dd = 4357.162954;  
Isc3e = 4569.428607;  
Isc3ee = 4780.119579;  
Isc3f = 4989.253124;  
varx3 = [60,65,70,75,80,85,90,95,100,105,110];  
vary3 =  
[Isc3a,Isc3aa,Isc3b,Isc3bb,Isc3c,Isc3cc,Isc3d,Isc3dd,Isc3e,Is  
c3ee,Isc3f];
```

```
%% Skenario 4
```

```
Isc4a = 4955.227721;  
Isc4aa = 5304.278994;  
Isc4b = 5646.015865;  
Isc4bb = 5980.786033;  
Isc4c = 6308.907072;  
Isc4cc = 6630.670103;  
Isc4d = 6946.342911;  
Isc4dd = 7256.172614;  
Isc4e = 7560.387953;  
Isc4ee = 7859.20127;  
Isc4f = 8152.81022;  
varx4 = [60,65,70,75,80,85,90,95,100,105,110];  
vary4 =  
[Isc4a,Isc4aa,Isc4b,Isc4bb,Isc4c,Isc4cc,Isc4d,Isc4dd,Isc4e,Is  
c4ee,Isc4f];
```

```

%% Skenario 5
Isc5a = 8828.2126;
Isc5b = 9214.758436;
Isc5c = 9582.116136;
Isc5d = 9931.67287;
Isc5e = 10264.68583;
Isc5f = 10582.29705;
varx5 = [60,65,70,75,80,85];
vary5 = [Isc5a,Isc5b,Isc5c,Isc5d,Isc5e,Isc5f];

%% grafik 2D menggunakan hasil Isc tiap skenario
figure
plot(varx1,vary1)
title('Grafik Isc - SKENARIO 1')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
grid minor

figure
plot (varx2,vary2)
title('Grafik Isc - SKENARIO 2')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
grid minor

figure
plot (varx3,vary3)
title('Grafik Isc - SKENARIO 3')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
grid minor

figure
plot (varx4,vary4)
title('Grafik Isc - SKENARIO 4')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
grid minor

figure
plot (varx5,vary5)
title('Grafik Isc - SKENARIO 5')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label
grid minor

```

```

%% Grafik Gabungan
figure
subplot (5,1,1)
plot (varx1,vary1)
title('Grafik Isc - SKENARIO 1')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,2)
plot (varx2,vary2)
title('Grafik Isc - SKENARIO 2')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,3)
plot (varx3,vary3)
title('Grafik Isc - SKENARIO 3')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,4)
plot (varx4,vary4)
title('Grafik Isc - SKENARIO 4')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

subplot (5,1,5)
plot (varx5,vary5)
title('Grafik Isc - SKENARIO 5')
xlabel('Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)') % x-axis
label
ylabel('Isc (A)') % y-axis label

%% Tabel Isc Per Skenario
f = figure;
uit = uitable(f);
cn = {'Isc (A)', 'Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)'};
dt =
{Isc1a,60;Isc1aa,65;Isc1b,70;Isc1bb,75;Isc1c,80;Isc1cc,85;Isc
1d,90;Isc1dd,95;Isc1e,100;Isc1ee,105;Isc1f,110};

uit.ColumnName = cn;
uit.Data = dt;
uit.Position = [115 120 345 235]; %[margin L/R, margin T/B,
size horizontal, size vertical]

```

```

txt_title1 = uicontrol('Style','text','Position',[115 380
340 15], 'String', 'Tabel Skenario 1');

f = figure;
uit = uitable(f);
cn = {'Isc (A)', 'Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)'};
dt =
{Isc2a,40;Isc2b,50;Isc2c,60;Isc2d,70;Isc2e,80;Isc2f,90;Isc2g,
100};

uit.ColumnName = cn;
uit.Data = dt;
uit.Position = [115 120 345 235]; %[margin L/R, margin T/B,
size horizontal, size vertical]
txt_title2 = uicontrol('Style','text','Position',[115 380
340 15], 'String', 'Tabel Skenario 2');

f = figure;
uit = uitable(f);
cn = {'Isc (A)', 'Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)'};
dt =
{Isc3a,60;Isc3aa,65;Isc3b,70;Isc3bb,75;Isc3c,80;Isc3cc,85;Isc
3d,90;Isc3dd,95;Isc3e,100;Isc3ee,105;Isc3f,110};

uit.ColumnName = cn;
uit.Data = dt;
uit.Position = [115 120 345 235]; %[margin L/R, margin T/B,
size horizontal, size vertical]
txt_title3 = uicontrol('Style','text','Position',[115 380
340 15], 'String', 'Tabel Skenario 3');

f = figure;
uit = uitable(f);
cn = {'Isc (A)', 'Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)'};
dt =
{Isc4a,60;Isc4aa,65;Isc4b,70;Isc4bb,75;Isc4c,80;Isc4cc,85;Isc
4d,90;Isc4dd,95;Isc4e,100;Isc4ee,105;Isc4f,110};

uit.ColumnName = cn;
uit.Data = dt;
uit.Position = [115 120 345 235]; %[margin L/R, margin T/B,
size horizontal, size vertical]
txt_title4 = uicontrol('Style','text','Position',[115 380
340 15], 'String', 'Tabel Skenario 4');

```

```
f = figure;
uit = uitable(f);
cn = {'Isc (A)', 'Variasi Pembebanan Daya Bow Thruster (%)'};
dt = {Isc5a,60;Isc5b,65;Isc5c,70;Isc5d,75;Isc5e,80;Isc5f,85};

uit.ColumnName = cn;
uit.Data = dt;
uit.Position = [115 120 345 235]; %[margin L/R, margin T/B,
size horizontal, size vertical]
txt_title5 = uicontrol('Style', 'text', 'Position', [115 380
340 15], 'String', 'Tabel Skenario 5');
```

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Dinar Puspita Sari, dilahirkan di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, pada tanggal 30 Oktober 1995. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan di TK Teladan Pertiwi, SD Negeri Sudirman Ambarawa Kabupaten Semarang, SMP Negeri 2 Ambarawa, SMA Negeri 1 Kota Salatiga, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Marine Electrical and Automation System Laboratory (MEAS)*. Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT.

Adiluhung Sarana Segara Madura dan PT. Yasa Wahana Tirta Samudera Semarang. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi dan komunitas. Penulis pernah bergabung dalam Sekretaris Departemen Media Informasi HIMASISKAL FTK-ITS 2015-2016 (Kabinet Mahakarya), Bendahara Umum HIMASISKAL FTK-ITS 2016-2017 (Kabinet ASIK!), Staff IMarEST Indonesia 2015-2016. Penulis dapat dihubungi melalui dinarpuspita90@gmail.com

