



**TUGAS AKHIR – ME184834**

**ANALISA GANGGUAN TEGANGAN JATUH PADA  
SYSTEM KELISTRIKAN TERTUTUP KAPAL *DYNAMIC*  
*POSITIONING* DENGAN SKALA LABORATORIUM**

Prasetyawan  
NRP 0421144000012

Dosen Pembimbing  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc

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





TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISA GANGGUAN TEGANGAN JATUH PADA  
SYSTEM KELISTRIKAN TERTUTUP KAPAL *DYNAMIC*  
*POSITIONING* DENGAN SKALA LABORATORIUM**

Prasetyawan  
NRP. 0421144000012

Dosen Pembimbing  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



*UNDERGRADUATE THESIS – ME184834*

***ANALYSIS DROP VOLTAGE DISORDER ON ELECTRICAL  
SYSTEMS CLOSED SHIP DYNAMIC POSITIONING WITH  
LABORATORY SCALE***

Prasetyawan  
NRP. 04211440000012

*Supervisor*  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA GANGGUAN TEGANGAN JATUH PADA SYSTEM KELISTRIKAN  
TERTUTUP KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* DENGAN SKALA  
LABORATORIUM**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

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

Oleh:

**Prasetyawan**

NRP 0421 14 40 000012

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

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

(  )

2. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.  
NIP. 197903272003121001

(  )

**SURABAYA**

Juli, 2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

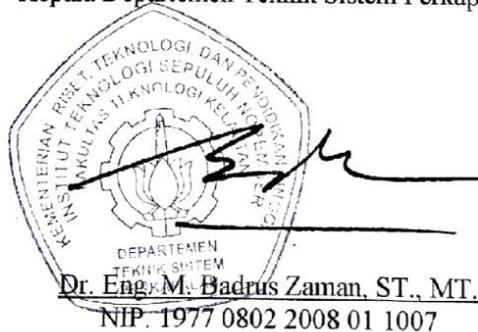
### ANALISA GANGGUAN TEGANGAN JATUH PADA SYSTEM KELISTRIKAN TERTUTUP KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* DENGAN SKALA LABORATORIUM

#### TUGAS AKHIR

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

Oleh:  
**Prasetyawan**  
NRP 0421 14 40 000012

Disetujui Oleh:  
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.**  
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ANALISA GANGGUAN TEGANGAN JATUH PADA SYSTEM KELISTRIKAN TERTUTUP KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* DENGAN SKALA LABORATORIUM

**Nama Mahasiswa** : Prasetyawan  
**NRP** : 0421144000012  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc  
2. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc,

## ABSTRAK

Kapal dengan *dynamic positioning* memiliki kemampuan khusus antara lain, menjaga posisi kapal pada lokasi yang ditetapkan, mengikuti *refrence point* untuk bergerak sesuai dengan jalur yang ditentukan dan pekerja lainnya. Beberapa pekerjaan kapal dengan *dynamic positioning* memiliki risiko tinggi jika terjadi kegagalan dalam hal ini kehilangan posisinya. Hampir seluruh peralatan penunjang *dynamic positioning* merupakan instalasi kelistrikan, menurut data statistic tahun 1994-2003 kegagalan kehilangan posisi yang fatal akibat suplai daya sebesar 10,6% dan sistem elektrikal 6,1% (Li, 2013). Oleh karena itu kualitas tegangan listrik menjadi Salah satu faktor penting pada sebuah sistem kelistrikan kapal. Buruknya kualitas tegangan yang dihasilkan dapat mengakibatkan penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan dapat mengurangi *lifetime* dari peralatan listrik tersebut. Tegangan jatuh yang terjadi pada beban listrik di kapal sering dihiraukan oleh ABK dan jarang mendapat perhatian khusus. Pada penelitian ini dilakukan uji laboratorium tegangan jatuh untuk mengetahui tegangan jatuh. Uji laboratorium ini dilakukan pada beberapa konfigurasi suplai daya dan variasi beban. Hasil uji laboratorium didapatkan tegangan jatuh pada setiap skenario konfigurasi dan variasi beban. Tegangan jatuh terjadi pada semua beban di semua komponen pada seluruh konfigurasi suplai daya dan seluruh variasi beban. Namun ada Tegangan jatuh yang melewati standar IEC. Pada skenario 2 (1 generator *thruster*) hal ini dikarenakan pada skenario tersebut 1 buah generator harus menompang beban 2 motor sendiri tanpa bantuan dari generator lain. Sebagai contoh pada skenario 2 variasi 1 komponen motor 1 terjadi tegangan jatuh yang melewati standart sebesar 12,63% dan motor 2 12,71 %. Karna terjadi tegangan jatuh dan ada yang melewati standart maka harus dilakukan metode perbaikan untuk memperbaiki nilai tegangan jatuh, Metode perbaikan diterapkan pada semua skenario dengan menambahkan kapasitor pada sistem. Upaya ini meminimalkan tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 1 yang terjadi pada motor *thruster 1* 12,63% turun menjadi 0,614 %, motor *thruster 2* dari 12,7193% turun menjadi -0,263% dan generator *thruster 1* dari 12,719% menjadi 0,526%.

**Kata kunci** : Tegangan Jatuh, *Voltage*, *Dynamic Positioning*, Sistem Tertutup, *Generator*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***ANALYSIS DROP VOLTAGE DISORDER ON ELECTRICAL SYSTEMS CLOSED SHIP DYNAMIC POSITIONING WITH LABORATORY SCALE***

**Student Name** : Prasetyawan  
**NRP** : 0421144000012  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Supervisors** : 1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc  
2. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc,

**ABSTRACT**

Dynamic positioning vessels have special capabilities, among others, maintaining the position of the ship at the specified location, following the reference point to move according to the specified path and other workers. Some work with dynamic positioning ships have a high risk of failure in this case losing their position. Almost all dynamic positioning supporting equipment is an electrical installation, according to statistics from 1994-2003 failure to lose a fatal position due to power supply of 10.6% and 6.1% electrical systems (Li, 2013). Therefore the quality of the electric voltage becomes one of the important factors in a ship's electrical system. The poor quality of the voltage produced can result in a decrease in the reliability of the power system and can reduce the lifetime of the electrical equipment. Falling stress that occurs in electrical loads on ships is often ignored by ABK and rarely gets special attention. In this study a laboratory test of falling voltage was conducted to determine the falling voltage. This laboratory test is carried out on several power supply configurations and load variations. Laboratory test results show that the voltage falls in each configuration scenario and load variation. Falling voltage occurs in all loads in all components in the entire power supply configuration and all load variations. But there is a voltage drop that exceeds the IEC standard. In scenario 2 (1 generator thruster) this is because in this scenario 1 generator must load 2 motors themselves without the help of another generator. For example, in scenario 2 variations in 1 component of motor 1 there is a voltage drop that passes the standard of 12.63% and motor 2 is 12.71%. Because the voltage falls and someone passes the standard, a repair method must be done to improve the value of falling voltage. The repair method is applied to all scenarios by adding capacitors to the system. This effort to minimize the falling voltage in scenario 2 variations in load 1 which occurred on the 1 thruster motor 12.63% fell to 0.614%, thruster motor 2 from 12.7193% fell to -0.263% and generator thruster 1 from 12.719% to 0.526%.

**Keywords:** Falling Voltage, Voltage, Dynamic Positioning, Closed Systems, Generators

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisa Gangguan Tegangan Jatuh Pada System Kelistrikan Tertutup Kapal *Dynamic Positioning* Dengan Skala Laboratorium” dapat diselesaikan sesuai dengan yang harapan dan waktu yang tepat, sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik pada bidang studi Listrik Kapal dan Otomasi, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, tentu penulis mendapatkan bimbingan, arahan, koreksi, saran dan dukungan untuk itu penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak berjasa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Orang tua penulis, alm. Bapak Ginting Hardi Purwanto dan Ibu Cleoba Samijanti serta kakak dan adik penulis, yang tak henti memberikan dukungan moral maupun material terhadap penulis sehingga mampu meringankan beban penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
2. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. dan Bapak Indra Ranu Kusuma S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengkoreksi dan memberikan motivasi selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak. Ir. Agoes Santoso, M.Sc selaku Dosen Wali yang telah membimbing dan membantu penulis selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
4. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS yang telah mengajarkan ilmu dan memberikan motivasi selama perkuliahan.
5. Seluruh Teman satu pembimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini, terutama Iji dan Yose, yang telah menjadi teman diskusi dan berpikir mulai dari merumuskan judul penelitian sampai dengan penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Mercusuar 2014, yang sudah membantu dan bekerja sama dalam menyelesaikan 5 tahun masa perkuliahan di jurusan tercinta.
7. Teman-teman Dewan maupun staff DPM SEMERU ITS 2016-2017 dan member MEAS , yang sudah membantu dan bekerja sama dalam menyelesaikan 5 tahun masa perkuliahan di jurusan tercinta.
8. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan diri di masa depan. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat untuk

pembaca, rekan-rekan mahasiswa dan untuk perkembangan penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |                              |
|---|------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN.....  | Error! Bookmark not defined. |
| ABSTRAK.....  | ix                           |
| KATA PENGANTAR .....  | xiii                         |
| DAFTAR ISI.....   | xv                           |
| DAFTAR GAMBAR.....  | xvii                         |
| DAFTAR GRAFIK .....   | xix                          |
| DAFTAR TABEL.....   | xxi                          |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>  | <b>1</b>                     |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1                            |
| 1.2 Perumusan Masalah.....  | 3                            |
| 1.3 Batasan Masalah.....  | 3                            |
| 1.4 Tujuan .....  | 3                            |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                      | <b>5</b>                     |
| 2.2 <i>Dynamic Positioning</i> .....                                      | 5                            |
| 2.2.1 Elemen umum pada <i>dynamic postioning</i> .....                    | 8                            |
| 2.2.2 Mode Operasi pada <i>Dynamic Positioning System</i> .....           | 10                           |
| 2.2.3 Klasifikasi <i>dynamic positioning</i> .....                        | 10                           |
| 2.3 Sistem <i>thruster</i> dengan <i>dynamic positioning system</i> ..... | 12                           |
| 2.4 Penggunaan sistem DP pada kapal AHTS atau OSV.....                    | 13                           |
| 2.5 Motor listrik.....  | 13                           |
| 2.6 Jenis-jenis motor listrik .....                                       | 14                           |
| 2.6.1 Motor DC .....  | 14                           |
| 2.6.2 Motor AC .....  | 15                           |
| 2.7 Prinsip kerja Motor Induksi 3 Fasa .....                              | 15                           |
| 2.8 Sistem distribusi listrik.....  | 15                           |
| 2.8.1 Open (split) Bus.....   | 16                           |
| 2.8.2 Closed Bus.....   | 16                           |
| 2.9 Kestabilan Tegangan .....   | 17                           |
| 2.10 Tegangan Listrik.....  | 17                           |
| 2.11 Tegangan Jatuh.....  | 18                           |
| 2.11.1 Penyebab Tegangan Jatuh .....                                      | 19                           |
| 2.11.2 Standard tegangan jatuh .....                                      | 20                           |
| 2.11.3 Perbaikan Tegangan Jatuh.....                                      | 21                           |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.11.4 Rectifier .....   | 22        |
| <b>BAB III METODOLOGI.....</b>   | <b>25</b> |
| 3.1 Flow chart metodologi penelitian.....  | 26        |
| 3.2 Perumusan masalah .....  | 26        |
| 3.3 Studi literature .....   | 27        |
| 3.5 Pengambilan data.....  | 34        |
| 3.6 Hasil dan pembahasan .....   | 34        |
| 3.7 Kesimpulan dan Saran.....  | 34        |
| <b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>   | <b>35</b> |
| 4.1 Data Utama Kapal .....   | 35        |
| 4.2 Spesifikasi Komponen.....  | 36        |
| 4.3 Memodelkan Peralatan Laboratorium .....  | 37        |
| 4.4 Perencanaan skenario konfigurasi suplai daya menuju beban listrik Kapal<br>AHTS BNI Castor .....   | 38        |
| 4.4.1 Skenario 1 (2 buah <i>generator thruster</i> ) .....   | 38        |
| 4.4.2 Skenario 2, ( 1 buah <i>generator thruster</i> ) .....   | 38        |
| 4.4.3 Skenario 3, ( 1 buah <i>generator thruster</i> + 1 buah <i>diesel geneartor</i> ).....   | 38        |
| 4.5 Hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 1 (dua <i>Generator thruster</i> untuk<br>dua buah <i>bow thruster</i> ).....  | 39        |
| 4.6 Hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 2 (Satu <i>Generator thruster</i> untuk<br>dua buah <i>bow thruster</i> ).....   | 43        |
| 4.7 Hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 3 konfigurasi <i>closed bus</i> (satu<br><i>generator thruster</i> parallel dengan satu buah DG untuk seluruh <i>bow thruster</i> )..... | 45        |
| 4.8 Analisis Tegangan Jatuh 3 Konfigurasi Sistem Suplai Daya. ....   | 47        |
| 4.9 Perbaikan dengan kapasitor .....   | 51        |
| 4.10 Analisis perbaikan Tegangan Jatuh 3 Konfigurasi Sistem Suplai Daya.....   | 53        |
| 4.11 Perbandingan perbaikan dengan sebelum perbaikan .....   | 56        |
| <b>BAB V KESIMPULAN.....</b>   | <b>58</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 58        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>60</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>  | <b>62</b> |
| <b>BIODATA PENULIS .....</b>   | <b>88</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Kapal Eureka 1961 .....   | 6  |
| Gambar 2. 2 Enam derajat kebebasan pada kapal .....   | 7  |
| Gambar 2. 3 Diagram skematik dari sistem dynamic positioning .....  | 8  |
| Gambar 2. 4 Hubungan antar elemen pada sistem DP secara ringkas .....   | 9  |
| Gambar 2. 5 Contoh konfigurasi thruster pada kapal dengan dynamic positioning system .....                    | 12 |
| Gambar 2. 6 ilustrasi sistem DP pada kapal OSV .....  | 13 |
| Gambar 2. 7 Diagram klasifikasi jenis-jenis motor listrik.....  | 14 |
| Gambar 2. 8 Aliran air dalam bejana.....  | 18 |
| Gambar 2. 9 Standar tegangan jatuh berdasarkan BKI .....  | 21 |
| Gambar 2. 10 Perbaikan factor daya .....  | 22 |
| <br>  |    |
| Gambar 3. 1 <i>Flow Chart Metodeologi Penelitian</i> .....  | 26 |
| Gambar 3. 2 Three Phase Induction Motor Squirrel Two Speed,Feed Back 64-500 sebagai bow thruster 2.....       | 27 |
| Gambar 3. 3 Three Phase Induction Motor- Squirrel Cage Two Pole Feed Back 64-530 sebagai bow thruster 1 ..... | 28 |
| Gambar 3. 4 hree phase sync/async motor/generator-slip ring sebagai pembangkit untuk beban thruster .....     | 28 |
| Gambar 3. 5 Three phase synchronous/generator-wound rotor sebagai pembangkit untuk beban thruster .....       | 29 |
| Gambar 3. 6 Regulator sebagai alat untuk memberi arus exitasi .....   | 29 |
| Gambar 3. 7 Motor dc sebagai penggerak untuk generator thruster .....   | 30 |
| Gambar 3. 8 phase sebagai penggerak diesel generator .....  | 30 |
| Gambar 3. 9 Generator 3 phase sebagai generator thruster .....  | 31 |
| Gambar 3. 10 Generator 3 phase sebagai diesel generator.....  | 31 |
| Gambar 3. 11 Panel praktikum parallel generator .....   | 32 |
| Gambar 3. 12 Panel praktikum generator 3 phase.....   | 32 |
| Gambar 3. 13 Tang meter/clamp meter untuk mengukur arus dan tegangan.....                                     | 33 |
| Gambar 3. 14 Tachometer untuk mengukur putaran motor dan generator.....                                       | 33 |
| Gambar 3. 15 Single and three measurement untuk mengukur daya,tegangan,atrus,cos phidan lain2 .....           | 34 |
| <br>  |    |
| Gambar 4. 1 Kapal BNI Castor .....  | 35 |
| Gambar 4. 2 Skema Pemodelan Peralatan Laboratorium.....   | 37 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GRAFIK

|  |    |
|--|----|
| Grafik 4. 1 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 1.....                                     | 48 |
| Grafik 4. 2 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 2.....                                     | 49 |
| Grafik 4. 3 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 3.....                                     | 50 |
| Grafik 4. 4 Perbandingan Nilai perbaikan Tegangan Jatuh Pada Skenario 1.....                           | 53 |
| Grafik 4. 5 Perbandingan Nilai Perbaikan Tegangan Jatuh Pada Skenario 2.....                           | 54 |
| Grafik 4. 6 Perbandingan Nilai Perbaikan Tegangan Jatuh Pada Skenario 3.....                           | 55 |
| Grafik 4. 7 Perbandingan nilai tegangan jatuh setelah perbaikan pada skenario 1 variasi beban 1 .....  | 56 |
| Grafik 4. 8 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 1 variasi Beban 1 Setelah Perbaikan.....   | 62 |
| Grafik 4. 9 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 1 variasi beban 2 setelah perbaikan .....  | 63 |
| Grafik 4. 10 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 1 variasi beban 3 setelah perbaikan ..... | 63 |
| Grafik 4. 11 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 1 setelah perbaikan ..... | 64 |
| Grafik 4. 12 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 2 setelah perbaikan ..... | 64 |
| Grafik 4. 13 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 3 setelah perbaikan ..... | 65 |
| Grafik 4. 14 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 3 variasi beban 1 setelah perbaikan ..... | 65 |
| Grafik 4. 15 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 3 variasi beban 2 setelah perbaikan ..... | 66 |
| Grafik 4. 16 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 3 variasi beban 3 setelah perbaikan ..... | 66 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Standard drop voltage IEC .....  | 21 |
| Tabel 4. 1 Variasi Beban pada skenario 1 .....  | 38 |
| Tabel 4. 2 Variasi Beban pada skenario 2 .....  | 38 |
| Tabel 4. 3 Variasi Beban Pada Skenario 3 .....  | 39 |
| Tabel 4. 4 Hasil perhitungan reaktansi dan resistansi per komponen .....                                | 40 |
| Tabel 4. 5 Hasil perhitungan reaktansi dan resistansi untuk sistem .....                                | 40 |
| Tabel 4. 6 Hasil Hitungan Tegangan Jatuh Skenario 1 Variasi Beban 1.....                                | 40 |
| Tabel 4. 7 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 1 Variasi Beban 1 .....  | 41 |
| Tabel 4. 8 Hasil Uji Laboratorium Tegangan jatuh Pada Skenario 1 Variasi Beban 1 ..                     | 41 |
| Tabel 4. 9 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 1 Variasi Beban 2 .....  | 41 |
| Tabel 4. 10 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 1 Variasi 2.....                        | 42 |
| Tabel 4. 11 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 1 Variasi Beban 3 ..... | 42 |
| Tabel 4. 12 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 1 Variasi 3.....                        | 42 |
| Tabel 4. 13 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 2 Variasi Beban 1 ..... | 43 |
| Tabel 4. 14 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 2 Variasi 1 .....                       | 43 |
| Tabel 4. 15 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 2 Variasi Beban 2 ..... | 44 |
| Tabel 4. 16 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 2 Variasi 2.....                        | 44 |
| Tabel 4. 17 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 2 Variasi Beban 3 ..... | 44 |
| Tabel 4. 18 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 2 Variasi 3.....                        | 44 |
| Tabel 4. 19 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 3 Variasi Beban 1 ..... | 45 |
| Tabel 4. 20 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 3 Variasi 1 .....                       | 45 |
| Tabel 4. 21 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 3 Variasi Beban 2 ..... | 46 |
| Tabel 4. 22 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 3 Variasi 2.....                        | 46 |
| Tabel 4. 23 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 3 Variasi Beban 3 ..... | 47 |
| Tabel 4. 24 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 3 Variasi 3.....                        | 47 |
| Tabel 4. 25 Rangkuman Nilai Tegangan Jatuh Pada Setiap Skenario.....                                    | 50 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pekerjaan di atas laut tidak lepas dari kapal dan bangunan laut. Beberapa Kapal khusus dan Bangunan laut dituntut untuk dapat mempertahankan posisi dalam beberapa waktu untuk menyelesaikan pekerjaan di atas laut. Ditambah lagi saat berada di laut dalam tidak memungkinkan dilakukan *anchoring dan mooring*. Seperti contohnya pada kapal *cable laying vessel, pipes laying vessel, heavy lifting, logistic vessels, mobile offshore drilling units* dan lain lain yang bekerja di laut dalam.

*Dynamic Positioning* merupakan sistem kontrol kompleks yang memiliki fungsi utama secara otomatis menjaga suatu bangunan laut atau kapal melawan 6 derajat kebebasan kapal dan gangguan dari gelombang laut, arus laut, dan udara untuk berada pada posisi yang ditentukan ataupun bergerak menuju *way point* yang sudah di rencanakan. Terdapat 3 komponen utama dalam *Dynamic Positioning system* secara umum yaitu *control system, power system, dan propulsion system* (Holvik, 1998).

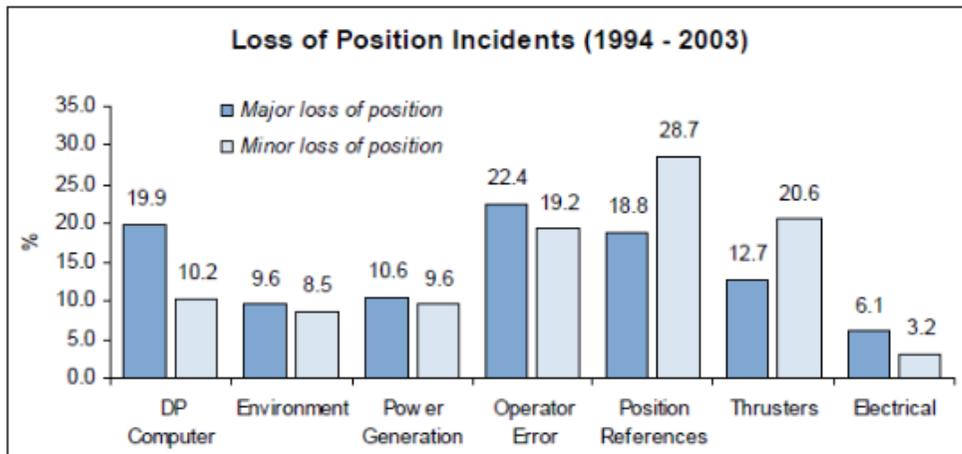
Menurut salah satu *classification requirements 3 class Dynamic Positioning System* dibagi berdasarkan keandalannya. Pada DP kelas 0 dan 1 tidak memiliki redundansi. DP 2 dan DP 3 memiliki redundansi yang fungsinya untuk meningkatkan keandalan suatu kapal, dan untuk mengurangi kemungkinan kehilangan posisi karena risiko pekerjaan dengan kondisi alam yang *ekstrim* (Amaerican Bureau of Shipping, 2013).

Redundansi pada kapal dengan kelas DP 2 dan DP 3 terdapat pada komponen aktif sistem *dynamic positioning* seperti generator, thruster, dan lainnya. Sehingga jika terjadi kegagalan tunggal pada salah satu komponen aktif, tidak akan terjadi kemungkinan kehilangan posisi kapal saat penggunaan *dynamic positioning mode*.

Umumnya Kapal dengan *dynamic positioning system* menggunakan motor elektrik terutama pada *bow thruster* dan *stern thruster*. Untuk menjaga suatu kapal di laut lepas dapat berada pada posisi yang diinginkan maupun bergerak mengikuti *refrence point* yang telah dibuat maka suatu motor listrik tersebut harus dapat bekerja dengan load yang naik turun secara signifikan mengikuti keadaan cuaca. Terdapat beberapa factor yang mempengaruhi terjadinya kehilangan posisi pada kapal maupun bangunan aut dengan sistem DP yaitu factor ingkungan dimana perubahan cuaca tiba tiba akan pengaruhi pembacaan sensor-sensor, DP operator atau *Human error* kurangnya pengalaman, kebiasaan saat bekerja ataupun pengetahuan mengenai DP, serta komponen *dynamic positioning system* sendiri salah satunya kehilangan daya pada sistem *power supply*.

pada kapal umumnya ada dua yaitu *split bus* maupun *closed bus*. Umumnya kapal menggunakan konfigurasi *closed bus* dimana seluruh beban mendapatkan suplai daya dari satu main bus yang disuplai oleh beberapa generator. Namun, untuk kapal dengan sistem DP yang dituntut memiliki tingkat keandalan tinggi. *closed bus* memiliki kekurangan dimana jika terjadi kegagalan pada main bus akan mempengaruhi seluruh beban listrik, sehingga Kapal dengan sistem DP umumnya

menggunakan konfigurasi *split bus* yaitu, konfigurasi dimana satu beban contohnya *thruster* di suplai oleh satu generator independen untuk meningkatkan keandalannya (Roa, 2016). Namun, konfigurasi ini juga memiliki kekurangan dari aspek efisiensi dan emisi yang di timbulkan oleh suplai dayanya . Meskipun sudah memiliki keandalan yang tinggi dari data statistic tahun 1994-2003 kegagalan kehilangan posisi yang fatal akibat suplai daya sebesar 10,6% dan sistem elektrikal 6,1% (Li, 2013). dapat dilihat pada data statistik insiden DP di bawah ini .



Gambar 1. 1 Data Statistik *loss of position incidents (1994-2003)*

Sumber : Tjallema, 2007

Oleh karena itu, dibutuhkan kualitas tegangan yang baik agar tidak terjadi kerusakan pada komponen listrik khususnya motor listrik sebagai komponen inti *dynamic positioning system*. Tegangan jatuh atau *drop voltage* ialah suatu kondisi dimana jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima persis penerimanya (beban listrik) (Wahyudianto et al., 2016) Kondisi tersebut dapat membuat kualitas tegangan menjadi buruk dan mengakibatkan meningkatnya arus listrik (Wahyudianto et al., 2016).

Akibat jatuh tegangan yang melebihi standar atau toleransi akan mengakibatkan peralatan listrik atau beban listrik tidak bisa bekerja secara maksimal bahkan akan menimbulkan kerusakan (Asy'ari, 2011) untuk mengurangi terjadinya kerusakan atau pun kegagalan pada motor listrik akibat tegangan jatuh dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis tegangan jatuh pada sistem kelistrikan Kapal AHTS BNI Castor akibat penggunaan propulsi elektrik pada saat *dynamic positioning mode* pada beberapa konfigurasi suplai daya menggunakan metode simulasi. Salah satu cara perhitungan tegangan jatuh yaitu dengan *load flow analysis* yang di simulasikan menggunakan *software*, dengan metode newton-raphson. Pada saat simulasi sistem yang bermasalah akan menampilkan nilai dan tanda berwarna merah.

*Load flow studies* digunakan untuk mengetahui aliran daya listrik yang ditransfer dari generator kepada beban-beban listrik pada tugas akhir ini tentunya

pada beban peralatan listrik di kapal yang melewati *grid system* dengan stabil, keandalan penuh, dan ekonomis (Dharamjit and D.K, 2012)

### **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Apakah terjadi tegangan jatuh pada sistem kelistrikan tertutup pada dynamic positioning kapal ?
2. Apakah drop tegangan saat penggunaan sistem *dynamic positioning* berdasarkan uji laboratorium memenuhi standard drop tegangan ?
3. Jika drop tegangan yang terjadi belum memenuhi standard, bagaimana cara sistem kelistrikan agar dapat memenuhi standard ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada Tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Hanya menganalisis tegangan jatuh yang terjadi pada sistem kelistrikan menggunakan peralatan laboratorium MEAS.
2. Tidak melakukan analisis terhadap performa dari motor listrik.

### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai tegangan jatuh yang terjadi pada sistem kelistrikan di tertutup dinamic positioning pada skala laboratorium
2. Memberikan solusi memperbaiki tegangan jatuh yang terjadi agar dapat memenuhi standard tegangan jatuh

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

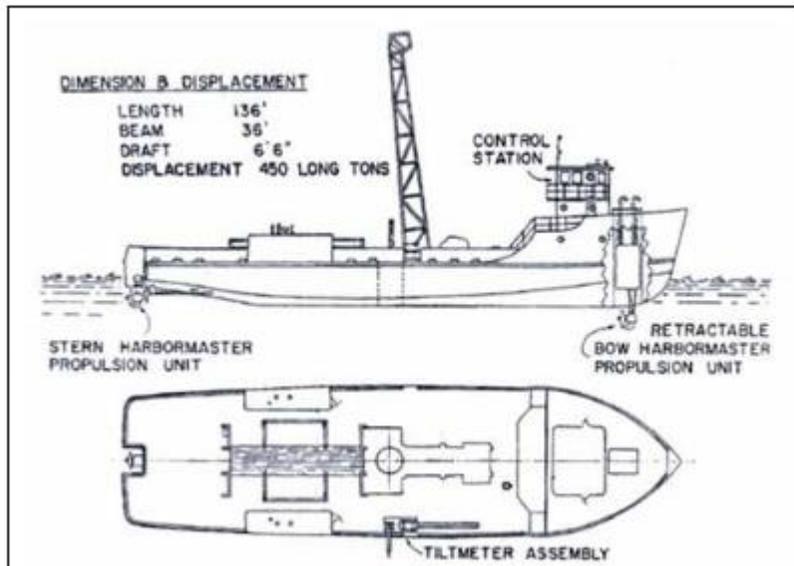
*Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) merupakan jenis kapal yang dirancang khusus untuk melayani pekerjaan - pekerjaan eksplorasi dilepas pantai atau *offshore*. Kapal *Anchor Handling Tug Supply* ini mempunyai ciri khusus seperti badan kapal kecil dengan daya mesin induk yang besar, sistem propeller ganda dan dilengkapi dengan alat bantu manuver untuk mempertahankan posisi (Bow Thruster, Stern Thruster, dan Azimuth Thruster). Perlengkapan kerja lainnya berupa *Anchor, Towing Winch Engine* dan perlengkapan tangki – tangki untuk mutan curah (*Bulk Material Tank*) dan perlengkapan – perlengkapan lain yang sewaktu-waktu bisa berubah. Di beberapa kasus, AHTS *vessel* juga difungsikan sebagai kapal penyelamat darurat atau *Emergency Rescue and Recovery Vessel* (ERRV) (Sutisna S et al., 2017). Kapal AHTS umumnya dilengkapi dengan sistem DP untuk mendukung pekerjaannya klasifikasi sistem DP pada AHTS berdasarkan analisis risiko pada jenis pekerjaan dan lokasi operasi kapal tersebut.

### 1.2 *Dynamic Positioning*

*Dynamic positioning* dimulai pada tahun 1960 pada saat itu untuk membantu melaksanakan pengeboran lepas pantai. pengeboran saat itu mulai bergerak dari lepas pantai menuju laut dalam, saat itu tongkang Jack-up pun tidak dapat lagi digunakan dan cara anchoring menjadi kurang ekonomis.

Pada awalnya kapal dengan *dyanamic positioning* pertama hanya memiliki pengendali analog namun tidak memiliki redundansi, setelah berjalannya waktu kemudian dilakukan perbaikan pada sistem *dynamic positioning*. Dewasa ini, penggunaan *dynamic positinong system* tidak hanya pada kapal-kapal offshore saja. Karena, saat ini DP tidak terbatas hanya untuk dapat mempertahankan posisi suatu kapal saja. Salah satu kemungkinan lainnya adalah berlayar dengan tepat menuju *way point* yang di rencanakan, berguna untuk proyek *cable laying, pipe laying, survey* dan tugas lainnya

”Eureka” di bangun pada tahun 1961 merupakan kapal pertama yang dilengkapi dengan sistem yang komply dengan definis dari DP. ”Eureka” dengan menggunakan dua buah thruster pada bagian *bow* dan *stern* membuat kapal tersebut mampu menjaga posisinya secara otomatis (Li, 2013).pada gambar 1.1 dapat dilihat ilustrasi kapal ”eureka”. Keandalan serta kapabilitas dai sistem pada wkatu tidak cukup tinggi, sistem DP pada saat itu juga hanya digunakan untuk pekerjaan offshore yang mudah.



Gambar 2. 1 Kapal Eureka 1961  
 Sumber : <http://gcaptain.com/history/>

Tujuan utama sistem DP adalah untuk kontrol otomatis kapal atau bangunan laut untuk mempertahankan atau menjaga posisi serta pergerakannya dengan menggunakan propeller, kemudi, dan beberapa *thruster*.

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, diilustrasikan pada gambar dibawah.

*surge (forward/astern)*

*sway (starboard/port)*

*heave (up/down)*

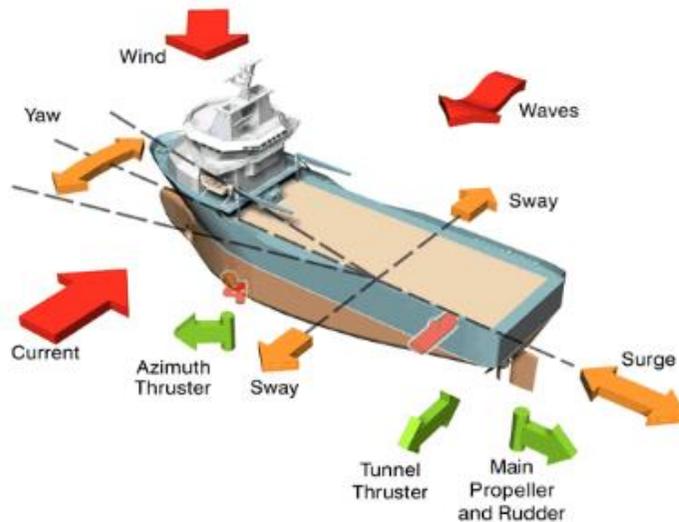
serta tiga gerakan secara rotasi :

*roll (rotation about surge axis)*

*pitch (rotation about sway axis)*

*yaw (rotation about heave axis)*

*Dynamic positioning system* hanya dapat mengontrol atau mengatasi gaya horisontal yang bekerja pada kapal yaitu 3 sumbu : *surge, sway and yaw* (Holvik, 1998)



Gambar 2. 2 Enam derajat kebebasan pada kapal  
 Sumber : (<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/>)

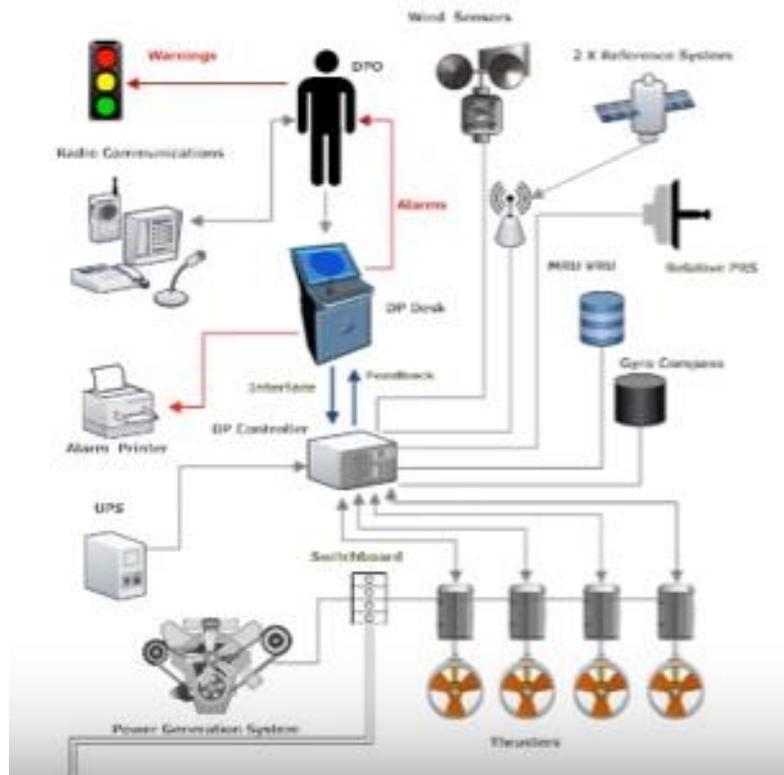
*Dynamic positioning* didefinisikan oleh (IMCA, 2003), (International Marine Contractors Association) sebagai: "Suatu sistem yang secara otomatis mengendalikan posisi kapal dan arahnya dengan menggunakan pendorong aktif".

Definisi ini menjelaskan bahwa DP system dapat menjaga posisi kapal pada suatu ordinat tertentu, manouver dengan jalur yang telah ditentukan, dan juga *tracking*. Untuk melakukan semua tugas diatas, pembagian tugas dan sumber harus dirincikan dengan jelas.

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 *references and sensors* dan membandingkan dengan *pre-set data*. Lalu sistem kontrol DP akan mengkontrol sistem propulsi untuk mengeliminasi error-error diantara posisi aktualnya dan *heading data and pre-set data* (Li, 2013). Prosedur pekerjaan sistem DP secara simple diilustrasikan pada gambar dibawah



- *Thruster System* : umumnya, terdapat dua buah jenis yang biasa digunakan pada kapal dengan sistem 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). Berikut ini adalah salah satu contoh hubungan antar elemen dari sistem DP secara ringkas



Gambar 2. 4 Hubungan antar elemen pada sistem DP secara ringkas  
 Sumber : [https://www.youtube.com/watch?v=\\_RD\\_dehNnp0&t=42s](https://www.youtube.com/watch?v=_RD_dehNnp0&t=42s)

1. Seorang operator DP (STC OOW Minimum)
2. Sebuah DP controller computer
3. Man machine interface or DP desk
4. Power generation system & switchboard
5. Thrsters and motors (station keeping)
6. 2 refrence systems for position (PRS) (surge,sway)
7. Gyrocompass for heading (yaw)
8. Motion Refrence Units (MRU) (heave, pitch, roll)
9. Sensor lingkungan (i.e. wind sensors)
10. Feedback to the controller (The model)

11. *Backup Uninterruptable Power Supply (UPS)*
12. *Communications system*
13. *System alarms dan alarmed printer*
14. *Alerting or alarm system traffic lights.*

### **1.2.2 Mode Operasi pada *Dynamic Positioning System***

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)

### **1.2.3 Klasifikasi *dynamic positioning***

*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*.

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* :

- i. Untuk kapal dengan notasi DPS-0, atau DPS-1, kehilangan posisi dapat terjadi jika terjadi kesalahan tunggal, tidak ada persyaratan untuk sistem 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
- ii. 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
- iii. 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:

- 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.
- Operasi Kelas 2 dimana kehilangan kemampuan menjaga posisi dapat menyebabkan cedera, polusi, atau kerusakan dengan konsekuensi ekonomi yang besar.
- 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:

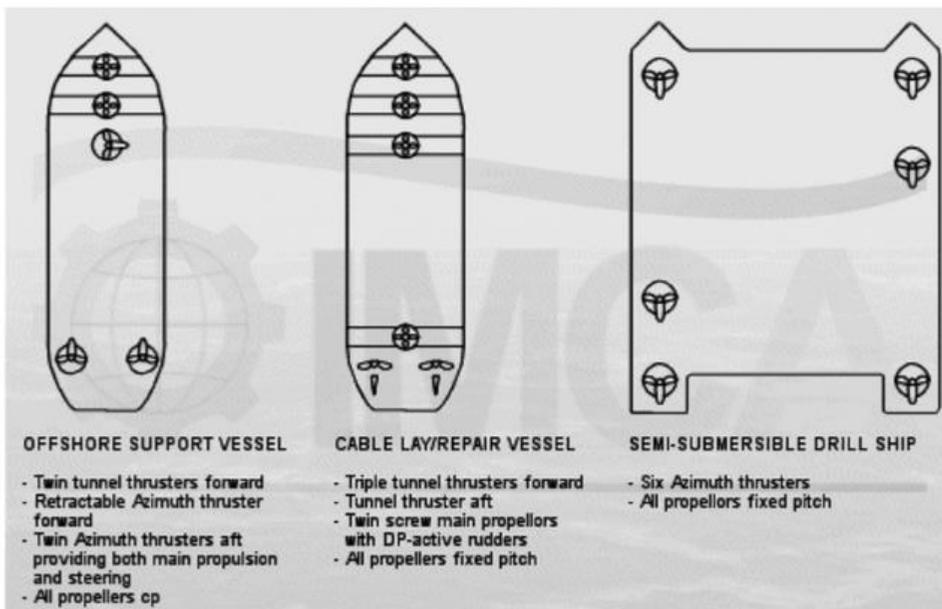
- Unit Kelas 1 DP dengan kelas peralatan 1 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi tidak dianggap membahayakan jiwa manusia, menyebabkan kerusakan yang signifikan atau lebih dari polusi minimal.
- Unit kelas 2 DP dengan kelas peralatan 2 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan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

- 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.

### 1.3 Sistem *thruster* dengan *dynamic positioning system*

Suatu kapal dapat bergerak karena sistem pendorong atau sistem penggerak kapal tersebut mampu melawan gaya yang bekerja pada lambung kapal atau tahanan kapal. Terdapat banyak pilihan konfigurasi *propulsion plant* contohnya pada kapal *offshore dupply vessels*, *propulsion plants* dibagi menjadi tiga yaitu *diesel mechanical*, *hybrid propulsion*, dan *diesel electrical* (Herdzik, 2013)

Dewasa ini *diesel electrical* menjadi tipe propulsi yang paling banyak di pakai di kapal-kapal dengan DP system. Pada kapal dengan sistem DP terdapat 3 jenis sistem propulsi utama yaitu *main propeller (surge and yaw motion)*, *Tunnel thruster (sway and yaw motion)* dan *asimuth thruster (sway and yaw motion)* (marine technology comitee, 2012). Konfigurasi serta jumlah propulsi yang digunakan pada tiap kapal dengan DP system tergantung dengan misi dan kebutuhan kapal tersebut.



Gambar 2. 5 Contoh konfigurasi thruster pada kapal dengan dynamic positioning system

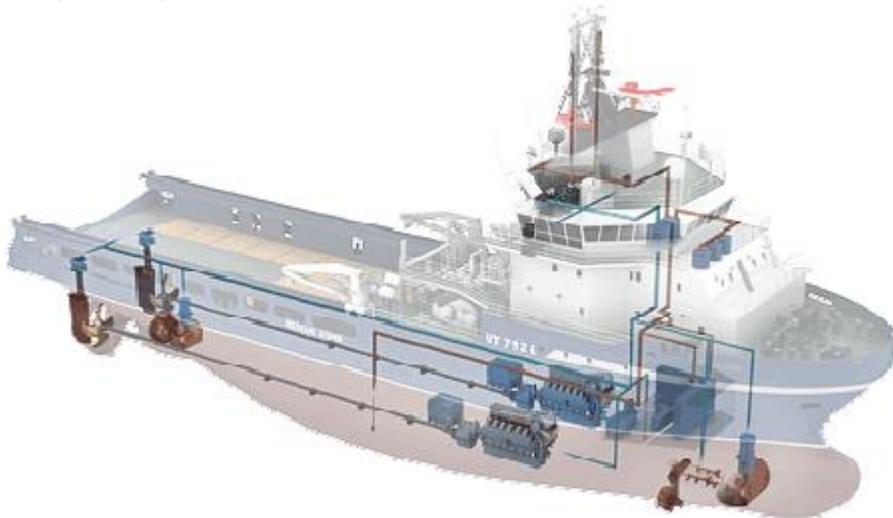
Sumber : <https://www.imca-int.com/divisions/marine/>

Kapal dengan sistem DP harus memiliki konfigurasi serta lokasi propulsi yang tepat untuk dapat mengendalikan kapal dengan baik. Umumnya kapal dengan DP sistem memiliki lambung tunggal yang di konfigurasi dengan enam pendorong yang di letakkan tiga pada haluan dan tiga pada sisi buritan lambung kapal, jenis

propulso yang biasa diletakkan pada jenis kapal lambung tunggal yaitu *tunnel thruster*. Propulsi yang biasanya juga digunakan pada buritan dan haluan yaitu *Azimuth thruster*, *Azimuth thruster* berlokasi di bawah dasar kapal dimana memiliki kemampuan untuk berputar dan memberikan dorongan kesegala arah.

#### 1.4 Penggunaan sistem DP pada kapal AHTS atau OSV

Sebuah kapal OSV yang dilengkapi dengan sistem DP dapat melakukan beberapa pekerjaan antara lain : penyelaman dan operasi penunjang ROV; *offshore supplying support*; *cable lay* dan operasi perbaikan; *seabed tractors* dan operasi pengerukan; survey dan operasi penunjang ROV; operasi *pipe laying*; operasi *rock dumping*; operasi *dredging* dan seterusnya. Dengan bantuan dari sistem DP, efisiensi dari operasi meningkat sangat drastis, karena tidak di perlukannya operaso secara manual (Li, 2013).

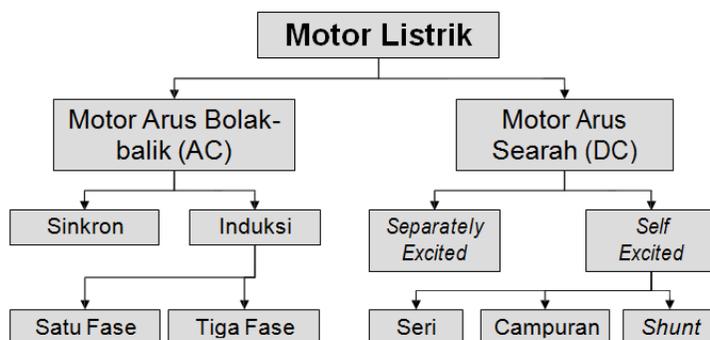


Gambar 2. 6 ilustrasi sistem DP pada kapal OSV

Sumber : [http://www.rolls-royce.com/marine/products/automation\\_control/positioning\\_systems/](http://www.rolls-royce.com/marine/products/automation_control/positioning_systems/)

#### 1.5 Motor listrik

Motor listrik adalah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak mekanik, dimana energi mekanik tersebut berupa putaran dari motor (Sumanto, 1995). Berikut adalah klasifikasi jenis-jenis motor listrik



Gambar 2. 7 Diagram klasifikasi jenis-jenis motor listrik

Sumber : Laporan praktikum listrik perkapalan

Prinsip kerja motor listrik, tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa : kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama, tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar, dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap.

Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok:

- Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsi tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.
- Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

## 1.6 Jenis-jenis motor listrik

Motor listrik digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu mesin arus searah dan mesin arus bolak-balik. Motor arus bolak-balik, terutama motor induksi terbanyak dipakai dalam industri, sedangkan motor arus searah dipergunakan untuk tujuan-tujuan khusus.

### 1.6.1 Motor DC

Motor DC adalah sebuah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa putaran, dikatakan motor dc disebabkan

oleh sumber tegangannya yang menggunakan sumber tegangan arus searah atau yang sering disebut dengan *direct current* (DC). Motor dc harus memiliki komponen tambahan yaitu penguat, oleh karena itu Motor DC dibagi menjadi dua yaitu Motor DC penguatan sendiri dan Motor DC penguatan terpisah .

### 1.6.2 Motor AC

Motor AC merupakan sebuah motor listrik yang tenaga penggerakannya berasal dari arus bolak-balik (arus AC). Motor AC lebih sering digunakan dalam industri dari pada motor DC. Tetapi motor AC ini tidak dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan rendah dan juga umumnya memiliki torsi yang kecil sehingga banyak digunakan pada aplikasi komponen listrik dengan beban rendah seperti compressor, motor, atau pompa. Motor AC juga memiliki karakteristik sulit dalam pengaturan kecepatan, dimana diperlukan inverter untuk mengatur pasokan daya menuju motor listrik jenis ini.

## 1.7 Prinsip kerja Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbulah medan putar dengan kecepatan

$$N_s = 120 f / P \quad (2.1)$$

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor, sehingga pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi atau gaya gerak listrik (ggl) perfasa sebesar:

$$E_r = 4,44 f_s N_r \Phi_m \quad (2.2)$$

Karena kumparan rotor merupakan  $m$  rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya Lorentz (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya bahwa tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor rotor oleh medan magnet putar stator. Artinya agar adanya tegangan terinduksi maka diperlukan relatif antara kecepatan medan magnet putar stator ( $N_s$ ) dan kecepatan putar rotor ( $N_r$ ). Dan perbedaan antara  $N_s$  dan  $N_r$  ini disebut dengan slip (S). yang dinyatakan dengan

$$Slip = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \quad (2.3)$$

Bila  $N_r = N_s$ , tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan timbul bila  $N_r < N_s$ . Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron (Berlianti, 2015).

## 1.8 Sistem distribusi listrik

Sistem distribusi tenaga listrik dibagi menjadi tiga tahapan yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dalam penyaluran tenaga listrik, sistem distribusi merupakan bagian penting untuk menyalurkan energi listrik

kepada konsumen. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional memerlukan sistem transmisi dan distribusi agar tenaga listrik bisa sampai memenuhi kebutuhan beban. Sistem distribusi bertugas untuk membagi tenaga listrik ke beberapa pusat beban melalui gardu induk dan gardu hubung (Arbi, 2017). Pada kapal umumnya ada dua sistem konfigurasi distribusi yaitu *open (split) bus* dan *closed bus*.

### 1.8.1 Open (split) Bus

Konfigurasi *open (split) bus* merupakan tipikal yang paling sering digunakan pada kapal dengan *dynami positioning system*. konfigurasi *split plant (islanded)* memiliki keunggulan dimana konfigurasi ini mengeliminasi serta mengurangi kemungkinan terjadinya satu kegagalan yang berdampak pada seluruh sistem kelistrikan. Contoh konfigurasi *split plant* pada kapal yaitu pada kapal dengan dua *thruster* masing-masing *thruster* mendapatkan daya oleh masing-masing satu generator independen. Dengan konfigurasi ini jika terjadi insiden pada salah satu bus tidak akan mempengaruhi bus atau sistem listrik lainnya (Roa, 2016).

### 1.8.2 Closed Bus

Konfigurasi *closed bus* yaitu konfigurasi dimana suatu kumpulan beban listrik di supply oleh lebih dari satu generator yang terhubung pada satu bus utama. Sistem konfigurasi *closed bus* merupakan sistem yang ideal dimana beban listrik dapat dibagi pada generator dengan jumlah yang sedikit sesuai dengan kebutuhan, yang berarti sistem dapat dioperasikan pada jumlah generator yang minimal dengan persen kondisi maksimum yang berdampak terhadap peningkatan efisiensi, pengurangan bahan bakar, mengurangi waktu perawatan, dan mereduksi emisi. Perubahan aturan dari MARPOL telah memaksa operator untuk mengoperasikan mesin pada load yang lebih besar untuk mengurangi emisi. Karena itu, bus tertutup adalah konfigurasi yang ideal karena beban bisa didistribusikan pada jumlah generator yang lebih sedikit. Namun, konfigurasi *closed bus* memiliki kekurangan jika terjadi kegagalan pada main bus dan sistem tersebut tidak memiliki sistem redundansi maka kegagalan mempengaruhi seluruh beban pada bus tersebut (Roa, 2016).

MARPOL Annex VI mewajibkan operator DP untuk mengurangi emisi (SOX, NOX, dan CO<sub>2</sub>), Pada kapal yang beroperasi di *Emission Control Area (ECAs)*. mengacu kepada ekonomi dunia menimbulkan peningkatan persaingan diantara DP operator, dimana pertimbangan biaya operasi mengakibatkan operator untuk berusaha mengoperasikan generator pada rating tertinggi untuk mencapai efisiensi maksimum sehingga dapat menghemat konsumsi bahan bakar dan mengurangi waktu kerja dari generator, yang dapat mengurangi biaya perawatan. Oleh karena itu cara mengatasinya, beberapa DP operator mengoperasikan sistem kelistrikan mereka pada sistem bus tertutup. Dengan sistem ini dapat dilakukan pengurangan jumlah generator dan dengan bersamaan efisiensi masing masing generator dapat meningkat. Berikut adalah beberapa keuntungannya :

1. Proses pembakaran lebih baik pada pembebanan maksimum, emisi (SOX dan NOX) secara signifikan dapat dikurangi. Sehingga kapal mudah untuk memenuhi persyaratan aturan polusi tanpa harus menambah ataupun

- mengeluarkan biaya untuk peralatan penurun emisi akibat penggunaan generator pada pembebanan rendah.
2. Total kebutuhan daya dapat dibagi sama rata pada setiap generator pada susunan bus tertutup, sehingga generator dapat dioperasikan pada efisiensi maksimum dan mengurangi konsumsi bahan bakar.
  3. penumpukan karbon pada bagian internal dari mesin yang muncul karena operasi terus-menerus pada pembebanan rendah, akan berkurang dengan Peningkatan pembebanan maksimum sehingga mengurangi perawatan secara berkala.
  4. Pada pembebanan yang sama jumlah generator yang digunakan dapat dikurangi, dengan demikian dapat mengurangi *running hour* dari generator secara drastic dan mengurangi biaya perawatan.

### 1.9 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan level tegangan pada batas yang diizinkan di semua bus apabila terjadi gangguan. Sebuah sistem dapat dikatakan stabil apabila mampu menjaga naik turun level tegangan pada batas yang sesuai standar dalam jangka waktu yang diizinkan saat terjadi keadaan tidak seimbang. Sebaliknya sistem tidak stabil apabila tidak dapat mengembalikan keadaan semula apabila terjadi gangguan. Salah satu penyebab ketidakstabilan adalah ketidaksinkronan antara kebutuhan beban dan pembangkitan. Biasanya gangguan yang terjadi adalah lepasnya beban yang signifikan pada saat thruster dengan tiba tiba melepas bebannya karena cuaca yang ekstrim atau lepasnya generator sehingga tegangan menjadi beresilasi tidak stabil.

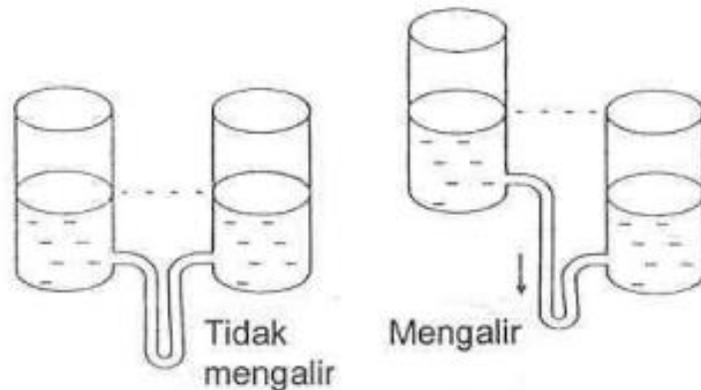
Kestabilan berdasarkan gangguan yang terjadi dapat dikategorikan menjadi dua yaitu kestabilan tegangan akibat gangguan besar dan kestabilan tegangan akibat gangguan kecil. Gangguan besar yang terjadi adalah hilangnya supply dari generator (*generator outage*), perubahan beban yang besar dan *short circuit*. Sedangkan gangguan kecil yaitu perubahan beban dengan kapasitas yang kecil.

Kestabilan berdasarkan lama gangguan dapat dibedakan menjadi gangguan jangka pendek dan jangka panjang. Gangguan kestabilan jangka pendek mengakibatkan *voltage dip* dan *voltage swell*. Sedangkan gangguan kestabilan jangka panjang dapat mengakibatkan *undervoltage* dan *over voltage*.

### 1.10 Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Tegangan listrik dapat dinalogikan pada suatu sistem aliran air. Terdapat 2 tabung yang dihubungkan dengan pipa seperti pada gambar dibawah, Jika kedua tabung ditaruh di atas meja maka permukaan air pada kedua tabung akan sama dan tidak terjadi aliran air di dalam pipa tersebut. Kemudian, jika salah satu tabung diangkat lebih tinggi dari tabung yang lain secara otomatis air akan mengalir dari tabung yang lebih tinggi posisinya ke tabung

yang lebih rendah. Makin tinggi tabung diangkat makin deras aliran air yang melalui pipa.



Gambar 2. 8 Aliran air dalam bejana

Sumber : Elektronika Dasar, Arus dan Tegangan Listrik

Terjadinya aliran tersebut merupakan bukti dari konsep energi potensial. Tingginya tabung menunjukkan besarnya energi potensial yang dimiliki. Kemudian perbedaan tinggi tabung tersebut yang menentukan besarnya perbedaan potensial. Jadi semakin besar perbedaannya semakin deras aliran air dalam pipa.

Konsep yang sama akan berlaku untuk aliran elektron pada suatu penghantar. Yang menentukan seberapa besar arus yang mengalir adalah besarnya beda potensial (dinyatakan dengan satuan volt). Jadi untuk sebuah konduktor semakin besar beda potensial akan semakin besar pula arus yang mengalir (ranu, 2007).

## 2.11 Tegangan Jatuh

Jatuh tegangan ialah dimana suatu kondisi jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima persis penerimanya (beban listrik). Jatuh tegangan tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diminimalkan (direduksi) agar sesuai dengan standar jatuh tegangan yang ada. *Loss situation* di dalam jaringan distribusi tenaga listrik adalah suatu kondisi atau keadaan dimana suatu sistem distribusi di dalam pendistribusian tenaga listriknya jatuh tegangan yang besar. Jarak dari sumber listrik (generator) atau junction ke beban atau peralatan listrik terlalu jauh, penampang kabel terlalu kecil, dan titik sambung merupakan penyebab susut teknis (Hermanto et al., 2013)

Akibat jatuh tegangan yang melebihi toleransi mengakibatkan banyak peralatan elektronik yang tidak bisa bekerja secara maksimal bahkan beberapa mengalami kerusakan. Peningkatan beban yang bersifat induktif dapat mengakibatkan pada penurunan faktor daya, peningkatan rugi-rugi jaringan, penurunan tegangan khususnya pada ujung saluran, dan regulasi tegangan yang memburuk. Dampak dari tegangan jatuh pada motor listrik adalah panas yang berlebih

atau *overheat* karena apabila tegangan turun maka arus akan naik sehingga menimbulkan panas yang berlebih serta dapat mengurangi efisiensi dan umur dari motor listrik itu sendiri (Asy'ari, 2011).

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

$$\begin{aligned}\Delta V &= I_s \times (R_s + jX) \\ &= I \times Z_s\end{aligned}$$

Dari rumus tersebut nilai impedansi berbanding lurus dengan nilai drop tegangan sehingga apabila nilai impedansi besar, drop tegangan juga semakin besar.

### 2.11.1 Penyebab Tegangan Jatuh

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

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

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

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

Dimana,

$$Eff(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Pin

$Eff(\%)$  : Efisiensi dalam persen (%)

$P_{out}$  : Daya yang keluar (watt)

$P_{in}$  : Daya yang diterima (watt).

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

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

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

### 2.11.2 Standard tegangan jatuh

Standard yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui apakah drop tegangan dapat diterima / tidak dalam penelitian ini adalah IEC (*International Electrotechnical Commission* ). Standard IEC telah mengatur banyak hal yang berhubungan dengan instalasi listrik seperti persyaratan yang harus di desain / diterapkan pada instalasi berkaitan dengan efisiensi listrik. IEC tidak hanya mengatur tentang persyaratan instalasi listrik tetapi juga memberikan sebuah / saran pada proses perbaikan instalasi listrik agar mendapatkan efisiensi yang lebih baik. Salah satu bagian yang diatur oleh IEC adalah kualitas tegangan pada sebuah instalasi listrik. BKI juga mengeluarkan standar tegangan untuk instalasi listrik pada kapal dimana tegangan jatuh di nilai diantara busbar. Tingkat tegangan memiliki pengaruh yang cukup besar pada operasional peralatan dan juga berdampak pada efisiensi energi listrik dari instalasi tersebut, oleh sebab itu mengapa kualitas tegangan diatur dalam standard IEC. Berikut merupakan standard drop voltage / tegangan jatuh yang telah ditetapkan / diatur oleh IEC (*International Electrotechnical Commission* ) dan BKI :

Tabel 2. 1 Standard drop voltage IEC

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

## 2. Rating on the basis of voltage drop

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

Gambar 2. 9 Standar tegangan jatuh berdasarkan BKI

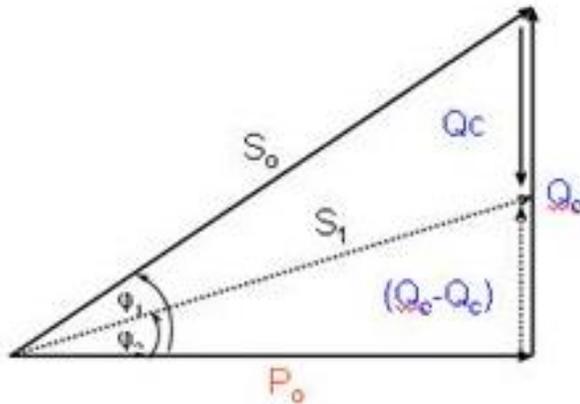
Sumber : BKI *Volume.4 Section.4*

Pada tabel 2.1 menurut IEC 60364-8-1 maksimum tegangan jatuh pada instalasi sistem distribusi listrik di segmen *industry* yang diijinkan adalah sebesar 3% untuk beban penerangan dan 5% untuk beban kelistrikan lainnya, prosentase tersebut disesuaikan dengan berapa besarnya tegangan yang diberikan dari sumber tegangan. Kemudian pada gambar 2.9 di berikan nilai standar tegangan jatuh oleh BKI untuk seluruh peralatan elektronik tidak melebihi 6% dan 10% jika di suplai oleh batrai untuk beban 50 Volt kebwa. Pada penelitian ini di gunakan standar terkecilnya yaitu IEC 5%

### 2.11.3 Perbaikan Tegangan Jatuh

Masalah kualitas tegangan adalah persoalan perubahan tegangan atau arus yang bisa menyebabkan kegagalan atau tidak berfungsinya suatu peralatan dikarenakan bisa menurunkan efisiensi / keandalan dari peralatan tersebut dan hal ini tidak hanya berlaku didarat namun juga di marine ( kapal ). Karena begitu pentingnya kualitas tegangan dapat dikatakan sebagai salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan dalam pengelolaan energi listrik. Metode dalam upaya perbaikan tegangan jatuh pada dasarnya banyak, namun yang umum digunakan pada sistem distribusi menengah adalah dengan menggunakan metode penambahan kapasitor.

Penambahan kapasitor umumnya digunakan untuk perbaikan factor daya. Kapasitor dapat menghasilkan daya reaktif pada jaringan listrik. Jika terdapat rangkaian listrik yang bersifat induktif, saat rangkaian di sambungkan dengan kapasitor maka beban akan mendapatkan suplai daya reaktif dengan begitu mengurangi daya reaktif yang harus di berikan oleh sumber sebesar  $Q_{koreksi}$  (daya reaktif yang berasal dari kapasitor). Sehingga tegangan jatuh dapat di kurangi.



Gambar 2. 10 Perbaikan factor daya  
 Sumber : <https://www.pembangkitlistrik.com>

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa penambahan kapasitor tidak berpengaruh terhadap jumlah daya aktif. Namun terlihat sudut  $\phi$  semakin kecil sehingga nilai factor daya semakin meningkat. Sebelum dilakukan pemasangan perbaikan dengan kapasitor, terlebih dulu dilakukan perhitungan berapa besar jumlah daya reaktif (capasitor) yang di butuhkan pada suatu rangkaian terlebih dahulu.

Perhitungan berapa jumlah daya reaktif yang diperlukan dapat di lakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \quad (2.5)$$

$$\tan (\text{arc cos } \phi) = \frac{Q}{P} \quad (2.6)$$

$$Q = \tan (\text{arc cos } \phi) \times P \quad (2.7)$$

Sehingga :

$$Q_{\text{Compensation}} = Q_{\text{old}} - Q_{\text{new}} \quad (2.8)$$

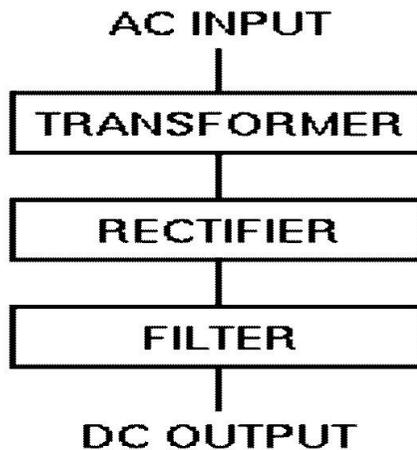
$$= [P \times \tan(\text{arc cos } \phi_{\text{old}})] - [P \times \tan(\text{arc cos } \phi_{\text{new}})] \quad (2.9)$$

$$= P \times [\tan (\text{arc cos } \phi_{\text{lama}}) - \tan(\text{arc cos } \phi_{\text{new}})] \quad (2.10)$$

#### 2.11.4 Rectifier

Konsep dasar penyearah gelombang yang dimaksud dalam artikel ini adalah konsep penyearah gelombang dalam suatu power supply atau catu daya. Penyearah gelombang (rectifier) adalah bagian dari power supply / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (Alternating Current) menjadi tegangan DC (Direct Current). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfigursikan secara forward bias. Dalam sebuah power supply tegangan rendah,

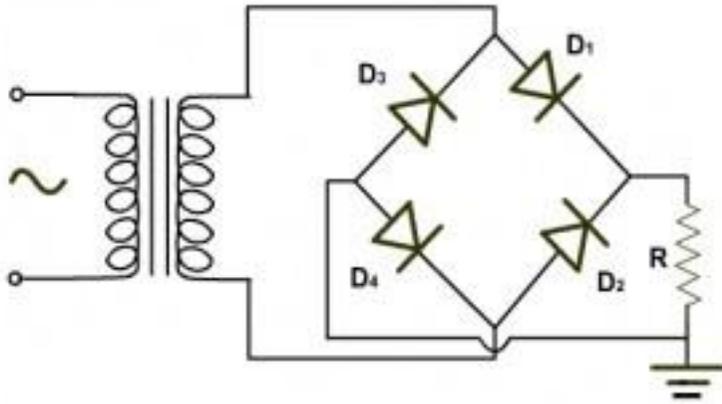
sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator stepdown. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (transformer), penyearah gelombang / rectifier (diode) dan filter (kapasitor) yang digambarkan dalam blok diagram berikut.



Gambar 2. 11 diagram balok rectifier

Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/>

Penyearah Gelombang Penuh (Full wave Rectifier) Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 diode dan 2 diode. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 diode menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 12 Diagram Rectifier

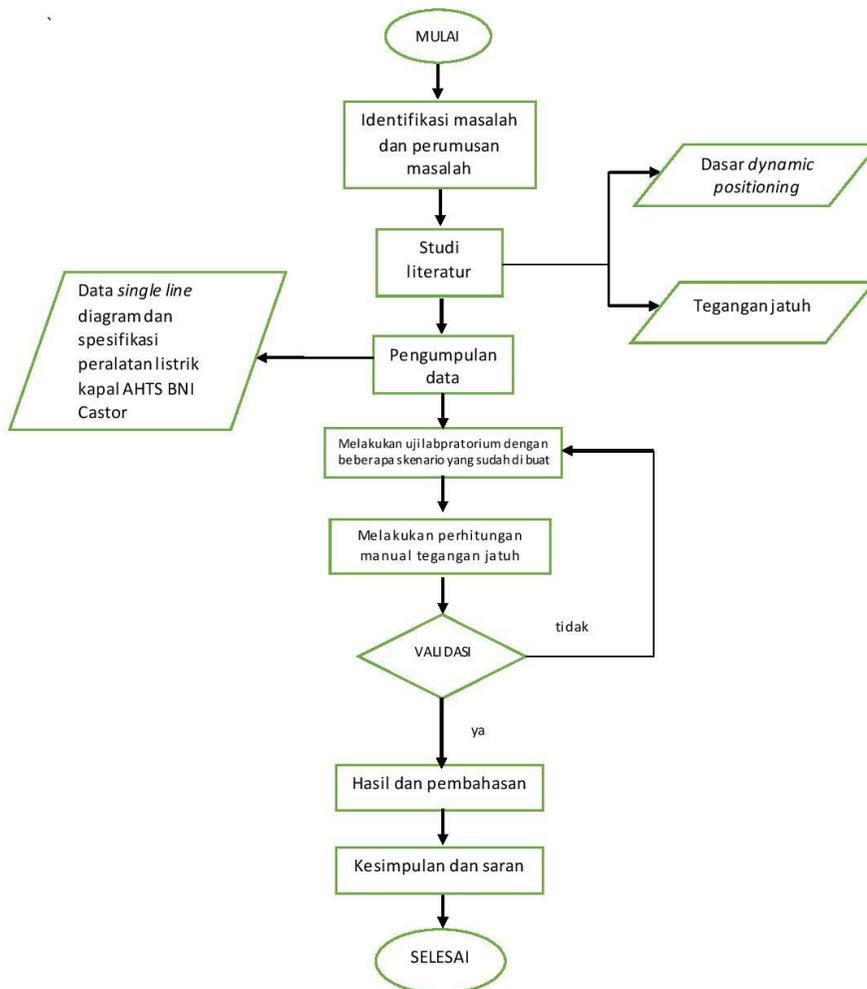
Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/>

### **BAB III METODOLOGI**

Metodologi penelitian merupakan runtutan tahapan secara sistematika proses pengerjaan tugas akhir. Tahap demi tahap mulai dari awal pengerjaan tugas akhir hingga tugas akhir selesai. Metodologi penelitian diperlukan agar pengerjaan tugas akhir dapat berjalan sesuai waktu yang di rencanakan serta mendapatkan hasil yang maksimal. Serta memudahkan penulis dalam pengerjaan tugas akhir karena tahapan di breakdown setiap minggu sehingga pengerjaan akan lebih terarah dan lebih mudah. Dibutuhkan data primer dan data sekunder yang valid, hal ini dikarenakan tugas akhir ini bersifat penelitian dan simulasi.

Tahapan pengerjaan suatu penelitian diperlukan agar penelitian tersebut dapat berjalan sesuai dengan harapan serta runtut sesuai tahap yang disusun. Sehingga di dapatkan hasil yang maksimal. Metodologi yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini secara umum dimulai dari merumuskan masalah, studi literature, pengambilan data, simulasi sistem, validasi hasil, hasil dan pembahasan kemudian ditutup dengan kesimpulan dan saran.

### 3.1 Flow chart metodologi penelitian



Gambar 3. 1 *Flow Chart Metodeologi Penelitian*

### 3.2 Perumusan masalah

Dalam tahap perumusan masalah ditentukan masalah yang akan dianalisis. Dalam tugas akhir ini rumusan masalah yang diangkat yaitu mengenai bagaimana cara melakukan perhitungan tegangan jatuh pada sistem kelistrikan kapal akibat penggunaan sistem propulsi elektrik, menyesuaikan hasil perhitungan dan hasil simulasi dengan standard yang digunakan serta cara melakukan perbaikan pada tegangan jatuh.

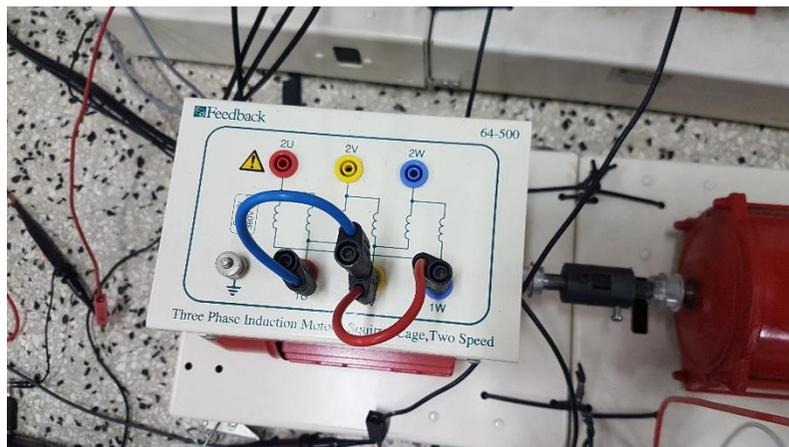
### 3.3 Studi literature

Studi literature merupakan tahapan awal suatu penelitian dimana dengan studi literatur seorang penulis melakukan proses pembelajaran terhadap dasar-dasar masalah dan objek yang akan diteliti. Studi literature dalam tugas akhir ini yaitu mengenai kapal dengan DP system serta tegangan jatuh pada suatu system kelistrikan khususnya system kelistrikan kapal. Namun dalam tugas akhir ini di fokuskan kepada tegangan jatuh yang terjadi pada konfigurasi listrik akibat penggunaan motor elektrik pada *bow thruster*. Serta pengolahan data dari obyek studi literature di arahkan menggunakan *software* simulasi jaringan. Dalam studi literature penulis mendapat sumber dari buku teks, ebook, jurnal, serta makalah tugas akhir dan laporan teknis.

### 3.4 Menyusun Dan Menentukan Perangkat

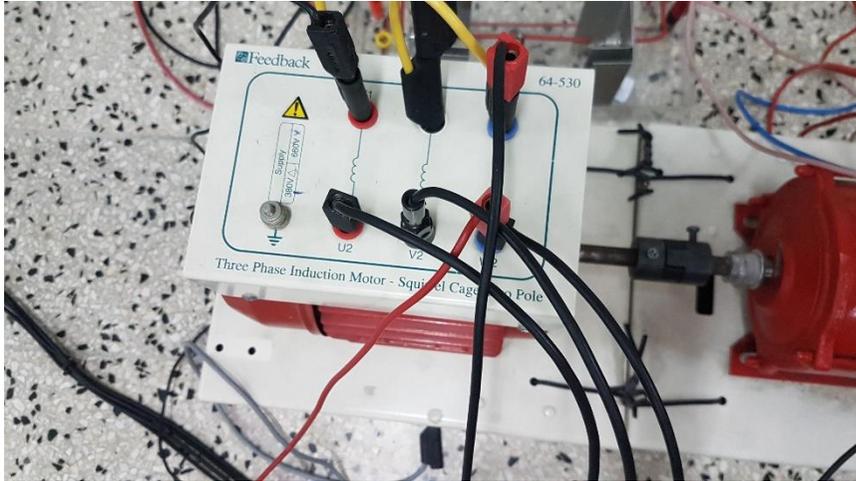
Pada tahap ini dilakukan pemilihan peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam proses sebelum melakukan pengujian tegangan jatuh skala laboratorium.

- a) *Three Phase Induction Motor Squirrel Two Speed,Feed Back 64-500* sebagai *bow thruster 2*



Gambar 3. 2 *Three Phase Induction Motor Squirrel Two Speed,Feed Back 64-500* sebagai *bow thruster 2*

- b) *Three Phase Induction Motor- Squirrel Cage Two Pole Feed Back 64-530* sebagai *bow thruster 1*



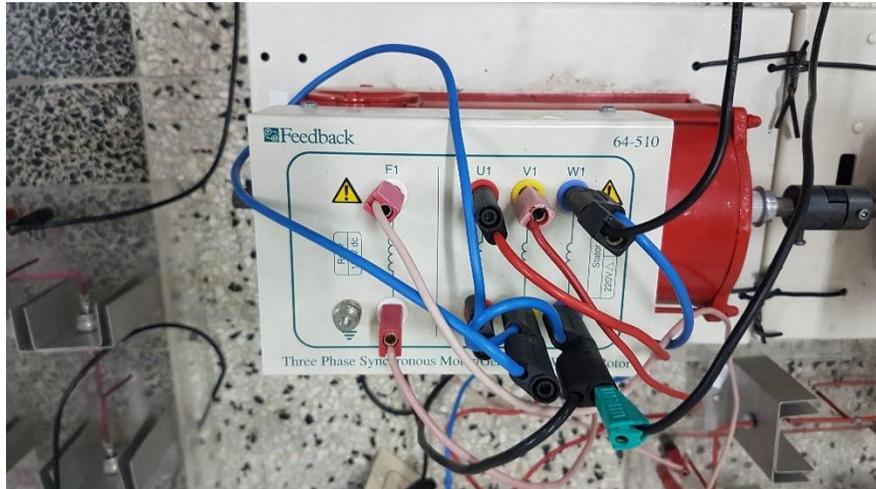
Gambar 3. 3 Three Phase Induction Motor- Squirrel Cage Two Pole Feed Back 64-530 sebagai bow thruster 1

- c) *Three phase sync/async motor/generator-slip ring* sebagai pembangkit untuk beban thruster



Gambar 3. 4 hree phase sync/async motor/generator-slip ring sebagai pembangkit untuk beban thruster

- d) *Three phase synchronous/generator-wound rotor* sebagai pembangkit untuk beban thruster



Gambar 3. 5 Three phase synchronous/generator-wound rotor sebagai pembangkit untuk beban thruster

- e) Regulator sebagai alat untuk memberi arus exitasi



Gambar 3. 6 Regulator sebagai alat untuk memberi arus exitasi

- f) Motor dc sebagai penggerak untuk generator thruster



Gambar 3. 7 Motor dc sebagai penggerak untuk generator thruster

- g) Motor Ac 3 phase sebagai penggerak diesel generator



Gambar 3. 8 phase sebagai penggerak diesel generator

- h) Generator 3 phase sebagai generator thruster



Gambar 3. 9 Generator 3 phase sebagai generator thruster

- i) Generator 3 phase sebagai diesel generator



Gambar 3. 10 Generator 3 phase sebagai diesel generator

## j) Panel praktikum parallel generator



Gambar 3. 11 Panel praktikum parallel generator

## k) Panel praktikum generator 3 phase



Gambar 3. 12 Panel praktikum generator 3 phase

- l) Tang meter/*clamp meter* untuk mengukur arus dan tegangan



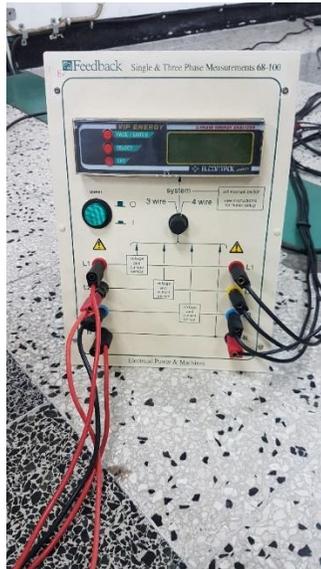
Gambar 3. 13 Tang meter/*clamp meter* untuk mengukur arus dan tegangan

- m) Tachometer untuk mengukur putaran motor dan generator



Gambar 3. 14 Tachometer untuk mengukur putaran motor dan generator

- n) Single and three measurement untuk mengukur daya,tegangan,atrus,cos phidan lain2



Gambar 3. 15 Single and three measurement untuk mengukur daya,tegangan,atrus,cos phidan lain2

### 3.5 Pengambilan data

Pengambilan data pendukung diperlukan untuk menunjang analisis pada tugas akhir ini. adapun data – data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

1. Praktikum uji labroratorium MEAS FTK ITS

### 3.6 Hasil dan pembahasan

Pada tahapan ini menjelaskan data-data yang telah tervalidasi dan sesuai dengan standar tegangan jatuh (IEEE dan IEC). Serta melakukan pembahasan factor apa saja yang bisa menyebabkan beberapa data tidak memenuhi standar atau tidak tevalidasi juga membahas upaya apa yang dilakukan untuk memperbaiki data yang tidak memenuhi standard.

### 3.7 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian. Penulis menarik kesimpulan dari analisis dan pembahasan yang telah di hitung serta memperoleh hasil dan memberikan rekomendasi agar permasalahan dapat di atasi sebagai kontribusi pengerjaan tugas akhir

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Utama Kapal

Pada penelitian ini analisis tegangan jatuh dilakukan pada Kapal AHTS BNI Castor berikut data utama dan dimensi kapal tersebut :

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



Gambar 4. 1 Kapal BNI Castor  
Sumber : <https://www.marinetraffic.com>

## 4.2 Spesifikasi Komponen

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 serta beban kelistrikan lainnya pada kapal yang di tampilkan pada *wiring diagram* di halaman lampiran

### Generator

Generator merupakan sebuah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah energi 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. Pada kapal AHTS BNI Castor terdapat dua jenis Generator.

- *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              |

- 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 di paralelkan 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     |

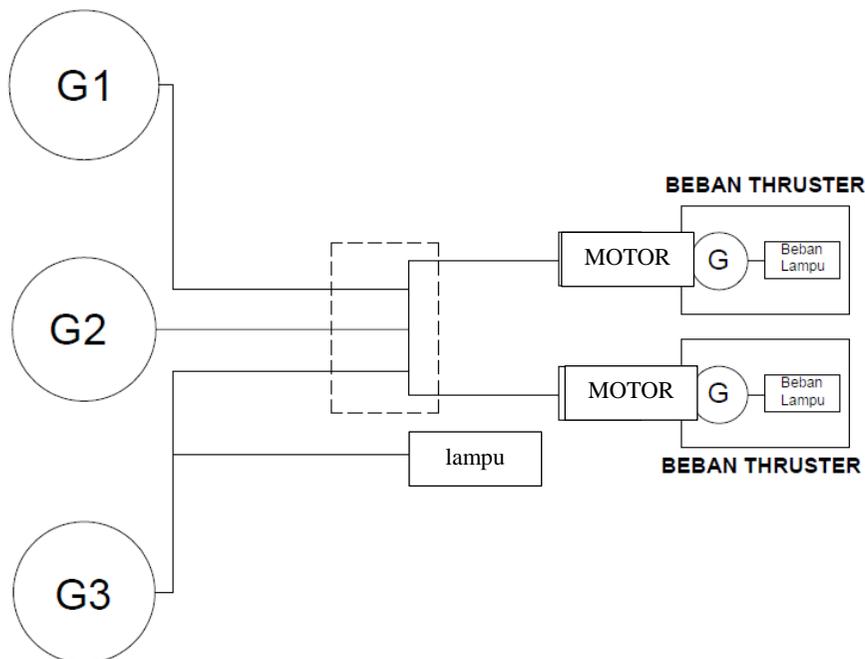
### Motor elektrik *bow thruster*,

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                     |

### 4.3 Memodelkan Peralatan Laboratorium

Berikut adalah pemodelan alat laboratorium untuk penelitian ini :



Gambar 4. 2 Skema Pemodelan Peralatan Laboratorium  
(Sumber : Dokumen Pribadi Prasetyawan 2019)

#### 4.4 Perencanaan skenario konfigurasi suplai daya menuju beban listrik Kapal AHTS BNI Castor

Skenario konfigurasi suplai daya menuju beban listrik pada Kapal AHTS BNI Castor dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan jatuh terendah pada setiap konfigurasi suplai daya yang mungkin pada *mode manovering*. berikut merupakan beberapa skenario konfigurasi yang akan dianalisis oleh penulis :

##### 4.4.1 Skenario 1 (2 buah generator thruster)

Pada skenario 1, analisis dilakukan pada konfigurasi *generator thruster 1* menyuplai *bow thruster 1* dan *Generator thruster 2* menyuplai *bow thruster 2* secara terpisah melalui masing-masing bus atau independen untuk masing-masing bebannya.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan jatuh yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut merupakan variasi pembebanan pada skenario 1 :

Tabel 4. 1 Variasi Beban pada skenario 1

| Variasi Beban Skenario |                       |                       |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| No                     | <i>Bow Thruster 1</i> | <i>Bow Thruster 2</i> |
| 1                      | Beban 60 %            | Beban 75 %            |
| 2                      | Beban 100 %           | Beban 80 %            |
| 3                      | Beban 100 %           | Beban 100 %           |

##### 4.4.2 Skenario 2, ( 1 buah generator thruster)

Pada skenario2, Analisis tegangan jatuh dilakukan dimana satu buah *generator thruster* digunakan untuk suplai daya dua buah *bow thrusters*.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan jatuh yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut merupakan variasi pembebanan pada skenario 2:

Tabel 4. 2 Variasi Beban pada skenario 2

| Variasi Beban Skenario |                       |                       |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| No                     | <i>Bow Thruster 1</i> | <i>Bow Thruster 2</i> |
| 1                      | Beban 40 %            | Beban 40 %            |
| 2                      | Beban 50 %            | Beban 50 %            |
| 3                      | Beban 60 %            | Beban 60 %            |

##### 4.4.3 Skenario 3, ( 1 buah generator thruster + 1 buah diesel geneartor)

Pada skenario 3, analisis tegangan jatuh dilakukan pada konfigurasi suplai daya dimana satu buah generator *thruster* diparalelkan dengan satu buah Diesel Generator untuk suplai daya seluruh beban listrik pada saat beban thruster berjalan.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan jatuh yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa

variasi beban serta beban peralatan listrik yang beroperasi pada *manouvering mode*. Berikut merupakan variasi pembebanan pada skenario 3:

Tabel 4. 3 Variasi Beban Pada Skenario 3

| Variasi Beban Skenario |                |                |
|------------------------|----------------|----------------|
| No                     | Bow Thruster 1 | Bow Thruster 2 |
| 1                      | Beban 75 %     | Beban 75 %     |
| 2                      | Beban 80 %     | Beban 80 %     |
| 3                      | Beban 85 %     | Beban 85 %     |

#### 4.5 Hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 1 (dua Generator thruster untuk dua buah bow thruster)

Setelah dilakukan uji laboratorium diperoleh hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 1 variasi 1. Pertama-tama kita melakukan perhitungan manual sebagai validasi dalam penelitian ini. Berikut perhitungan manual :

- Mencari arus tiap motor

$$I_{motor} = \frac{\% \text{ beban} \times P}{V \times I \times \cos \phi}$$

$$I1 = \frac{60\% \times 200}{380 \times 0,8} \\ = 0.394737 \text{ A}$$

$$I2 = \frac{75\% \times 330}{380 \times 0,8} \\ = 0.814145 \text{ A}$$

- mencari rasio arus untuk mencari arus generator

$$M1 = \frac{0.35 \times 0.72}{0.35} \\ = 3.062$$

$$M2 = \frac{0.72 + 0,35}{0.72} \\ = 1.484$$

- mencari arus masing-masing generator dengan rumus :

$$I_{generator\ 1} = \frac{1}{rasio} \times \text{jumlah arus motor}$$

$$I_{generator\ 1} = \frac{1}{3.062} \times 1.2088 \\ = 0.394737$$

$$I_{generator\ 2} = \frac{1}{1.484} \times 1.2088 \\ = 0.814145$$

- karena adanya losses arus sekitar 26% sehingga arus generator menjadi

$$I_{generator\ 1} = 0.4984$$

$$I_{generator\ 2} = 1.028$$

- melakukan perhitungan impedansi system pada masing2 skenario dan variasi

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan reaktansi dan resistansi per komponen

| Component            | R        | X        | Z = R + jX |     |          |
|----------------------|----------|----------|------------|-----|----------|
| Thruster generator 1 | 35.02083 | 58.36806 | 35.02083   | + j | 58.36806 |
| Thruster generator 2 | 34.64728 | 57.74546 | 34.64728   | + j | 57.74546 |
| Bow Thruster 1       | 1.452668 | 2.421113 | 1.452668   | + j | 2.421113 |
| Bow Thruster 2       | 0.294023 | 0.444521 | 0.294023   | + j | 0.444521 |
| Cable 1              | 0.0504   | 0.78     | 0.0504     | + j | 0.78     |
| Cable 2              | 0.0504   | 0.78     | 0.0504     | + j | 0.78     |
| Cable 3              | 0.0504   | 0.78     | 0.0504     | + j | 0.78     |
| Cable 4              | 0.0504   | 0.78     | 0.0504     | + j | 0.78     |

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan reaktansi dan resistansi untuk sistem

| Branch            | R        | X        |
|-------------------|----------|----------|
| TG 1 + TG 2       | 17.41653 | 29       |
| BT 1 + BT 2       | 0.24453  | 0.3756   |
| Cable 1 + Cable 2 | 0.0252   | 0.3900   |
| Cable 3 + Cable 4 | 0.0252   | 0.3900   |
| Total             | 17.71146 | 29.40311 |

Lalu dapat di cari nilai dari impedansi system melalui rumus

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

Didapatkan hasilnya sebagai berikut :

$$Z_{net} = 34.32548$$

- sehingga hasil hitungan tegangan jatuh sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Hasil Hitungan Tegangan Jatuh Skenario 1 Variasi Beban 1

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan |
|-------------|------------|------------|
| Motor 1     | 13.549532  | 366.450468 |
| Motor 2     | 27.94591   | 352.05409  |
| Generator 1 | 17.109155  | 362.890845 |
| Generator 2 | 35.287632  | 344.712368 |

- validasi dari scenario 1 variasi 1 adalah

Tabel 4. 7 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 1 Variasi Beban 1

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-------------|------------|------------|-------------|-----------|
| Motor 1     | 13.549532  | 366.450468 | 363.3333333 | 0.8506291 |
| Motor 2     | 27.94591   | 352.05409  | 363.6666667 | 3.1931925 |
| Generator 1 | 17.109155  | 362.890845 | 360         | 0.7966156 |
| Generator 2 | 35.287632  | 344.712368 | 359.6666667 | 4.1578218 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.5 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen tidak ada yang melebihi margin error 5%. Dengan selisih tersebut maka dapat dianggap selisih diabaikan dan hasil praktikum yang valid.

#### **Variasi beban 1, bow thruster 1 60% dan bow thruster 2 75%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 1 variasi 1 :

Tabel 4. 8 Hasil Uji Laboratorium Tegangan jatuh Pada Skenario 1 Variasi Beban 1

| Component   | v        | $\Delta v$ | $\Delta v$ % |
|-------------|----------|------------|--------------|
| Motor 1     | 363.3333 | 16.66667   | 4.385965     |
| Motor 2     | 363.6667 | 16.33333   | 4.298246     |
| Generator 1 | 360      | 20         | 5.263158     |
| Generator 2 | 359.6667 | 20.33333   | 5.350877     |

Pada variasi beban 1 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 60% untuk *bow thruster1* dan 75% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.6, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada generator thruster 1 dan 2 melebihi dari standar IEC dengan nilai 5,26% dan 5,35%. Hal ini di karenakan beban yang tidak seimbang pada setiap thrusternya.

#### **Variasi beban 2, bow thruster 1 100% dan bow thruster 2 80%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 1 variasi 2 :

Tabel 4. 9 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 1 Variasi Beban 2

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-------------|------------|------------|-------------|-----------|
| Motor 1     | 22.525921  | 357.474079 | 345.33333   | 3.3962589 |
| Motor 2     | 29.734216  | 350.265784 | 345.33333   | 1.4082022 |
| Generator 1 | 27.690401  | 352.309599 | 346.3333333 | 1.6963108 |
| Generator 2 | 36.551329  | 343.448671 | 346.3333333 | 0.8329151 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.7 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen tidak ada yang melebihi margin error 5%. Dengan selisih tersebut maka dapat dianggap selisih diabaikan dan hasil praktikum yang valid.

Tabel 4. 10 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 1 Variasi 2

| Component   | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-------------|----------|------------|---------------|
| Motor 1     | 345.3333 | 34.66667   | 9.122807      |
| Motor 2     | 345.3333 | 34.66667   | 9.122807      |
| Generator 1 | 346.3333 | 33.66667   | 8.859649      |
| Generator 2 | 346.3333 | 33.66667   | 8.859649      |

Pada variasi beban 2 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 100% untuk *bow thruster 1* dan 80% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.8, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada generator thruster 1, generator thruster 2, *bow thruster 1* dan *bow thruster* melebihi dari standar IEC dengan masing-masing nilai 9,12% ; 9,12% ; 8,859% dan 8,859%. Di karenakan beban yang cukup tinggi mencapai 100% atau menggunakan daya maksimal dari motor thruster tersebut.

#### **variasi beban 3, *bow thruster 1* dan 2 pada load 100%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 1 variasi 3 :

Tabel 4. 11 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 1 Variasi Beban 3

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-------------|------------|------------|-------------|-----------|
| Motor 1     | 22.397453  | 357.602547 | 341.6666667 | 4.4563107 |
| Motor 2     | 3.6955797  | 376.30442  | 342.3333333 | 9.0275546 |
| Generator 1 | 25.197134  | 354.802866 | 342         | 3.6084448 |
| Generator 2 | 4.1575272  | 375.842473 | 342.3333333 | 8.9157405 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.9 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen *bow thruster 1* dan generator thruster 2 melebihi margin error 5%. Hal ini dikarenakan tidak memperhitungkan efisiensi mesin dan generator serta tidak memperhitungkan suhu kabel yang dapat mempengaruhi impedansinya.

Tabel 4. 12 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 1 Variasi 3

| Component   | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-------------|----------|------------|---------------|
| Motor 1     | 341.6667 | 38.33333   | 10.08772      |
| Motor 2     | 342.3333 | 37.66667   | 9.912281      |
| Generator 1 | 342      | 38         | 10            |
| Generator 2 | 342.3333 | 37.66667   | 9.912281      |

Pada variasi beban 3 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 100% untuk *bow thruster1* dan 100% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.10, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada generator thruster 1, generator thruster 2, *bow thruster 1* dan *bow thruster* melebihi dari standar IEC dengan masing-masing nilai 10,08% ; 9,91% ; 10% dan 9,91%. Karena beban yang besar dengan memaksimalkan motor thruster.

#### 4.6 Hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 2 (Satu *Generator thruster* untuk dua buah *bow thruster*)

Setelah dilakukan uji laboratorium diperoleh hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 2 konfigurasi *closed bus* (Satu buah *generator thruster* untuk dua buah *bow thruster*) dengan 3 variasi beban *bow thruster*.

##### **variasi beban 1, *bow thruster 1* dan 2 pada load 40%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 2 variasi 1 :

Tabel 4. 13 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 2 Variasi Beban 1

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-------------|------------|------------|-------------|----------|
| Motor 1     | 18.20892   | 361.79108  | 332         | -8.97322 |
| Motor 2     | 30.044718  | 349.95528  | 331.6666667 | -5.51416 |
| Generator 1 | 49.779444  | 330.22056  | 331.6666667 | 0.436013 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.13 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen, tidak ada yang melebihi margin error 5%. Dengan selisih tersebut maka dapat dianggap selisih diabaikan dan hasil praktikum yang valid.

Tabel 4. 14 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 2 Variasi 1

| Component   | v        | $\Delta v$ | $\Delta v$ % |
|-------------|----------|------------|--------------|
| Motor 1     | 332      | 48         | 12.63158     |
| Motor 2     | 331.6667 | 48.33333   | 12.7193      |
| Generator 1 | 331.6667 | 48.33333   | 12.7193      |

Pada variasi beban 1 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 40% untuk *bow thruster1* dan 40% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.14, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada semua komopnen melebihi dari standar IEC dengan masing-masing nilai 12,63% ; 12,71% ; dan 12,71%. Hal ini dikarenakan satu generator harus menyuplai semua beban sendiri tanpa di bantu oleh generator lainnya.

##### **variasi beban 2, *bow thruster 1* dan 2 pada load 50%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 2 variasi 2 :

Tabel 4. 15 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 2 Variasi Beban 2

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-------------|------------|------------|-------------|-----------|
| Motor 1     | 22.377396  | 343.0726   | 326.3333333 | -4.956268 |
| Motor 2     | 36.922703  | 343.0773   | 327.3333333 | -4.80976  |
| Generator 1 | 59.7745    | 320.2255   | 328.6666667 | 2.568306  |

Dapat dilihat dari data tabel 4.13 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen, tidak ada yang melebihi margin error 5%. Dengan selisih tersebut maka dapat dianggap selisih diabaikan dan hasil praktikum yang valid.

Tabel 4. 16 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 2 Variasi 2

| Component   | v        | $\Delta v$ | $\Delta v$ % |
|-------------|----------|------------|--------------|
| Motor 1     | 326.3333 | 53.66667   | 14.12281     |
| Motor 2     | 327.3333 | 52.66667   | 13.85965     |
| Generator 1 | 328.6667 | 51.33333   | 13.50877     |

Pada variasi beban 2 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 50% untuk *bow thruster 1* dan 50% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.14, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada semua komopnen lebih dari standar IEC dengan masing-masing nilai 14,122% ; 13,859% ; dan 13,508%. Hal ini dikarenakan satu generator harus menyuplai semua beban sendiri tanpa di bantu oleh generator lainnya.

### variasi beban 3, *bow thruster 1* dan 2 pada load 60%

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 2 variasi 3 :

Tabel 4. 17 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 2 Variasi Beban 3

| Component   | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-------------|------------|------------|-------------|----------|
| Motor 1     | 26.767855  | 335.23215  | 324         | -3.28358 |
| Motor 2     | 44.16696   | 335.83304  | 324         | -3.65217 |
| Generator 1 | 74.696509  | 325.30349  | 327.6666667 | 0.61162  |

Dapat dilihat dari data tabel 4.17 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen, tidak ada yang melebihi margin error 5%. Dengan selisih tersebut maka dapat dianggap selisih diabaikan dan hasil praktikum yang valid.

Tabel 4. 18 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 2 Variasi 3

| Component   | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-------------|----------|------------|---------------|
| Motor 1     | 324      | 56         | 14.73684      |
| Motor 2     | 324      | 56         | 14.73684      |
| Generator 1 | 327.6667 | 52.33333   | 13.77193      |

Pada variasi beban 3 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 60% untuk *bow thruster 1* dan 60% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.14, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada semua komopnen melebihi dari standar IEC dengan masing-masing nilai 14,736% ; 14,736% ; dan 13,77%. Hal ini dikarenakan satu generator harus menyuplai semua beban sendiri tanpa di bantu oleh generator lainnya.

#### 4.7 Hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 3 konfigurasi *closed bus* (satu generator thruster parallel dengan satu buah DG untuk seluruh *bow thruster*)

Setelah dilakukan uji laboratorium diperoleh hasil analisis tegangan jatuh pada skenario 4 pada konfigurasi *closed bus* (satu generator thruster parallel dengan satu buah DG untuk seluruh *bow thruster*) dengan 3 variasi beban *bow thruster*.

#### variasi beban 1, *bow thruster 1* dan *bow thruster 2* load 75%

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 3 variasi 1 :

Tabel 4. 19 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 3 Variasi Beban 1

| Component       | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-----------------|------------|------------|-------------|----------|
| Motor 1         | 18.30749   | 361.69251  | 371         | 2.508758 |
| Motor 2         | 30.20736   | 369.79264  | 371.33333   | 0.3504   |
| Disel Generator | 31.85308   | 368.14692  | 370         | 0.5027   |
| Generator 1     | 52.55758   | 327.44242  | 371.33333   | 11.81982 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.19 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen generator thruster 1 melebihi margin error 5%. Hal ini dikarenakan tidak memperhitungkan efisiensi mesin dan generator serta tidak memperhitungkan suhu kabel yang dapat mempengaruhi impedansinya.

Tabel 4. 20 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 3 Variasi 1

| Component       | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------------|----------|------------|---------------|
| Motor 1         | 371      | 9          | 2.368421      |
| Motor 2         | 371.3333 | 8.666667   | 2.280702      |
| Disel Generator | 370      | 10         | 2.631579      |
| Generator 1     | 371.3333 | 8.666667   | 2.280702      |

Pada variasi beban 1 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 75% untuk *bow thruster1* dan 75% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.20, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada generator thruster 1 dan 2 tidak melebihi dari standar IEC. Hal ini di karenakan generator 1 dalam beroperasi di bantu oleh diesel generator yang memiliki daya yang lebih besar dari generator thruster 1.

**Variasi beban 2, *bow thruster 1* dan *bow thruster 2* load 80%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 3 variasi 2 :

Tabel 4. 21 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 3 Variasi Beban 2

| Component       | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-----------------|------------|------------|-------------|----------|
| Motor 1         | 19.51382   | 360.48618  | 370.66667   | -2.8241  |
| Motor 2         | 32.1978    | 347.8022   | 370.66667   | -6.57399 |
| Disel Generator | 33.4824    | 346.5176   | 371         | -7.06527 |
| Generator 1     | 55.24596   | 324.75404  | 371         | 12.46522 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.21 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen generator thruster 1 melebihi margin error 5%. Hal ini dikarenakan tidak memperhitungkan efisiensi mesin dan generator serta tidak memperhitungkan suhu kabel yang dapat mempengaruhi impedansinya.

Tabel 4. 22 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 3 Variasi 2

| Component       | v        | $\Delta v$ | $\Delta v$ % |
|-----------------|----------|------------|--------------|
| Motor 1         | 370.6667 | 9.333333   | 2.45614      |
| Motor 2         | 370.6667 | 9.333333   | 2.45614      |
| Disel Generator | 371      | 9          | 2.368421     |
| Generator 1     | 371      | 9          | 2.368421     |

Pada variasi beban 2 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 80% untuk *bow thruster1* dan 80% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.22, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada generator thruster 1 dan 2 tidak melebihi dari standar IEC. Hal ini di karenakan generator 1 dalam beroperasi di bantu oleh diesel generator yang memiliki daya yang lebih besar dari generator thruster 1.

**variasi beban 3, *bow thruster 1* dan *bow thruster 2* load 85%**

Berikut hasil tegangan jatuh dari hasil uji laboratorium pada scenario 3 variasi 3 :

Tabel 4. 23 Validasi Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Hitungan Pada Skenario 3 Variasi Beban 3

| Component       | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-----------------|------------|------------|-------------|----------|
| Motor 1         | 20.70686   | 359.29314  | 371         | 3.155489 |
| Motor 2         | 34.16633   | 355.83367  | 371.3       | 4.097035 |
| Disel Generator | 23.29522   | 356.70478  | 370         | 3.727234 |
| Generator 1     | 38.43712   | 341.56288  | 370         | 7.685708 |

Dapat dilihat dari data tabel 4.23 tegangan antara hasil praktikum dengan hasil perhitungan tiap komponen generator thruster 1 melebihi margin error 5%. Hal ini dikarenakan tidak memperhitungkan efisiensi mesin dan generator serta tidak memperhitungkan suhu kabel yang dapat mempengaruhi impedansinya.

Tabel 4. 24 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Jatuh Pada Skenario 3 Variasi 3

| Component       | v        | $\Delta v$ | $\Delta v$ % |
|-----------------|----------|------------|--------------|
| Motor 1         | 371      | 9          | 2.368421     |
| Motor 2         | 371.3333 | 8.666667   | 2.280702     |
| Disel Generator | 370      | 10         | 2.631579     |
| Generator 1     | 370      | 10         | 2.631579     |

Pada variasi beban 2 ini dua buah *bow thruster* diberikan variasi beban 85% untuk *bow thruster1* dan 85% untuk *bow thruster 2*, didapatkan hasil uji laboratorium seperti pada tabel 4.22, dapat di lihat tegangan jatuh yang terjadi pada generator thruster 1 dan 2 tidak melebihi dari standar IEC. Hal ini di karenakan generator 1 dalam beroperasi di bantu oleh diesel generator yang memiliki daya yang lebih besar dari generator thruster 1.

#### 4.8 Analisis Tegangan Jatuh 3 Konfigurasi Sistem Suplai Daya.

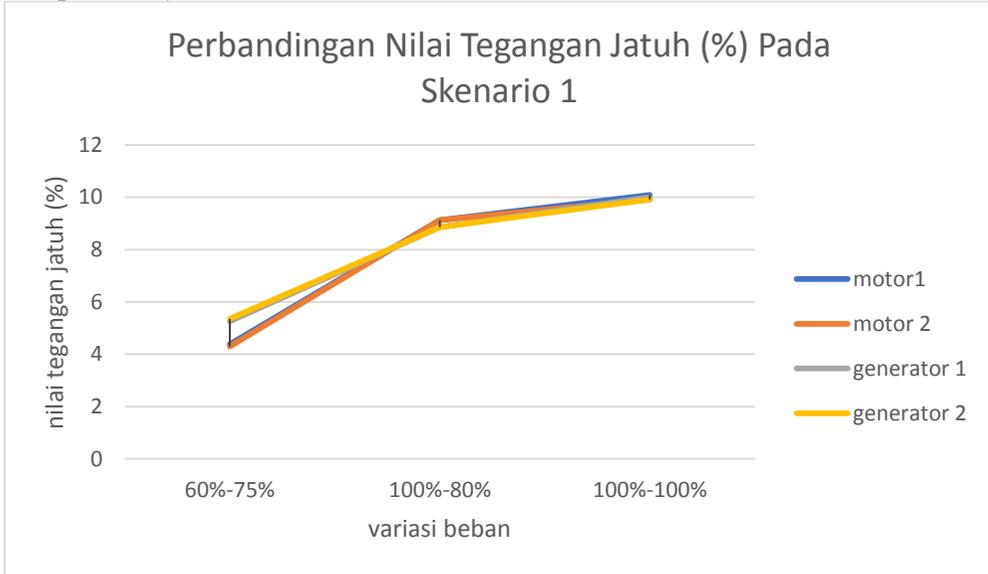
Dalam uji laboratorium *load flow analysis* diambil beberapa data penunjang untuk mengetahui adanya tegangan jatuh pada tiap titik beban yaitu nilai P (daya aktif), Q (daya reaktif), Arus dan faktor daya ( $\cos \phi$ ). Sehingga diketahui  $V_r$  untuk dapat diketahui nilai tegangan jatuh dalam satuan persen (%). Sebelum mendapatkan nilai – nilai tersebut, diperlukan data nilai impedansi dari kabel sebagai penghantar aliran listrik pada sistem distribusi. hal ini dikarenakan kabel mempunyai peran yang penting dalam terjadinya drop tegangan, semakin besar nilai impedansi yang dimiliki oleh kabel maka kemungkinan drop tegangan yang terjadi semakin besar juga hal ini sesuai dengan rumus

$$\begin{aligned}\Delta V &= I_s \times (R_s + jX) \\ &= I \times Z_s\end{aligned}$$

Dari rumus tersebut nilai impedansi berbanding lurus dengan nilai drop tegangan sehingga apabila nilai impedansi besar, drop tegangan juga semakin besar.

Berikut adalah rangkuman analisis tegangan jatuh pada 3 skenario konfigurasi sistem suplai daya :

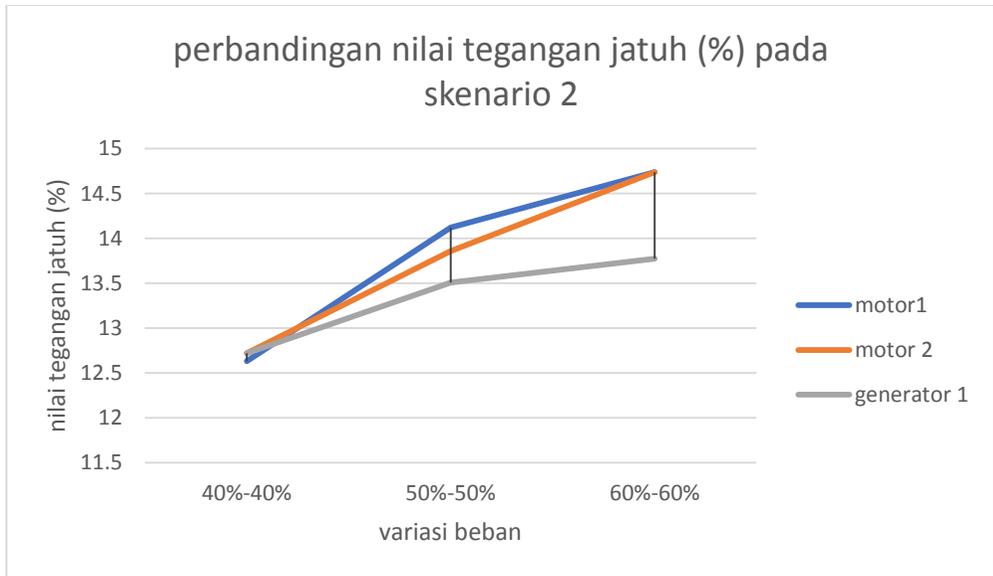
1. Skenario 1, terjadi tegangan jatuh pada setiap variasi beban. Grafik dibawah merupakan hasil uji laboratorium tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 1 pada setiap bebannya :



Grafik 4. 1 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 1

Dari grafik diatas ditunjukkan tegangan jatuh yang melewati standar IEC berada pada variasi 2 dan variasi 3 . Sehingga diperlukan perbaikan pada variasi beban tersebut, jika tidak di lakukan perbaikan, maka, sistem dengan konfigurasi ini tidak aman jika dioperasikan di semua variasi beban *bow thruster*.

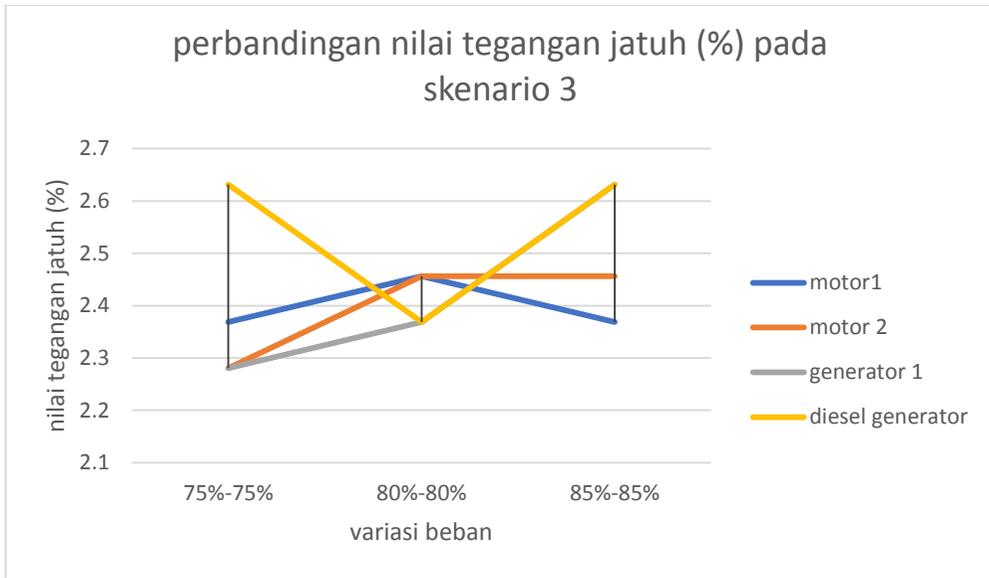
2. Skenario 2, dengan suplai daya satu buah *generator thruster* terjadi tegangan jatuh pada setiap variasi beban. Grafik dibawah merupakan hasil simulasi tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 2 pada setiap bebannya :



Grafik 4. 2 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 2

Dari grafik diatas ditunjukkan tegangan jatuh yang melewati standar IEC berada pada setiap variasi beban *bow thruster*. Sehingga diperlukan perbaikan pada setiap variasi beban, jika tidak di lakukan perbaikan, maka, sistem dengan konfigurasi ini tidak aman jika dioperasikan pada setiap variasi beban *bow thruster*.

3. Skenario 3, dengan suplai daya satu generator thruster dan satu buah diesel generator selalu terjadi tegangan jatuh pada setiap variasi beban dua buah *bow thruster*. Grafik dibawah merupakan hasil uji laboratorium tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 3 pada setiap bebannya :



Grafik 4. 3 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 3

Dari grafik diatas ditunjukkan tegangan jatuh yang terjadi tidak ada melewati standar yang ditentukan oleh IEC disetiap variasi beban .

Tabel 4. 25 Rangkuman Nilai Tegangan Jatuh Pada Setiap Skenario

| no | skenario | variasi beban | nilai tegan jatuh >standart IEC (5%) |          |             |             |                  |
|----|----------|---------------|--------------------------------------|----------|-------------|-------------|------------------|
|    |          |               | motor 1                              | motor 2  | generator 1 | generator 2 | diesel generator |
| 1  | 1        | 60%-75%       | 4.385965                             | 4.298246 | 5.263158    | 5.350877    | -                |
|    |          | 100%-80%      | 9.122807                             | 9.122807 | 8.859649    | 8.859649    | -                |
|    |          | 100%-100%     | 10.08772                             | 9.912281 | 10          | 9.912281    | -                |
|    |          | 110%-100%     | 16.49123                             | 16.57895 | 9.912281    | 10.08772    | -                |
| 2  | 2        | 40%-40%       | 12.63158                             | 12.7193  | 12.7193     | -           | -                |
|    |          | 50%-50%       | 14.12281                             | 13.85965 | 13.50877    | -           | -                |
|    |          | 60%-60%       | 14.73684                             | 14.73684 | 13.77193    | -           | -                |
| 3  | 3        | 75%-75%       | 2.368421                             | 2.280702 | 2.280702    | -           | 2.631579         |
|    |          | 80%-80%       | 2.45614                              | 2.45614  | 2.368421    | -           | 2.368421         |
|    |          | 85%-85%       | 2.368421                             | 2.45614  | 2.631579    | -           | 2.631579         |

#### 4.9 Perbaikan dengan kapasitor

Perbaikan tegangan jatuh dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan cara menurunkan arus pada beban ataupun dengan meningkatkan nilai faktor daya. Selain mengetahui nilai arus dan faktor daya, pada perhitungan tersebut bisa didapatkan juga nilai tegangan dan daya. Secara teori nilai tegangan jatuh tidak dapat dihilangkan akan tetapi bisa diminimalkan prosentasinya. Pada uji laboratorium terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk dapat meminimalkan nilai tegangan jatuh yaitu dengan memberikan beban kapasitif (kapasitor) atau dengan memvariasikan tap transformator yang bekerja menurunkan nilai arus dan menaikkan factor daya sehingga nilai tegangan bisa semakin naik.

Pada seluruh skenario konfigurasi beban listrik yang mengalami tegangan jatuh melawati standar terjadi pada *bow thruster 1* dan *2*. Perbaikan dengan kapasitor yaitu memberikan beban kapasitif (kapasitor) pada rangkaian sebelum beban yang bertujuan untuk mengurangi nilai arus yang meningkat dan juga menaikkan nilai factor daya sehingga tegangan yang di terima di sisi beban dapat meningkat.

Sebelum melakukan pemasangan kapasitor, dilakukan perhitungan kapasitas kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki kualitas tegangan pada beban motor dalam hal ini *bow thruster*. Berikut merupakan perhitungan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki nilai factor daya dan menurunkan nilai arus dalam operasi beban *bow thruster*

##### Scenario 1 variasi beban 1, *bow thruster 1* 60% dan *bow thruster 2* load 75%

P : 198 w  
P.f lama : 0,75  
P.f diinginkan : 0,85

$$\begin{aligned}\tan \phi &= \frac{Q}{P} \\ \tan (\text{arc cos } \phi) &= \frac{Q}{P} \\ Q &= \tan (\text{arc cos } \phi) \times P\end{aligned}\quad (4.1)$$

Dimana,

Q = Daya reaktif  
P = Daya Nyata

$$\begin{aligned}\text{Sehingga :} \\ Q_{\text{kompensasi}} &= Q_{\text{lama}} - Q_{\text{baru}} \\ &= [P \times \tan (\text{arc cos } \Phi \text{ lama})] - [P \times \tan (\text{arc cos } \Phi \text{ baru})] \\ &= P \times [\tan (\text{arc cos } \Phi \text{ lama}) - \tan (\text{arc cos } \Phi \text{ baru})] \\ &= 198 \times [\tan (\text{arc cos } (0.75)) - \tan (\text{arc cos } \Phi (0.85))] \\ &= 51,738 \text{ VAR}\end{aligned}\quad (4.2)$$

Mencari Nilai Farad dari kapasitor, Diketahui :

$$\text{VAR} = 51,738 \text{ VAR}$$

$$\begin{aligned}
 V &= 380 \text{ Volt} \\
 f &= 50 \text{ Hz} \\
 C &= \text{kapasitas kapasitor dalam satuan farad} \\
 C &= \frac{VAR}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2} \tag{4.3}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 C &= 51,738 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (380)^2 \\
 C &= 1,141 \times 10^{-6} \text{ F} \\
 C &= 1,141 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

Perhitungan persen kenaikan tegangan :

**Scenario 1 variasi beban 1, bow thruster 1 60% dan bow thruster 2 load 75%**

% kenaikan tegangan =  $(Q_c \cdot X) / (10V^2)$

Dimana :

Qc : Q kompensasi (VAR)

X : Tahanan kabel ( $\Omega/m$ )

V : Tegangan nominal

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ kenaikan tegangan} &= (51,738 \cdot 0.33) / (10(363)^2) \\
 &= 0.012
 \end{aligned}$$

Maka :

Nilai tegangan jatuh setelah di tambahkan kapasitor menurut hitungan adalah :

$$V = 363 \times 0.012$$

$$= 4.356$$

$$V_r = 363 + 4.356$$

$$= 367,356 \text{ volt}$$

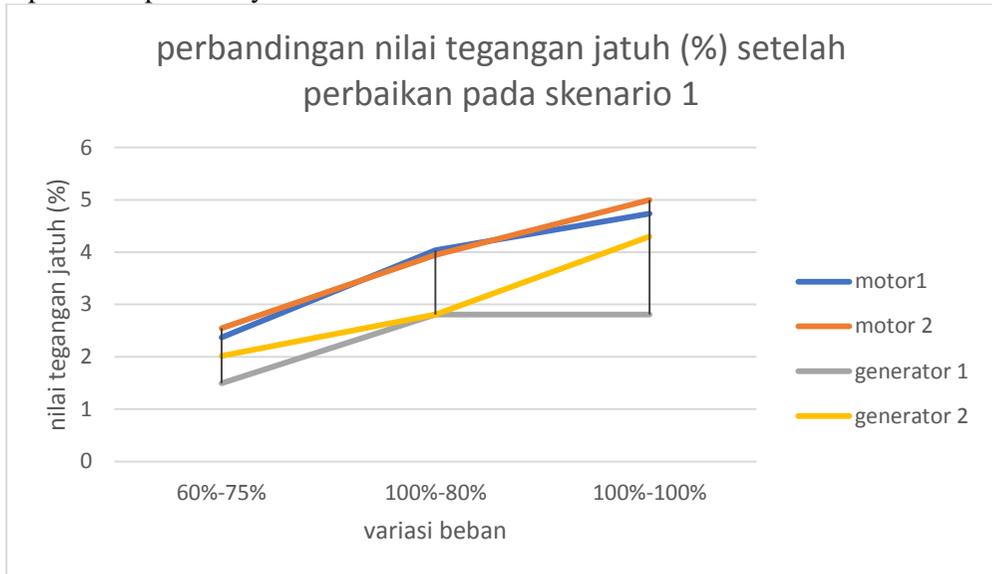
$$\Delta V\% = 3.32 \%$$

Setelah perhitungan besar kapasitas kapasitor serta berapa besar tegangan jatuh seharusnya ketika ditambahkan kapasitor pada rangkaian listrik yang mengalami tegangan jatuh untuk menaikkan nilai factor daya dan memperbaiki kualitas tegangannya. Kemudian dilakukan uji lab untuk melihat perubahan tegangan jatuh ketika ditambahkan kapasitor.

#### 4.10 Analisis perbaikan Tegangan Jatuh 3 Konfigurasi Sistem Suplai Daya.

Dalam uji laboratorium berikut adalah rangkuman analisis perbaikan tegangan jatuh pada 3 skenario konfigurasi sistem suplai daya :

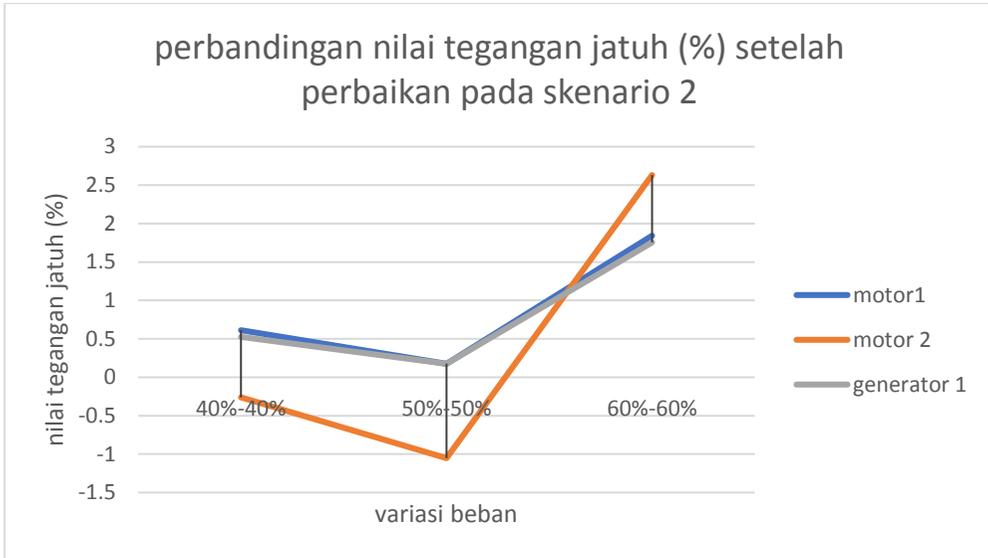
1. Skenario 1, terjadi penurunan tegangan jatuh pada setiap variasi beban. Grafik dibawah merupakan hasil uji laboratorium tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 1 pada setiap bebannya :



Grafik 4. 4 Perbandingan Nilai perbaikan Tegangan Jatuh Pada Skenario 1

Dari grafik diatas ditunjukkan tegangan jatuh tidak ada yang melewati standar IEC. Telihat dari setiap variasi tidak ada satupun yang berada di atas 5%.

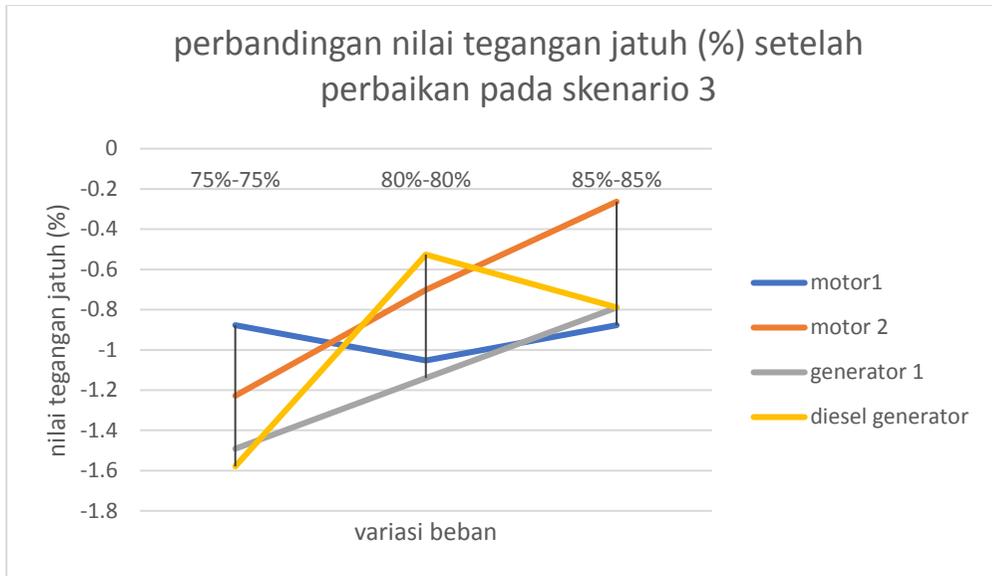
2. Skenario 2, dengan suplai daya satu buah *generator thruster* terjadi tegangan jatuh pada setiap variasi beban. Grafik dibawah merupakan hasil perbaikan tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 2 pada setiap bebannya :



Grafik 4. 5 Perbandingan Nilai Perbaikan Tegangan Jatuh Pada Skenario 2

Dari grafik diatas ditunjukkan tegangan jatuh tidak ada yang melewati standar IEC berada pada setiap variasi beban *bow thruster*.hal ini terlihat tidak adanya nilai tegangan jatuh yang melewati angkat 5% di setiap variasi beban.

- Skenario 3, dengan suplai daya satu generator thruster dan satu buah diesel generator selalu terjadi tegangan jatuh pada setiap variasi beban dua buah *bow thruster*. Grafik dibawah merupakan hasil uji laboratorium tegangan jatuh yang terjadi pada skenario 3 pada setiap bebannya :



Grafik 4. 6 Perbandingan Nilai Perbaikan Tegangan Jatuh Pada Skenario 3

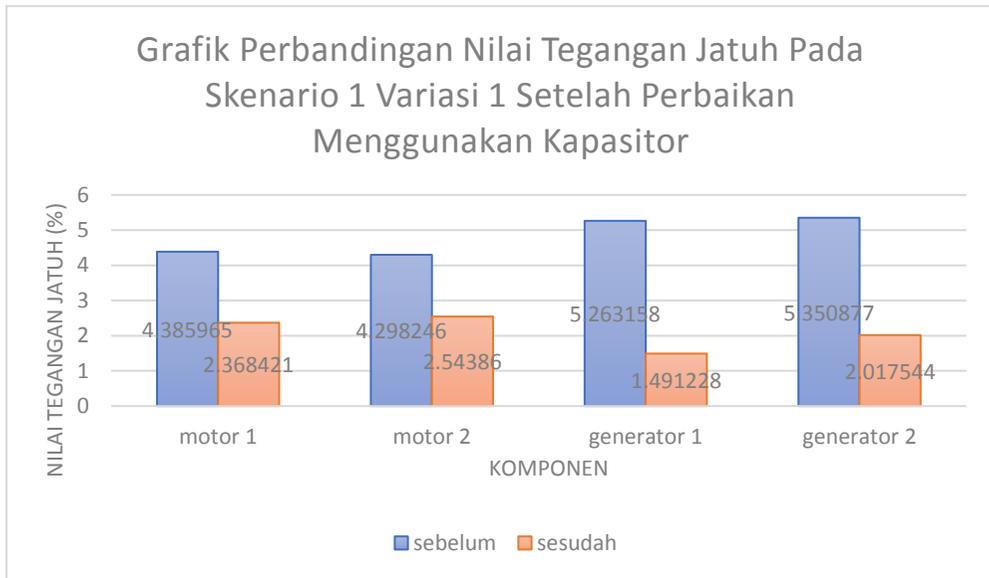
Dari grafik diatas ditunjukkan tegangan jatuh yang terjadi tidak ada melewati standar yang ditentukan oleh IEC disetiap variasi beban

Tabel 4.26 Rangkuman nilai tegangan jatuh yang melewati standar tegangan jatuh pada setiap skenario konfigurasi

| No | Skenario | Variasi Beban | Nilai Tengan Jatuh >Standart Iec (5%) |          |             |             |                  |
|----|----------|---------------|---------------------------------------|----------|-------------|-------------|------------------|
|    |          |               | Motor 1                               | Motor 2  | Generator 1 | Generator 2 | Diesel Generator |
| 1  | 1        | 60%-75%       | 2.368421                              | 2.54386  | 1.491228    | 2.017544    | -                |
|    |          | 100%-80%      | 4.035088                              | 3.947368 | 2.807018    | 2.807018    | -                |
|    |          | 100%-100%     | 4.736842                              | 5        | 3.947368    | 4.298246    | -                |
|    |          | 110%-100%     | 0.614035                              | -0.26316 | 0.526316    | -           | -                |
| 2  | 2        | 40%-40%       | 0.175439                              | -1.05263 | 0.175439    | -           | -                |
|    |          | 50%-50%       | 1.842105                              | 2.631579 | 1.754386    | -           | -                |
|    |          | 60%-60%       | -0.87719                              | -1.22807 | -1.49123    | -           | -1.57895         |
| 3  | 3        | 75%-75%       | -1.05263                              | -0.70175 | -1.14035    | -           | -0.52632         |
|    |          | 80%-80%       | -0.87719                              | -0.26316 | -0.78947    | -           | -0.78947         |
|    |          | 85%-85%       | 2.368421                              | 2.54386  | 1.491228    | 2.017544    | -                |

#### 4.11 Perbandingan perbaikan dengan sebelum perbaikan

Terdapat dua jenis perbaikan yang dapat dilakukan terhadap sistem pada konfigurasi *closed bus* (dua *generator thrudrster* dan satu *diesel generator*) untuk suplai dua buah *bow thruster* variasi beban 1 dan seluruh beban listrik pada mode *manouvering*. Yaitu dengan penggantian kabel atau penambahan kapasitor. Berikut grafik di bawah menunjukkan perbandingan nilai tegangan jatuh setelah dilakukan perbaikan terhadap system :



Grafik 4. 7 Perbandingan nilai tegangan jatuh setelah perbaikan pada skenario 1 variasi beban 1

Dari grafik 4.4 ditunjukkan perubahan nilai tegangan jatuh pada motor 1, terjadi penurunan tegangan jatuh dari 4,38% menjadi 2,368%. Kemudian pada motor 2, terjadi penurunan tegangan jatuh dari 4,298% menjadi 2,5386% setelah penambahan kapasitor. Kemudian pada generator 1, terjadi penurunan tegangan jatuh dari 5,26% menjadi 1,49% penambahan kapasitor. Kemudian pada generator 2, terjadi penurunan tegangan jatuh dari 5,35% menjadi 2,017% penambahan kapasitor. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa penurunan tegangan jatuh terjadi karena kapasitor dapat membantu menyimpan daya pada system, sehingga dapat menurunkan tegangan jatuh meski dalam beban yang cukup besar.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan analisa tegangan jatuh dengan berbagai skenario serta variasi beban, berdasarkan hasil uji laboratorium di laboratorium MEAS maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Tegangan jatuh terjadi pada semua beban di semua komponen pada seluruh konfigurasi suplai daya dan seluruh variasi beban. Namun ada Tegangan jatuh yang melewati standar IEC. Pada skenario 2 (1 generator *thruster*) hal ini dikarenakan pada skenario tersebut 1 buah generator harus menompang beban 2 motor sendiri tanpa bantuan dari generator lain. Sebagai contoh pada skenario 2 variasi 1 komponen motor 1 terjadi tegangan jatuh yang melewati standart sebesar 12,63% dan motor 2 12,71 %
2. Karna terjadi tegangan jatuh dan ada yang melewati standart maka harus dilakukan metode perbaikan untuk memperbaiki nilai tegangan jatuh, Metode perbaikan diterapkan pada semua scenario dengan menambahkan kapasitor pada sistem. Upaya ini meminimalkan tegangan jatuh pada scenario 2 variasi beban 1 yang terjadi pada motor *thruster 1* 12,63% turun menjadi 0,614 %, motor *thruster 2* dari 12,7193% turun menjadi -0,263% dan generator thruster 1 dari 12,719% menjadi 0,526%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

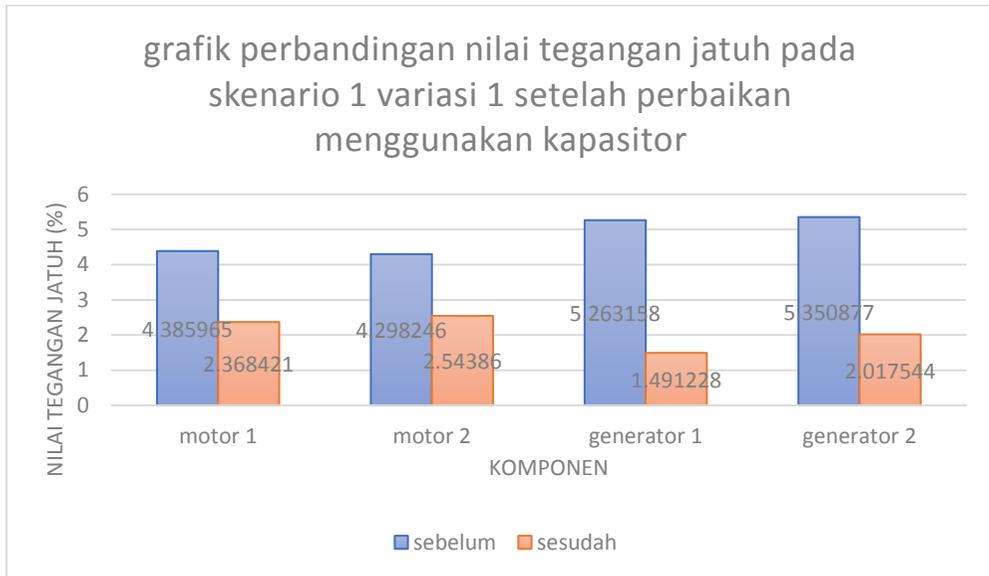
## DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping, 2013. Guide for Dynamic Positioning Systems.
- Arbi, S., 2017. Analisis Stabilitas Tegangan dan Frekuensi pada Microgrid AC Terhubung DG pada Mode Grid Connected dan Islanding. Fak. Teknol. Elektro Inst. Teknol. Sepuluh Nop.
- Asy'ari, H., 2011. Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rekonfigurasi Beban pada Panel Utama Prambanan 5.
- Erhaneli, A.R., 2013. Pengaruh Penambahan Jaringan Terhadap Drop Tegangan Pada SUTM 20 kV Feeder Kersik Tuo Rayon Kersik Tuo Kabupaten Kerinci.docx.
- Sumanto, 1995. Motor Listrik Arus Bolak Balik.docx. Jakarta.
- Sutisna S, E., Mulyatno, I.P., Jokosisworo, S., 2017. Analisa Kekuatan Struktur Main Deck Sebagai Penumpu Towing Winch Pada Kapal OSV. Go Perseus Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- Dharamjit, D.K, T., 2012. Load Flow Analysis on IEEE 30 bus System 2, 6.
- Holvik, J., 1998. Basics of Dynamic Positioning. Presented at the Dynamic Positioning Conference, Dynamic Positioning Comitee, Houston, p. 10.
- Li, T., 2013. DP systems for offshore vessel positioning in deep water. Fac. Sci. Technol. Univ. Stavanger.
- Lloyd registers, 1994. MSC-Circ.645.pdf.
- marine technology comitee, 2012. DP Vessel Design Philosophy Guidelines. marine technology comitee, marine technology comitee, 2012. dp\_tech\_committee\_dpguidance\_part1.pdf.
- ranu, Henry, 2007. Elektronika Dasar, Arus dan Tegangan Listrik.
- Wahyudianto, M.F., Sarwito, S., Kurniawan, A., 2016. Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di Kapal Penumpang dengan Menggunakan Metode Simulasi. Fak. Teknol. Kelaut. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. 5, 5.
- wahyudy, F.R., Sarwito, S., Kurniawan, A., 2016. Analisis Arus Starting Transformator Pada Pengoperasian Container Crane di Pelabuhan.
- Kusuma, I. R., Sarwito, S., Widya, R.A., 2017. Analysis of Electric Propulsion Performance on Submersible with Motor DC, Supply Power 10260AH at Voltage 115VDC.
- Sarwito. S., Koenhardono, E. S., Taradipa, K. P., 2018. Analysis of Transient Response and Harmonic Disturbances on the Tanker's Electrical System Based on Simulation.
- Sarwito. S., Sulaiman, M. A., 2018. Analysis Of Electric Propulsion Performance On Submersible 60 M With Motor Dc 2x1850 Kw 380 V Using Ohmformer At Voltage 190 Vdc 10260 Ah And Without Using Ohmformer At Voltage 115 Vdc 10260 Ah.
- Sarwito. S., Semin., Suherman., A., 2017., Analysis of Three Phases Asynchronous Slip Ring Motor Performance Feedback Type 243.
- Sarwito. S., Semin., Zaman, M. B., 2019., Transient Stability Analysis On Ahts Vessel Electrical System Using Dynamic Positioning System.

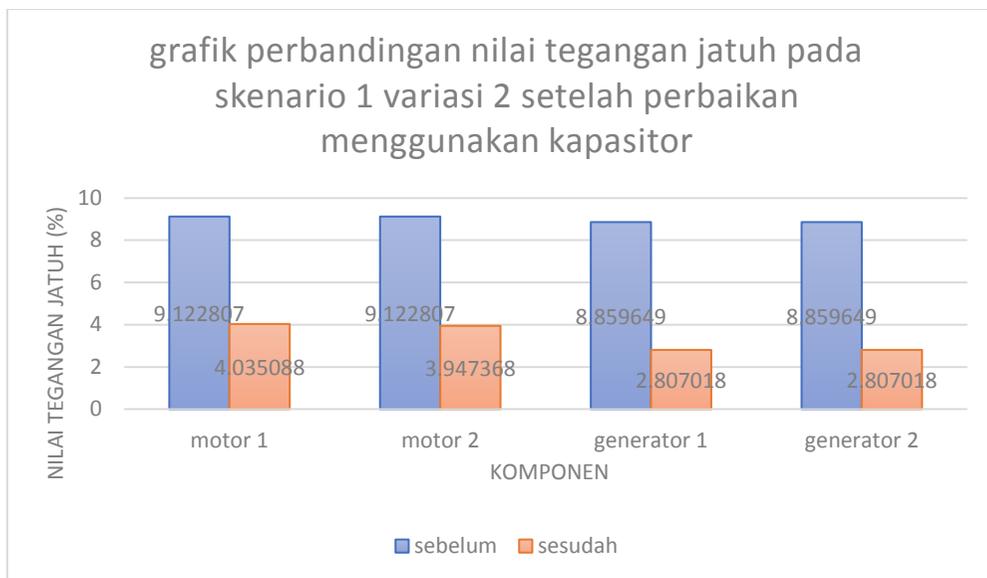
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN

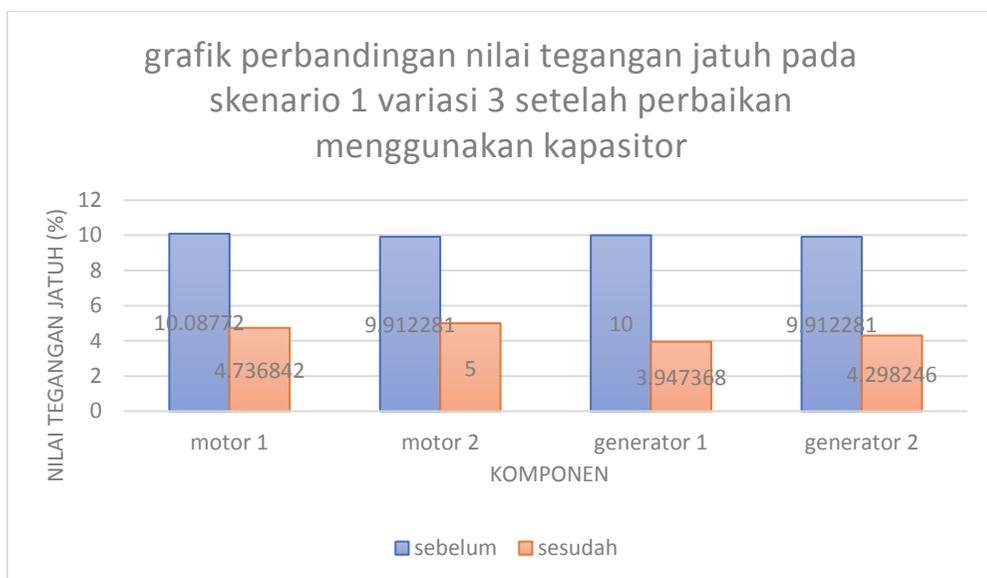
### A. Grafik perbandingan perbaikan tegangan jatuh pada setiap skenario di setiap variasi beban yang mengalami tegangan jatuh.



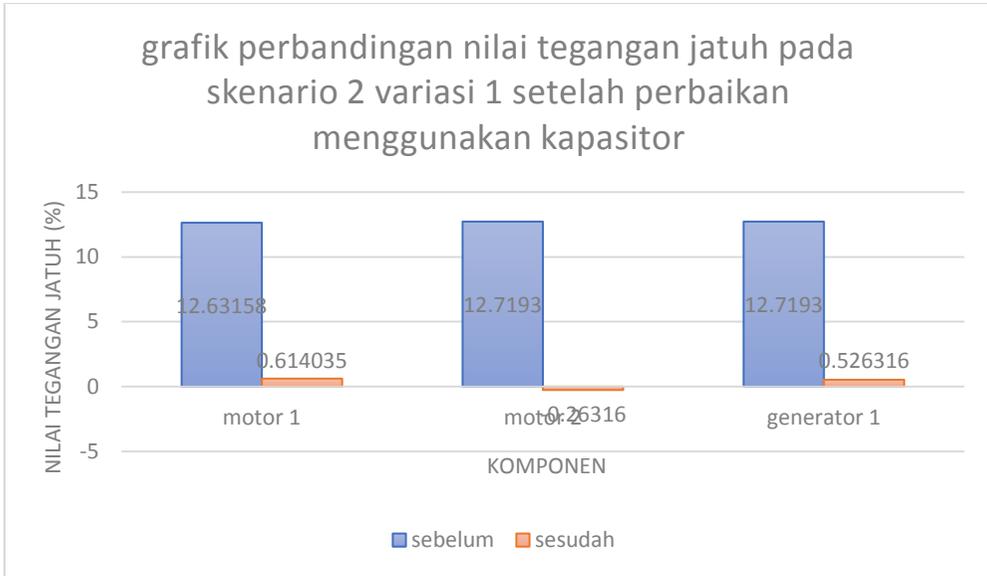
Grafik 4. 8 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh Pada Skenario 1 variasi Beban 1 Setelah Perbaikan



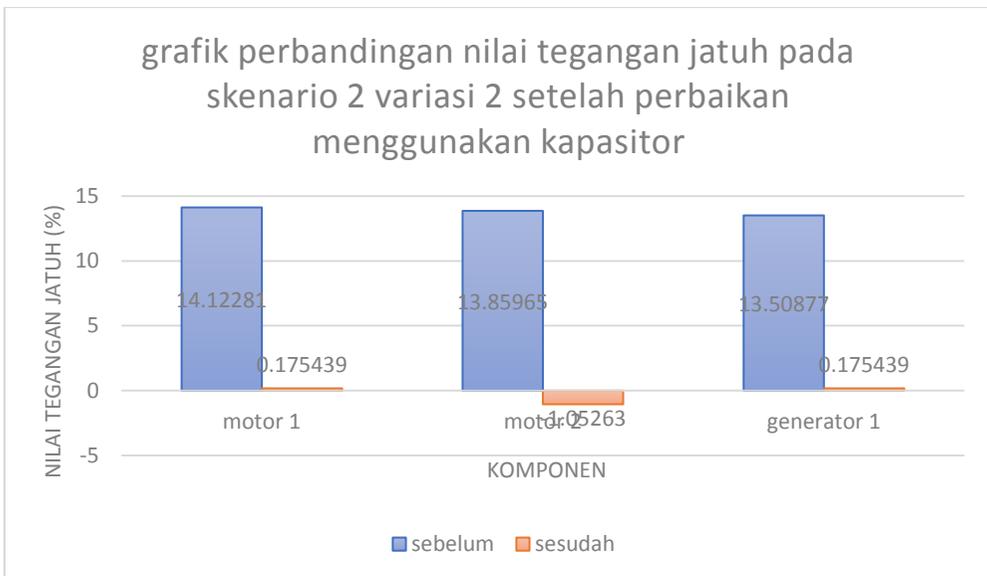
Grafik 4. 9 Perbandingan nilai tegngan jatuh pada skenario 1 variasi beban 2 setelah perbaikan



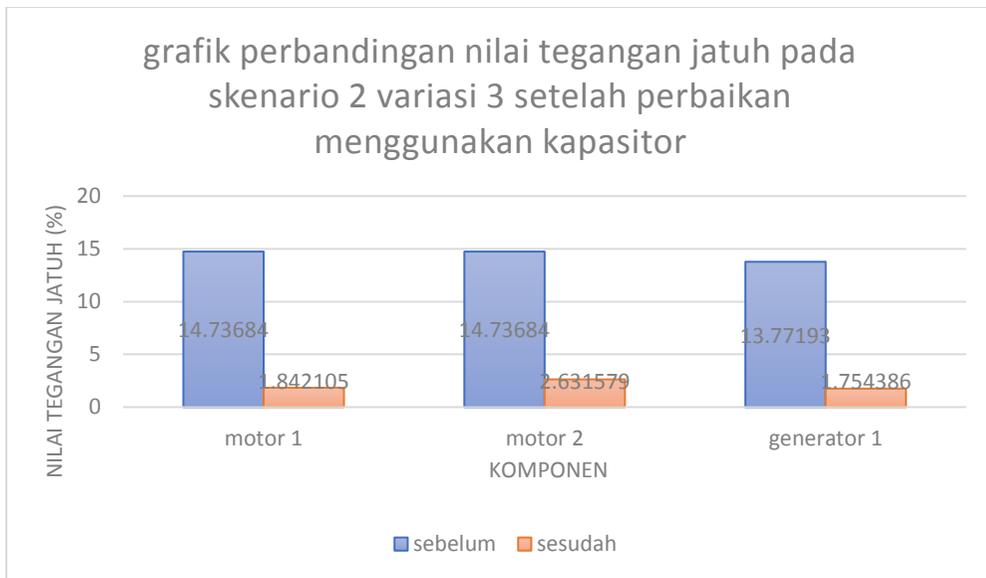
Grafik 4. 10 Perbandingan nilai tegngan jatuh pada skenario 1 variasi beban 3 setelah perbaikan



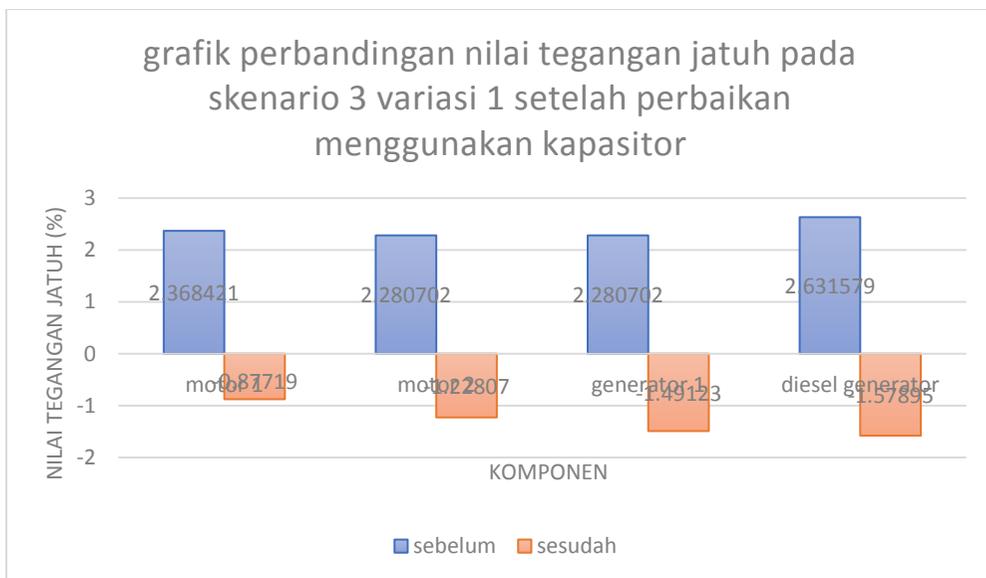
Grafik 4. 11 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 1 setelah perbaikan



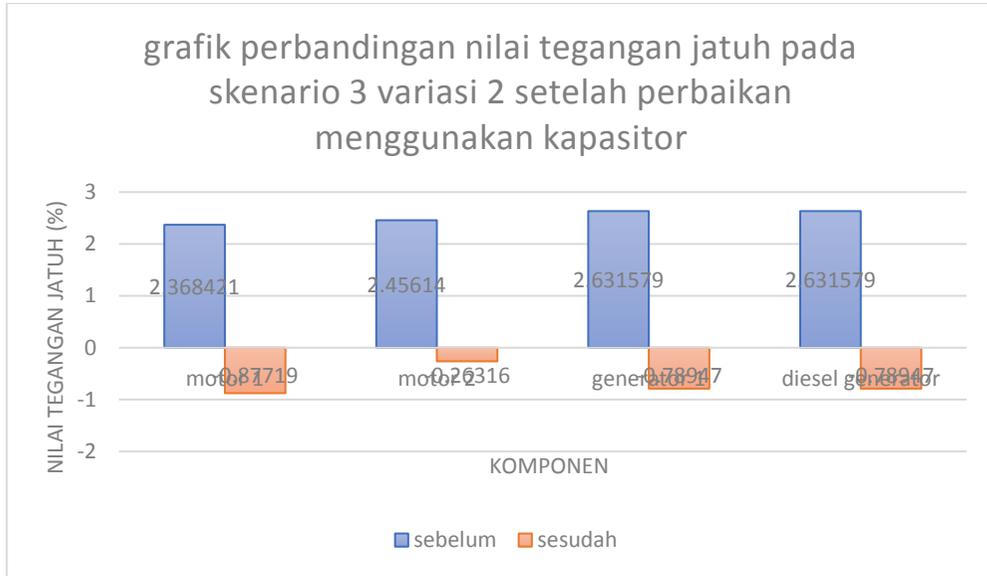
Grafik 4. 12 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 2 setelah perbaikan



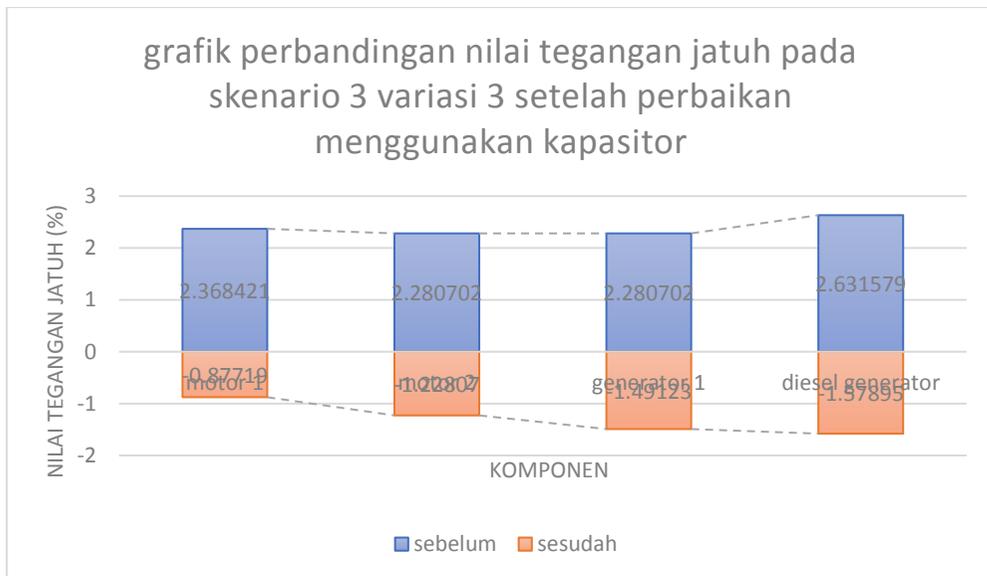
Grafik 4. 13 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 2 variasi beban 3 setelah perbaikan



Grafik 4. 14 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 3 variasi beban 1 setelah perbaikan



Grafik 4. 15 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 3 variasi beban 2 setelah perbaikan



Grafik 4. 16 Perbandingan nilai tegangan jatuh pada skenario 3 variasi beban 3 setelah perbaikan

## B. Hasil uji laboratorium seluruh skenario

### B-1 Hasil uji laboratorium skenario 1-3 Sebelum perbaikan

- Scenario 1 variasi beban 1,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 206            | 205 | 205 | 364           | 363 | 363 | 0.71              | 0.88 | 0.88 | 0.23 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207            | 206 | 206 | 364           | 363 | 364 | 0.2               | 0.22 | 0.17 | 0.25 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 206            | 204 | 204 | 361           | 359 | 360 | 0.87              | 1.01 | 0.99 | 0.22 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207            | 205 | 205 | 363           | 360 | 360 | 0.25              | 0.22 | 0.21 | 0.04 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 206            | 206 | 207 | 361           | 358 | 360 | 0.58              | 0.65 | 0.66 | 0    |

| variasi 1 | I        | rasio     | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|----------|-----------|-------------|------------|
| mt1       | 0.394737 | 3.0625000 | 1.208881579 | 13.549532  |
| mt2       | 0.814145 | 1.4848485 |             | 27.94591   |

| arus generator |          | I         | $\Delta v$ |
|----------------|----------|-----------|------------|
| gn 1           | 0.394737 | 0.4984389 | 17.1091551 |
| gn2            | 0.814145 | 1.0280302 | 35.2876323 |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-----------|------------|------------|-------------|-----------|
| mt1       | 13.549532  | 366.450468 | 363.3333333 | 0.8506291 |
| mt2       | 27.94591   | 352.05409  | 363.6666667 | 3.1931925 |
| gn1       | 17.109155  | 362.890845 | 360         | 0.7966156 |
| gn2       | 35.287632  | 344.712368 | 359.6666667 | 4.1578218 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 363.3333 | 16.66667   | 4.385965      |
| mt2       | 363.6667 | 16.33333   | 4.298246      |
| gn1       | 360      | 20         | 5.263158      |
| gn2       | 359.6667 | 20.33333   | 5.350877      |

- Scenario 1 variasi beban 2,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 198            | 195 | 196 | 347           | 346 | 346 | 0.84              | 0.91 | 0.92 | 0.2  |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 198            | 195 | 196 | 346           | 347 | 346 | 0.37              | 0.32 | 0.29 | 0.25 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 198            | 195 | 196 | 436           | 437 | 436 | 1.03              | 1.19 | 1.16 | 0.23 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 197            | 196 | 194 | 343           | 347 | 346 | 0.37              | 0.39 | 0.38 | 0.3  |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 196            | 194 | 195 | 345           | 346 | 345 | 0.58              | 0.56 | 0.58 | 0    |

| variasi 2 | I        | rasio     | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|----------|-----------|-------------|------------|
| mt1       | 0.657895 | 2.3200000 | 1.526315789 | 22.525921  |
| mt2       | 0.868421 | 1.758     |             | 29.734216  |

| arus generator |          | I         | $\Delta v$ |
|----------------|----------|-----------|------------|
| gn 1           | 0.657895 | 0.8087291 | 27.690401  |
| gn2            | 0.868421 | 1.0675225 | 36.5513293 |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-----------|------------|------------|-------------|-----------|
| mt1       | 22.525921  | 357.474079 | 345.3333333 | 3.3962589 |
| mt2       | 29.734216  | 350.265784 | 345.3333333 | 1.4082022 |
| gn1       | 27.690401  | 352.309599 | 346.3333333 | 1.6963108 |
| gn2       | 36.551329  | 343.448671 | 346.3333333 | 0.8329151 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v$ % |
|-----------|----------|------------|--------------|
| mt1       | 345.3333 | 34.66667   | 9.122807     |
| mt2       | 345.3333 | 34.66667   | 9.122807     |
| gn1       | 346.3333 | 33.66667   | 8.859649     |
| gn2       | 346.3333 | 33.66667   | 8.859649     |

- Scenario 1 variasi beban 3,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 195            | 194 | 192 | 343           | 340 | 343 | 0.96              | 0.97 | 0.93 | 0.23 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 195            | 193 | 193 | 343           | 341 | 343 | 0.32              | 0.31 | 0.26 | 0.25 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 196            | 194 | 196 | 345           | 343 | 344 | 0.99              | 0.96 | 0.96 | 0.44 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 195            | 193 | 194 | 343           | 342 | 340 | 0.33              | 0.36 | 0.35 | 0.25 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 193            | 192 | 194 | 344           | 340 | 343 | 0.81              | 0.8  | 0.83 | 0    |

| variasi 3 | I | rasio | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|---|-------|-------------|------------|
|-----------|---|-------|-------------|------------|

|     |          |           |             |           |
|-----|----------|-----------|-------------|-----------|
| mt1 | 0.657895 | 1.1650000 | 0.766447368 | 22.397453 |
| mt2 | 0.108553 | 7.0606061 |             | 3.6955797 |

|                |          |           |            |
|----------------|----------|-----------|------------|
| arus generator |          | I         | $\Delta v$ |
| gn 1           | 0.657895 | 0.7401316 | 25.1971344 |
| gn2            | 0.108553 | 0.1221217 | 4.15752718 |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %   |
|-----------|------------|------------|-------------|-----------|
| mt1       | 22.397453  | 357.602547 | 341.6666667 | 4.4563107 |
| mt2       | 3.6955797  | 376.30442  | 342.3333333 | 9.0275546 |
| gn1       | 25.197134  | 354.802866 | 342         | 3.6084448 |
| gn2       | 4.1575272  | 375.842473 | 342.3333333 | 8.9157405 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 341.6667 | 38.33333   | 10.08772      |
| mt2       | 342.3333 | 37.66667   | 9.912281      |
| gn1       | 342      | 38         | 10            |
| gn2       | 342.3333 | 37.66667   | 9.912281      |

- Scenario 2 variasi beban 1,

| Generator 1    |         |     |               |     |     |                  |      |      |      |
|----------------|---------|-----|---------------|-----|-----|------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 214            | 21<br>3 | 213 | 332           | 334 | 330 | 0.64             | 0.67 | 0.64 | 0.58 |
| Generator 2    |         |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| -              | -       | -   | -             | -   | -   | -                | -    | -    | -    |
| Bus Bar        |         |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 214            | 21<br>1 | 213 | 330           | 333 | 335 | 0.41             | 0.46 | 0.46 | 0.44 |
| Motor 1        |         |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |

|                       |           |           |                      |           |           |                          |          |          |          |
|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|--------------------------|----------|----------|----------|
| 214                   | 21<br>3   | 212       | 331                  | 332       | 332       | 0.15                     | 0.17     | 0.15     | 0.02     |
| <b>Motor 2</b>        |           |           |                      |           |           |                          |          |          |          |
| <b>V Phase (Volt)</b> |           |           | <b>V Line (Volt)</b> |           |           | <b>Current (Amphere)</b> |          |          |          |
| <b>RN</b>             | <b>SN</b> | <b>TN</b> | <b>RS</b>            | <b>ST</b> | <b>TN</b> | <b>R</b>                 | <b>S</b> | <b>T</b> | <b>N</b> |
| -                     | -         | -         | 331                  | 332       | 332       | 0.62                     | 0.68     | 0.66     | 0        |

|           |          |       |             |            |
|-----------|----------|-------|-------------|------------|
| variasi 1 | I        | rasio | jumlah arus | $\Delta v$ |
| mt1       | 0.263158 | 2.650 | 0.697368421 | 18.20892   |
| mt2       | 0.434211 | 1.606 |             | 30.04472   |

|                  |          |                              |                   |                    |                |
|------------------|----------|------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| arus generator   |          | I                            | $\Delta v$        |                    |                |
| gn 1             | 0.697368 | 0.7194196                    | 49.779444         |                    |                |
| <b>Component</b> |          | <b><math>\Delta v</math></b> | <b>v hitungan</b> | <b>v praktikum</b> | <b>error %</b> |
| mt1              |          | 18.20892                     | 361.79108         | 332                | -8.97322       |
| mt2              |          | 30.044718                    | 349.95528         | 331.6666667        | -5.51416       |
| gn1              |          | 49.779444                    | 330.22056         | 331.6666667        | 0.436013       |

|                  |          |                              |                                |
|------------------|----------|------------------------------|--------------------------------|
| <b>Component</b> | <b>v</b> | <b><math>\Delta v</math></b> | <b><math>\Delta v</math> %</b> |
| mt1              | 332      | 48                           | 12.63158                       |
| mt2              | 331.6667 | 48.33333                     | 12.7193                        |
| gn1              | 331.6667 | 48.33333                     | 12.7193                        |

- Scenario 2 variasi beban 2,

|                       |           |           |                      |           |           |                          |          |          |          |
|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|--------------------------|----------|----------|----------|
| <b>Generator 1</b>    |           |           |                      |           |           |                          |          |          |          |
| <b>V Phase (Volt)</b> |           |           | <b>V Line (Volt)</b> |           |           | <b>Current (Amphere)</b> |          |          |          |
| <b>RN</b>             | <b>SN</b> | <b>TN</b> | <b>RS</b>            | <b>ST</b> | <b>TN</b> | <b>R</b>                 | <b>S</b> | <b>T</b> | <b>N</b> |
| 210                   | 21<br>1   | 211       | 328                  | 329       | 329       | 0.62                     | 0.66     | 0.64     | 0.58     |
| <b>Generator 2</b>    |           |           |                      |           |           |                          |          |          |          |
| <b>V Phase (Volt)</b> |           |           | <b>V Line (Volt)</b> |           |           | <b>Current (Amphere)</b> |          |          |          |
| <b>RN</b>             | <b>SN</b> | <b>TN</b> | <b>RS</b>            | <b>ST</b> | <b>TN</b> | <b>R</b>                 | <b>S</b> | <b>T</b> | <b>N</b> |
| -                     | -         | -         | -                    | -         | -         | -                        | -        | -        | -        |
| <b>Bus Bar</b>        |           |           |                      |           |           |                          |          |          |          |
| <b>V Phase (Volt)</b> |           |           | <b>V Line (Volt)</b> |           |           | <b>Current (Amphere)</b> |          |          |          |
| <b>RN</b>             | <b>SN</b> | <b>TN</b> | <b>RS</b>            | <b>ST</b> | <b>TN</b> | <b>R</b>                 | <b>S</b> | <b>T</b> | <b>N</b> |

|                |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|---------|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| 211            | 21<br>1 | 209 | 328           | 327 | 330 | 0.47              | 0.53 | 0.54 | 0.46 |
| Motor 1        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 209            | 21<br>1 | 210 | 326           | 326 | 327 | 0.21              | 0.22 | 0.2  | 0.02 |
| Motor 2        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| -              | -       | -   | 325           | 327 | 330 | 0.61              | 0.64 | 0.58 | 0    |

|           |          |           |             |            |
|-----------|----------|-----------|-------------|------------|
| variasi 2 | I        | rasio     | jumlah arus | $\Delta v$ |
| mt1       | 0.328947 | 2.6500000 | 0.871710526 | 22.3774    |
| mt2       | 0.542763 | 1.606     |             | 36.9227    |

|                |          |           |            |
|----------------|----------|-----------|------------|
| arus generator |          | I         | $\Delta v$ |
| gn 1           | 0.871711 | 0.8786842 | 59.7745    |

|           |            |            |             |          |
|-----------|------------|------------|-------------|----------|
| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
| mt1       | 22.377396  | 357.6226   | 326.3333333 | -9.58813 |
| mt2       | 36.922703  | 343.0773   | 327.3333333 | -4.80976 |
| gn1       | 59.7745    | 320.2255   | 328.6666667 | 2.568306 |

|           |          |            |               |
|-----------|----------|------------|---------------|
| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
| mt1       | 326.3333 | 53.66667   | 14.12281      |
| mt2       | 327.3333 | 52.66667   | 13.85965      |
| gn1       | 328.6667 | 51.33333   | 13.50877      |

- Scenario 2 variasi beban 3,

|                |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|---------|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| Generator 1    |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207            | 21<br>0 | 209 | 325           | 330 | 328 | 0.75              | 0.66 | 0.65 | 0.58 |
| Generator 2    |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |

| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
|----------------|---------|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| -              | -       | -   | -             | -   | -   | -                 | -    | -    | -    |
| Bus Bar        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207            | 20<br>8 | 210 | 324           | 328 | 326 | 0.53              | 0.61 | 0.6  | 0.46 |
| Motor 1        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 209            | 20<br>9 | 208 | 322           | 326 | 324 | 0.24              | 0.23 | 0.22 | 0.03 |
| Motor 2        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| -              | -       | -   | 322           | 324 | 328 | 0.6               | 0.62 | 0.56 | 0    |

| variasi 3 | I        | rasio     | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|----------|-----------|-------------|------------|
| mt1       | 0.394737 | 2.6500000 | 1.046052632 | 26.76785   |
| mt2       | 0.651316 | 1.6060606 |             | 44.16696   |

| arus generator |          | I         | $\Delta v$ |
|----------------|----------|-----------|------------|
| gn 1           | 1.046053 | 1.1015251 | 74.696509  |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-----------|------------|------------|-------------|----------|
| mt1       | 26.767855  | 353.23215  | 324         | -9.02227 |
| mt2       | 44.16696   | 335.83304  | 324         | -3.65217 |
| gn1       | 74.696509  | 305.30349  | 327.6666667 | 6.824977 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 324      | 56         | 14.73684      |
| mt2       | 324      | 56         | 14.73684      |
| gn1       | 327.6667 | 52.33333   | 13.77193      |

- Scenario 3 variasi beban 1,  
diesel generator

| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 205            | 209 | 207 | 373           | 375 | 378 | 1.19              | 1.55 | 1.82 | 2.99 |
| generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207            | 206 | 205 | 372           | 375 | 375 | 0.96              | 0.89 | 0.92 | 2.79 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204            | 205 | 204 | 374           | 372 | 373 | 2.14              | 2.25 | 2.33 | 4.88 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 205            | 205 | 203 | 374           | 371 | 371 | 0.34              | 0.39 | 0.15 | 0.22 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 0              | 0   | 0   | 372           | 370 | 372 | 0.7               | 0.85 | 0.76 | 0    |

| variasi 1 | I        | rasio | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|----------|-------|-------------|------------|
| mt1       | 0.493421 | 2.650 | 1.307565789 | 18.30749   |
| mt2       | 0.814145 | 1.606 |             | 30.20736   |

| arus generator |          | I        | $\Delta v$ |
|----------------|----------|----------|------------|
| gs             | 0.493421 | 0.8585   | 31.85308   |
| gn1            | 0.814145 | 1.416525 | 52.557581  |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-----------|------------|------------|-------------|----------|
| mt1       | 18.30749   | 361.69251  | 371         | 2.508758 |
| mt2       | 30.20736   | 349.79264  | 371.33333   | 5.800905 |
| gs        | 31.85308   | 348.14692  | 370         | 5.906238 |
| gn1       | 52.55758   | 327.44242  | 371.33333   | 11.81982 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 370.6667 | 9.333333   | 2.45614       |

|     |          |          |          |
|-----|----------|----------|----------|
| mt2 | 370.6667 | 9.333333 | 2.45614  |
| gs  | 371      | 9        | 2.368421 |
| gn1 | 371      | 9        | 2.368421 |

- Scenario 3 variasi beban 2,

| diesel generator |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204              | 204 | 204 | 372           | 370 | 371 | 1.54              | 1.44 | 1.52 | 3.05 |
| generator 1      |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204              | 204 | 204 | 372           | 370 | 371 | 0.9               | 0.86 | 0.93 | 2.71 |
| Bus Bar          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204              | 205 | 208 | 373           | 371 | 372 | 2.24              | 2.24 | 2.22 | 5.28 |
| Motor 1          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204              | 204 | 203 | 372           | 371 | 369 | 0.36              | 0.38 | 0.34 | 0.23 |
| Motor 2          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 0                | 0   | 0   | 372           | 370 | 370 | 0.7               | 0.9  | 0.77 | 0    |

| variasi 2 | I        | rasio     | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|----------|-----------|-------------|------------|
| mt1       | 0.526316 | 2.6500000 | 1.394736842 | 19.51382   |
| mt2       | 0.868421 | 1.606     |             | 32.1978    |

| arus generator |          | I        | $\Delta v$ |
|----------------|----------|----------|------------|
| gs             | 0.526316 | 0.903068 | 33.482401  |
| gn1            | 0.868421 | 1.490063 | 55.245961  |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error % |
|-----------|------------|------------|-------------|---------|
| mt1       | 19.51382   | 360.48618  | 370.66667   | -2.8241 |

|     |          |           |           |          |
|-----|----------|-----------|-----------|----------|
| mt2 | 32.1978  | 347.8022  | 370.66667 | -6.57399 |
| gs  | 33.4824  | 346.5176  | 371       | -7.06527 |
| gn1 | 55.24596 | 324.75404 | 371       | 12.46522 |

- Scenario 3 variasi beban 3

| diesel generator |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 203              | 203 | 202 | 370           | 371 | 369 | 1.65              | 1.77 | 1.37 | 3.11 |
| generator 1      |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204              | 204 | 202 | 371           | 370 | 369 | 0.95              | 0.91 | 0.97 | 2.88 |
| Bus Bar          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 203              | 203 | 203 | 372           | 370 | 371 | 2.24              | 2.36 | 2.32 | 5.58 |
| Motor 1          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 204              | 204 | 202 | 372           | 370 | 371 | 0.39              | 0.4  | 0.39 | 0.24 |
| Motor 2          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 0                | 0   | 0   | 372           | 371 | 371 | 0.69              | 0.86 | 0.76 | 0    |

| variasi 3 | I        | rasio     | jumlah arus | $\Delta v$ |
|-----------|----------|-----------|-------------|------------|
| mt1       | 0.559211 | 2.6500000 | 1.481907895 | 20.70686   |
| mt2       | 0.922697 | 1.6060606 |             | 34.16633   |

| arus generator |          | I        | $\Delta v$ |
|----------------|----------|----------|------------|
| gs             | 0.559211 | 0.629112 | 23.295223  |
| gn1            | 0.922697 | 1.038035 | 38.437118  |

| Component | $\Delta v$ | v hitungan | v praktikum | error %  |
|-----------|------------|------------|-------------|----------|
| mt1       | 20.70686   | 359.29314  | 371         | 3.155489 |

|     |          |           |           |          |
|-----|----------|-----------|-----------|----------|
| mt2 | 34.16633 | 345.83367 | 371.33333 | 6.867054 |
| gs  | 23.29522 | 356.70478 | 370       | 3.727234 |
| gn1 | 38.43712 | 341.56288 | 370       | 7.685708 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 371      | 9          | 2.368421      |
| mt2       | 371.3333 | 8.666667   | 2.280702      |
| gs        | 370      | 10         | 2.631579      |
| gn1       | 370      | 10         | 2.631579      |

## B-2 Hasil simulasi seluruh skenario yang mengalami tegangan jatuh diatas standar IEC Setelah perbaikan

- Scenario 1 Variasi beban 1,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 214            | 213 | 212 | 376           | 376 | 371 | 0.46             | 0.54 | 0.52 | 0.55 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 214            | 212 | 210 | 373           | 373 | 371 | 0.24             | 0.32 | 0.26 | 0.38 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 213            | 210 | 211 | 373           | 370 | 372 | 0.69             | 0.76 | 0.76 | 0.36 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 210            | 209 | 208 | 370           | 371 | 372 | 0.2              | 0.2  | 0.79 | 0.39 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 0              | 0   | 0   | 368           | 373 | 370 | 0.53             | 0.45 | 0.59 | 0    |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 371      | 9          | 2.368421      |
| mt2       | 370.3333 | 9.666667   | 2.54386       |
| gn1       | 374.3333 | 5.666667   | 1.491228      |

|     |          |          |          |
|-----|----------|----------|----------|
| gn2 | 372.3333 | 7.666667 | 2.017544 |
|-----|----------|----------|----------|

- Scenario 1 Variasi beban 2,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 211            | 209 | 208 | 370           | 370 | 368 | 0.64              | 0.64 | 0.65 | 0.57 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 210            | 208 | 208 | 370           | 371 | 367 | 0.3               | 0.35 | 0.3  | 0.44 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 209            | 207 | 206 | 366           | 368 | 366 | 0.84              | 0.99 | 0.98 | 0.97 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207            | 207 | 209 | 365           | 364 | 365 | 0.27              | 0.25 | 0.83 | 0.83 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 0              | 0   | 0   | 366           | 366 | 363 | 0.73              | 0.73 | 0.64 | 0    |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 364.6667 | 15.33333   | 4.035088      |
| mt2       | 365      | 15         | 3.947368      |
| gn1       | 369.3333 | 10.66667   | 2.807018      |
| gn2       | 369.3333 | 10.66667   | 2.807018      |

- Scenario 1 Variasi beban 3,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 208            | 207 | 209 | 365           | 365 | 365 | 0.68              | 0.67 | 0.75 | 0.57 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |

|                |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| 208            | 205 | 208 | 365           | 363 | 363 | 0.25              | 0.33 | 0.25 | 0.38 |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 206            | 205 | 205 | 363           | 363 | 362 | 0.87              | 0.96 | 0.96 | 0.94 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 205            | 205 | 207 | 360           | 363 | 363 | 0.33              | 0.32 | 0.36 | 0.88 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 0              | 0   | 0   | 362           | 361 | 360 | 0.68              | 0.71 | 0.6  | 0    |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 362      | 18         | 4.736842      |
| mt2       | 361      | 19         | 5             |
| gn1       | 365      | 15         | 3.947368      |
| gn2       | 363.6667 | 16.33333   | 4.298246      |

- Scenario 2 Variasi beban 1,

|                |     |     |               |     |     |                   |      |      |       |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|-------|
| Generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |       |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |       |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N     |
| 214            | 218 | 220 | 376           | 380 | 378 | 0.84              | 0.47 | 1.02 | 1..35 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                   |      |      |       |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |       |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N     |
| -              | -   | -   | -             | -   | -   | -                 | -    | -    | -     |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |       |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |       |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N     |
| 215            | 220 | 220 | 375           | 375 | 380 | 0.78              | 0.4  | 1    | 1..49 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |       |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |       |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N     |

|                |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|---------|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| 214            | 21<br>3 | 212 | 379           | 374 | 380 | 0.74              | 0.17 | 0.22 | 1.46 |
| Motor 2        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| -              | -       | -   | 377           | 386 | 380 | 1.2               | 0.5  | 1.26 | 0    |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 377.6667 | 2.333333   | 0.614035      |
| mt2       | 381      | -1         | -0.26316      |
| gn1       | 378      | 2          | 0.526316      |

- Scenario 2 Variasi beban 2,

|                |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|---------|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| Generator 1    |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 220            | 22<br>1 | 227 | 379           | 390 | 379 | 1.07              | 0.42 | 1.05 | 1.28 |
| Generator 2    |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| -              | -       | -   | -             | -   | -   | -                 | -    | -    | -    |
| Bus Bar        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 216            | 22<br>2 | 223 | 380           | 378 | 380 | 0.88              | 0.55 | 1.06 | 1.34 |
| Motor 1        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 224            | 22<br>2 | 216 | 380           | 393 | 379 | 0.16              | 0.17 | 0.19 | 1.4  |
| Motor 2        |         |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |         |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN      | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| -              | -       | -   | 380           | 393 | 380 | 1.2               | 0.5  | 1.26 | 0    |

| Component | v | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|---|------------|---------------|
|-----------|---|------------|---------------|

|     |          |          |          |
|-----|----------|----------|----------|
| mt1 | 379.3333 | 0.666667 | 0.175439 |
| mt2 | 384      | -4       | -1.05263 |
| gn1 | 379.3333 | 0.666667 | 0.175439 |

- Scenario 2 Variasi beban 3,

| Generator 1    |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 212            | 218 | 218 | 368           | 380 | 372 | 1.1              | 0.64 | 1.02 | 1.05 |
| Generator 2    |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| -              | -   | -   | -             | -   | -   | -                | -    | -    | -    |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 211            | 215 | 216 | 367           | 370 | 381 | 0.91             | 0.64 | 1.09 | 1.26 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| 211            | 215 | 216 | 369           | 382 | 368 | 0.2              | 0.19 | 0.67 | 1.27 |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                  |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N    |
| -              | -   | -   | 365           | 378 | 367 | 0.83             | 0.24 | 0.74 | 0    |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 373      | 7          | 1.842105      |
| mt2       | 370      | 10         | 2.631579      |
| gn1       | 373.3333 | 6.666667   | 1.754386      |

- Scenario 3 Variasi beban 1,

| diesel generator |     |     |               |     |     |                  |      |      |     |
|------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|------------------|------|------|-----|
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |     |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                | S    | T    | N   |
| 211              | 211 | 209 | 389           | 384 | 385 | 1.02             | 1.78 | 1.66 | 2.8 |
| generator 1      |     |     |               |     |     |                  |      |      |     |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Ampere) |      |      |     |

| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| 211            | 211 | 210 | 386           | 388 | 383 | 1.15              | 1.43 | 1.19 | 3.1  |
| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 210            | 210 | 205 | 380           | 382 | 388 | 2.25              | 2.39 | 2.4  | 5.74 |
| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 208            | 211 | 210 | 384           | 383 | 383 | 0.25              | 0.28 | 0.8  | 1.1  |
| Motor 2        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 0              | 0   | 0   | 385           | 384 | 385 | 0.61              | 0.72 | 0.61 | 0    |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 383.3333 | -3.33333   | -0.87719      |
| mt2       | 384.6667 | -4.66667   | -1.22807      |
| gs        | 386      | -6         | -1.57895      |
| gn1       | 385.6667 | -5.66667   | -1.49123      |

- Scenario 3 Variasi beban 2,

| diesel generator |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 209              | 209 | 207 | 384           | 382 | 380 | 2.35              | 1.94 | 0.89 | 3.08 |
| generator 1      |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 210              | 210 | 208 | 384           | 385 | 384 | 1.36              | 1.44 | 1.21 | 3.2  |
| Bus Bar          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 210              | 210 | 207 | 384           | 380 | 382 | 2.32              | 2.42 | 2.43 | 5.92 |
| Motor 1          |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 207              | 210 | 210 | 382           | 383 | 387 | 0.28              | 0.32 | 0.8  | 1.1  |

| Motor 2        |    |    |               |     |     |                   |      |      |   |
|----------------|----|----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|---|
| V Phase (Volt) |    |    | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |   |
| RN             | SN | TN | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N |
| 0              | 0  | 0  | 387           | 380 | 381 | 0.7               | 0.75 | 0.73 | 0 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 384      | -4         | -1.05263      |
| mt2       | 382.6667 | -2.66667   | -0.70175      |
| gs        | 382      | -2         | -0.52632      |
| gn1       | 384.3333 | -4.33333   | -1.14035      |

- Scenario 3 Variasi beban 3,

| diesel generator |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt)   |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN               | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 209              | 209 | 207 | 384           | 382 | 380 | 2.35              | 1.94 | 0.89 | 3.08 |

| generator 1    |     |     |               |     |     |                   |      |      |     |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|-----|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |     |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N   |
| 210            | 210 | 208 | 384           | 385 | 384 | 1.36              | 1.44 | 1.21 | 3.2 |

| Bus Bar        |     |     |               |     |     |                   |      |      |      |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |      |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N    |
| 210            | 210 | 207 | 384           | 380 | 382 | 2.32              | 2.42 | 2.43 | 5.92 |

| Motor 1        |     |     |               |     |     |                   |      |     |     |
|----------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------------------|------|-----|-----|
| V Phase (Volt) |     |     | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |     |     |
| RN             | SN  | TN  | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T   | N   |
| 207            | 210 | 210 | 382           | 383 | 387 | 0.28              | 0.32 | 0.8 | 1.1 |

| Motor 2        |    |    |               |     |     |                   |      |      |   |
|----------------|----|----|---------------|-----|-----|-------------------|------|------|---|
| V Phase (Volt) |    |    | V Line (Volt) |     |     | Current (Amphere) |      |      |   |
| RN             | SN | TN | RS            | ST  | TN  | R                 | S    | T    | N |
| 0              | 0  | 0  | 387           | 380 | 381 | 0.7               | 0.75 | 0.73 | 0 |

| Component | v        | $\Delta v$ | $\Delta v \%$ |
|-----------|----------|------------|---------------|
| mt1       | 383.3333 | 3.33333    | -0.87719      |
| mt2       | 381      | -1         | -0.26316      |
| gs        | 383      | -3         | -0.78947      |

|     |     |    |          |
|-----|-----|----|----------|
| gn1 | 383 | -3 | -0.78947 |
|-----|-----|----|----------|

### C. Perhitungan impedansi system

| Synchronous Generator Input Data |        |          |       |      |     |          |      |          |          |  |
|----------------------------------|--------|----------|-------|------|-----|----------|------|----------|----------|--|
| ID                               | Type   | MVA      | kV    | RPM  | %PF | $\theta$ | R/X  | Rd       | Xd       |  |
| Diesel Generator 1               | Diesel | 0.000263 | 0.415 | 1500 | 80  | 36.87    | 0.60 | 6.466667 | 10.77778 |  |
| Thruster Generator 1             | Turbo  | 0.0006   | 0.415 | 1500 | 80  | 36.87    | 0.60 | 12.5     | 20.83333 |  |
| Thruster Generator 2             | Turbo  | 0.0006   | 0.415 | 1500 | 80  | 36.87    | 0.60 | 12.36667 | 20.61111 |  |

| Induction Machine Input Data |       |        |      |      |       |          |        |        |          |
|------------------------------|-------|--------|------|------|-------|----------|--------|--------|----------|
| ID                           | Type  | HP     | kW   | kVA  | PF%   | $\theta$ | R/X    | Rd     | Xd       |
| Bow Thruster 1               | Motor | 0.2144 | 0.16 | 0.20 | 80.00 | 36.8699  | 0.6000 | 111.17 | 185.2778 |
| Bow Thruster 2               | Motor | 0.4556 | 0.34 | 0.45 | 75.00 | 41.40962 | 0.6614 | 59.77  | 90.35871 |

| Cable Resistance Data |           |       |             |                      |                       |        |
|-----------------------|-----------|-------|-------------|----------------------|-----------------------|--------|
| ID                    | From      | To    | Lenght (mm) | A (mm <sup>2</sup> ) | $\rho$ ( $\Omega m$ ) | R      |
| Cable 1               | Generator | Bus   | 6000.00     | 2.00                 | 0.00000001680         | 0.0504 |
| Cable 2               | Bus       | Motor | 6000.00     | 2.00                 | 0.00000001680         | 0.0504 |

| Section                 | Calculation  | First cycle Z = R + jX |     |             |
|-------------------------|--|------------------------|-----|-------------|
|                         |  | R                      | + j | X           |
| 1. Thruster Generator 1 | $Xg = \frac{Xd}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}$ | 35.02083               | j   | 58.36805556 |
| 2. Thruster Generator 2 | $Xg = \frac{Xd}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}$ | 34.64728               | j   | 57.745463   |
| 3. Diesel Generator 1   | $Xg = \frac{Xd}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}$ | 41.36403               | j   | 68.94004735 |
| 4. Bow Thruster 1       | $Xm = \frac{Xd}{746} \times \frac{V^2}{HP}$              | 0.871601               | j   | 1.45267     |
| 5. Bow Thruster 2       | $Xm = \frac{Xd}{746} \times \frac{V^2}{HP}$              | 0.220517               | j   | 0.33339     |
| 6. Cable 1              |  | 0.0504                 |     | 0.78        |
| 6. Cable 2              |  | 0.0504                 |     | 0.78        |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Prasyawan, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 28 Januari 1995. Merupakan anak keenam dari enam bersaudara. Penulis merupakan alumni dari SDN Purwantoro 6, Kota Malang Jawa Timur, SMP Negeri 2 Kota Malang Jawa Timur, dan SMA Negeri 1, Kota Malang Jawa Timur. Penulis melanjutkan studi Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2014. Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non akademik. Kegiatan akademik penulis yaitu sebagai grader praktikum *generator 3 phase* dalam matakuliah listrik perkapalan di *Marine Electrical and Automation System Laboratory*. Sedangkan kegiatan non-akademik penulis yaitu organisasi HIMASISKAL FTK-ITS pada tahun kedua staff PSDM, pada tahun ketiga sebagai Sekretaris Jendral DPM ITS 2016-2017. Penulis juga

pernah mengikuti seminar nasional sebagai presenter dan pemakalah dalam Seminar kelautan XIV Universitas Hang Tuah Surabaya. Pengalaman kerja penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pal Indonesia, Surabaya dan PT. Pelindo Marine Service, Surabaya.

Prasyawan  
*Marine Engineering Department*  
Prasawanipa5@gmail.com