



TUGAS AKHIR - ME184834

STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* SISTEM TERTUTUP DALAM SKALA LABORATORIUM

Raden Catur Rizaldi Fitriawan
NRP 0421154000088

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

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



SKRIPSI – ME184834

STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* SISTEM TERTUTUP DALAM SKALA LABORATORIUM

Raden Catur Rizaldi Fitriawan

NRP. 0421154000088

Dosen Pembimbing

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS – ME184834

***STUDY OF POWER FLOW IN SHIP'S ELECTRICAL DYNAMIC
POSITIONING CLOSED BUS SYSTEM ON A LABORATORY SCALE***

Raden Catur Rizaldi Fitriawan

NRP. 0421154000088

Supervisor

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Dr. Eddy Setyo Koenhardono

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* SISTEM TERTUTUP DALAM SKALA LABORATORIUM

SKRIPSI.

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

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

Oleh :

Raden Catur Rizaldi Fitriawan
NRP. 0421154000088

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
NIP. 1960 0319 1987 01 1001



(.....)

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T, M.Sc.
NIP. 1968 0701 1995 12 1001



(.....)

SURABAYA
JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* SISTEM TERTUTUP DALAM SKALALABORATORIUM

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:

Raden Catur Rizaldi Fitriawan
NRP 0421154000088

Disetujui Oleh:

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* SISTEM TERTUTUP DALAM SKALA LABORATORIUM

Nama Mahasiswa : Raden Catur Rizaldi Fitriawan
NRP. : 0421154000088
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing I : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Dosen Pembimbing II : Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T, M.Sc.

ABSTRAK

Peralatan yang menggunakan energi listrik di kapal sangatlah banyak, maka dari itu suplai yang tersedia harus dapat mencukupi kebutuhan pada kapal tersebut. Salah satu sistem yang membutuhkan energi listrik yang besar adalah sistem *Dynamic Positioning*, sistem ini merupakan teknologi yang berfungsi untuk mempertahankan posisi kapal pada suatu titik yang telah ditentukan secara otomatis ataupun dengan kontrol manual. *Dynamic Positioning* menggunakan sensor gerak dan sensor posisi sebagai penyalur informasi perpindahan kapal ke komputer yang mengendalikan *thruster* dan *rudder* secara otomatis sebagai usaha untuk mempertahankan posisi kapal pada titik yang telah ditentukan. Sistem *Dynamic Positioning* menggunakan motor listrik yang terpasang dengan *propeller* sebagai *thruster*, maka dari itu dibutuhkan distribusi tegangan dan daya yang baik agar komponen bekerja optimal. Studi aliran daya pada sistem *Dynamic Positioning* dibutuhkan untuk memastikan daya dan tegangan yang di suplai dari generator-generator yang ada di kapal menuju beban atau motor listrik memenuhi standard yang telah ditentukan. Pada studi aliran daya sistem *Dynamic Positioning* ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan memodelkan rangkaian dari kapal yang memiliki sistem tersebut dengan peralatan laboratorium, dan juga dilakukan analisis terhadap besarnya rugi daya (*losses*) dan tegangan jatuh yang terjadi pada tiap jalur transmisi pada skenario yang telah ditentukan. Didapatkan hasil pada skenario 1 variasi pembebanan 60%-75% besar total daya pembangkitan adalah 413 watt (P) dan 310 VAR (Q) dan daya pada beban sebesar 355.53 watt (P) dan 266.65 VAR (Q) dengan nilai rugi daya sebesar 7.38% pada sisi pembangkitan dan 16.10% pada sisi beban, nilai efisiensi daya pada skenario 1 sebesar 92.62% pada sisi pembangkitan dan 83.9% pada sisi beban dimana masih dalam batas standard IEEE yaitu $\geq 50\%$. Kondisi tegangan pada skenario 1 mengalami drop sebesar 5% hingga 16% maka perlu dilakukan perbaikan agar nilai drop tegangan sesuai standard IEC yaitu $\leq 5\%$. Dilakukan perbaikan menggunakan kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya dan susut tegangan pada sistem dengan hasil pada skenario 1 variasi 60%-75% nilai faktor daya menjadi -0.54 (leading) pada motor 1 dan 2 dengan nilai susut tegangan berkurang menjadi 0.7%.

Kata kunci: Aliran Daya, *Dynamic Positioning*, Sistem Tertutup, Kelistrikan Kapal

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**POWER FLOW ANALYSIS ON SHIP ELECTRICAL SYSTEM DYNAMIC
POSITIONING CLOSED SYSTEM ON LABORATORY SCALE**

Name : Raden Catur Rizaldi Fitriawan
NRP : 0421154000088
Department : Marine Engineering
Supervisor I : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Supervisor II : Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T, M.Sc.

Abstract

Equipment that uses electrical energy on the ship is very much, so the available supply must be able to meet the needs of the ship. One system that requires large electrical energy is the Dynamic Positioning system, this system is a technology that serves to maintain the position of the ship at a predetermined point automatically or with manual control. Dynamic Positioning uses a motion sensor and position sensor as a distributor of information on the ship's movement to a computer that controls the thruster and rudder automatically in an attempt to maintain the position of the ship at a predetermined point. The Dynamic Positioning system uses an electric motor that is installed with a propeller as a thruster, therefore it requires a good voltage distribution and power so that the components work optimally. The study of power flow on a Dynamic Positioning system is needed to ensure that the power and output supplied from the generators on board to the load or electric motors meet the prescribed standards. In the study of the power flow of the Dynamic Positioning system it is carried out on a laboratory scale by modeling a series of ships that have the system with laboratory equipment, and also analyzing the magnitude of losses and falling voltages that occur on each transmission line in a predetermined scenario . The results obtained in scenario 1 are variations in loading 60% -75% of the total generation power is 413 watts (P) and 310 VAr (Q) and the power at the load is 355.53 watts (P) and 266.65 VAr (Q) with a power loss value of 7.38 % on generation side and 16.10% on load side, power efficiency value in scenario 1 is 92.62% on generation side and 83.9% on load side which is still within the IEEE standard limit of $\geq 50\%$. The voltage condition in scenario 1 has a drop of 5% to 16%, so repairs need to be done so that the voltage drop value is in accordance with the IEC standard of $\leq 5\%$. Performed repairs using capacitors to improve the value of the power factor and voltage losses in the system with the results in scenario 1 the variation of 60% - 75% power factor value to -0.54 (leading) on motors 1 and 2 with a voltage drop value reduced to 0.7%.

Keyword: Power Flow, Dynamic Positioning, Closed System, Ship's Electrical

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberi rahmat dan karunia-Nya, shalawat serta salam penulis curahkan kepada nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya. Berkat bantuan moral dan dukungan dari semua pihak membuat tugas akhir ini dapat terselesaikan. Adapun judul dari penelitian ini adalah “STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL *DYNAMIC POSITIONING* SISTEM TERTUTUP DALAM SKALA LABORATORIUM” maka dari itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasihnya atas segala bimbingan dan petunjuk serta bantuan kepada:

1. Kedua orang tua saya Mama dan Papa, beserta kakak dan seluruh keluarga besar Sentanadirja yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral dan material kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Semin, ST., MT., Ph.D selaku Kepala dan Sekertaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen wali yang selalu memberi motivasi dan bimbingannya selama masa perkuliahan di ITS.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing jalannya penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing jalannya penyusunan skripsi.
6. Teknisi dan member Laboratorium Marine Electrical and Automation System (MEAS) yang telah memberikan dukungan moral kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
7. Kepada **Pak Agus** dan **Pak Heru** (Teknisi Lab MEAS), **Hafizh Azra P** (elektro 2015), **Baharsyah** (Tekla 2015), **Adhitya Wicaksana** (Siskal 2015), **Pradnya S** (Siskal 2015), **Intan Widyaningrum** (2015), dan keluarga besar **Kopiganes**, terimakasih atas bantuan doa dan dukungan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
8. Seluruh teman-teman **SALVAGE’15** (Solid Reliable and Visionary Marine Engineer) yang telah 4 tahun memberi warna pada masa perkuliahan.
9. Kepada semua pihak yang berkontribusi terhadap proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa disebutkan semuanya.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan pada penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dari semua pihak demi perkembangan positif penulis.

Demikian tugas akhir ini penulis susun, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Surabaya, 30 Juli 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Kapal AHTS BNI CASTOR	3
2.2. DYNAMIC POSITIONING	3
2.2.1. Peralatan Sistem Dynamic Positioning.....	6
2.2.2. Jenis <i>Operation Mode</i> pada <i>Dynamic Positioning System</i>	8
2.2.3. Klasifikasi <i>Dynamic Positioning System</i>	8
2.2.4. <i>Thruster</i> pada Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	9
2.3. INSTALASI KELISTRIKAN KAPAL	10
2.3.1. Motor Listrik.....	10
2.3.2. Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa (<i>Asynchronous Motor</i>)... ..	11
2.4. ANALISIS ALIRAN DAYA (LOAD FLOW).....	12
2.4.1. Standard Tegangan Jatuh (<i>Drop Voltage</i>), Rugi daya (<i>Power Loss</i>), Faktor Daya Berdasarkan IEC	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1. DESKRIPSI TAHAPAN PENELITIAN	15
3.1.1. Identifikasi Perumusan Masalah	15
3.1.2. Studi Literatur	15
3.1.3. Pengumpulan Data	15
3.1.4. Pemodelan Sistem dalam Skala Laboratorium	15

3.1.5.	Uji Laboratorium	16
3.1.6.	Validasi Data.....	17
3.1.7.	Kesimpulan dan Saran	17
3.2.	DIAGRAM ALUR Pengerjaan Tugas Akhir	18
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		21
4.1.	Pengumpulan Data	21
4.2.	<i>Single Line Diagram</i> kapal AHTS BNI Castor Skala Laboratorium 21	
4.3.	Peralatan Uji Laboratorium.....	23
4.4.	Perencanaan Skenario Konfigurasi Suplai Daya Menuju Beban Listrik Kapal AHTS BNI Castor Skala Laboratorium	28
4.4.1.	Skenario 1, Konfigurasi <i>Closed Bus</i> (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster).....	28
4.4.2.	Skenario 2, Konfigurasi <i>Split Plant</i> (1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster).....	29
4.4.3.	Skenario 3, Konfigurasi <i>Closed Bus</i> (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, Beban Kapal).....	29
4.5.	Perhitungan Load Flow	30
4.6.	Analisa Hasil Uji Laboratorium	33
4.6.1.	Skenario 1 (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster).....	33
4.6.2.	Skenario 2 (1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster).....	40
4.6.3.	Skenario 3 (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, Beban kapal)	45
4.7.	Validasi Data Hasil Uji Laboratorium	52
4.8.	Perhitungan Kapasitor	56
4.8.1.	Skenario 1 (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) dengan Kapasitor.....	57
4.8.2.	Skenario 2 (1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) dengan Kapasitor.....	59
4.8.3.	Skenario 3 (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster) dengan Kapasitor	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kapal AHTS BNI CASTOR.....	3
Gambar 2.2. Derajat Kebebasan pada Kapal	5
Gambar 2.3. Diagram skematik dynamic positioning	6
Gambar 2.4. Diagram skematik dynamic positioning system	7
Gambar 2.5. Layout Thruster Kapal dengan DP System.....	10
Gambar 2.6. Klasifikasi Motor Listrik	11
Gambar 2.7. Drop Voltage Standard IEC	13
Gambar 2.8. Power Utilization Demand Standard	14
Gambar 3.1. Single Line Diagram Dynamic Positoning dalam skala laboratorium.....	16
Gambar 3.2. Flow Chart Metodologi Penelitian.....	18
Gambar 4.1. Kapal AHTS BNI Castor	21
Gambar 4.2. Electrical Schematic Diagram Kapal AHTS BNI Castor	22
Gambar 4.3. Pemodelan skala laboratorium.....	22
Gambar 4.4. Kabel.....	23
Gambar 4.5. Regulator.....	23
Gambar 4.6. Generator 1 (Prime mover AC motor).....	24
Gambar 4.7. Generator 2 (Prime mover DC motor).....	24
Gambar 4.8. Rectifier	25
Gambar 4.9. Motor induksi feedback 64-520.....	25
Gambar 4.10. Motor induksi feedback 64-510.....	25
Gambar 4.11. Motor induksi feedback 64-500.....	26
Gambar 4.12. Motor induksi feedback 64-501	26
Gambar 4.13. Panel Sinkronisasi.....	26
Gambar 4.14. Panel Pembebanan 1	27
Gambar 4.15. Panel pembebanan 2	27
Gambar 4.16. Multimeter	27
Gambar 4.17. Tangmeter	28
Gambar 4.18. Tachometer	28
Gambar 4.19. Skema Aliran Daya Skenario 1.....	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Skenario dan Variasi Pembebanan	17
Tabel 4.1. Variasi pembebanan skenario 1	29
Tabel 4.2. Variasi pembebanan skenario 2	29
Tabel 4.3. Variasi pembebanan skenario 3	30
Tabel 4.4. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 1 variasi 60%-75%	34
Tabel 4.5. Nilai susut tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 60%-75%	34
Tabel 4.6. Nilai tegangan pada jalur transmisi skenario 1 variasi 60%-75%	34
Tabel 4.7. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 1 variasi 80%-100%	35
Tabel 4.8. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 80%-100%	35
Tabel 4.9. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 1 variasi 80%-100%	35
Tabel 4.10. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 1 variasi 100%-100%	36
Tabel 4.11. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 100%-100%	36
Tabel 4.12. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 1 variasi 100%-100%	36
Tabel 4.13. Nilai losses daya dan efisiensi daya skenario 1 dalam persentase	37
Tabel 4.14. Nilai drop tegangan tiap jalur transmisi pada skenario 1	38
Tabel 4.15. Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 skenario 1	39
Tabel 4.16. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 40%-40%	40
Tabel 4.17. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 40%-40%	40
Tabel 4.18. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 2 variasi 40%-40%	40
Tabel 4.19. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 50%-50%	41
Tabel 4.20. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 50%-50%	41
Tabel 4.21. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 2 variasi 50%-50%	41
Tabel 4.22. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 60%-60%	42
Tabel 4.23. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 60%-60%	42

Tabel 4.24. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 2 variasi 60%-60%	42
Tabel 4.25. Nilai losses daya dan efisiensi daya skenario 2 dalam persentase	43
Tabel 4.26. Nilai drop tegangan tiap jalur transmisi pada skenario 2	44
Tabel 4.27. Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 skenario 2	45
Tabel 4.28. 29Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 3 variasi 75%-75%.....	46
Tabel 4.29. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 3 variasi 75%-75%	46
Tabel 4.30. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 3 variasi 75%-75%	46
Tabel 4.31. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 3 variasi 80%-80%	47
Tabel 4.32. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 3 variasi 80%-80%	47
Tabel 4.33. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 3 variasi 80%-80%	47
Tabel 4.34. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 3 variasi 85%-85%	48
Tabel 4.35. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 3 variasi 85%-85%	48
Tabel 4.36. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 3 variasi 85%-85%	48
Tabel 4.37. Nilai efisiensi daya dan losses daya skenario 3 dalam persentase	49
Tabel 4.38. Nilai drop tegangan tiap jalur transmisi pada skenario 3	50
Tabel 4.39. Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 skenario 3	51
Tabel 4.40. Nilai hambatan dan reaktansi setiap komponen	53
Tabel 4.41. Tabel hasil penggunaan kapasitor 4mf pada skenario 3	62

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Rugi Daya pada Skenario 1	37
Grafik 4.2. Drop Voltage pada Skenario 1	38
Grafik 4.3. Nilai faktor daya motor skenario 1	39
Grafik 4.4. Efisiensi daya skenario 2	43
Grafik 4.5. Drop Voltage pada Skenario 2	44
Grafik 4.6. Nilai faktor daya motor skenario 2	45
Grafik 4.7. Efisiensi daya skenario 3	49
Grafik 4.8. Drop Voltage pada skenario 3	50
Grafik 4.9. Nilai faktor daya motor skenario 3	51
Grafik 4.10. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 1 Skenario 1	57
Grafik 4.11. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 2 Skenario 1	58
Grafik 4.12. Voltage Drop Motor 1 Skenario 1	58
Grafik 4.13. Voltage Drop Motor 2 Skenario 1	59
Grafik 4.14. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 1 Skenario 2	59
Grafik 4.15. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 2 Skenario 2	60
Grafik 4.16. Voltage drop motor 1 skenario 2	60
Grafik 4.17. Voltage drop motor 2 skenario 2	61
Grafik 4.18. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 1 Skenario	61
Grafik 4.19. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 2 Skenario 3	62

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kegiatan transportasi, eksploitasi, penelitian, dan kegiatan pertukaran bahan sandang, pangan, dan papan di Indonesia tidak jarang dilakukan melalui laut ataupun wilayah perairan lainnya. Karena Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dan negara dengan wilayah laut yang sangat luas maka sangatlah penting untuk dikembangkannya teknologi dalam bidang maritime yaitu kapal dan bangunan lepas pantai (*Offshore Building*). Di kapal banyak sekali sistem yang terpasang diantaranya sistem permesinan dan juga kelistrikan. Kebutuhan akan energi listrik pada kapal dapat di suplai oleh generator yang terpasang di kapal tersebut. Generator harus bisa mencukupi kebutuhan kapal pada saat berlayar (*sailing*), bermanuver (*maneuvering*), dan bongkar muat (*cargo handling*). Maka dari itu kebutuhan listrik di kapal sangat tinggi dan penting.

Pengeboran minyak di kawasan lepas pantai merupakan pekerjaan yang berat, maka diperlukan bantuan (*support*) guna melakukan kegiatan pengeboran pada bangunan lepas pantai (*offshore building*). Pada prosesnya pengeboran pada bangunan lepas pantai membutuhkan bantuan dari kapal-kapal pembantu (*offshore support vessel*). Kapal-kapal pembantu ini memiliki jenis dan fungsinya masing-masing, diantaranya *Crew Boat*, *Survey Vessel*, *Anchor Handling Towing Supply Vessel (AHTS)*, *Platform Supply Vessel (PSV)*, dan *Diving Support Vessel (DSV)* kebanyakan dari kapal tersebut menggunakan sistem bernama *Dynamic Positioning (DP)* demi menunjang kegiatan yang ada di bangunan lepas pantai.

Dynamic Positioning (DP) adalah sistem yang berfungsi untuk menjaga kedudukan kapal pada satu titik tertentu. teknologi *Dynamic Positioning* ini merupakan sistem pengendalian yang bisa dilakukan secara otomatis ataupun manual (*remotely control*). Pengendalian otomatis *Dynamic Positioning* menggunakan sensor gerak dan sensor angin yang sinyalnya akan di proses di komputer untuk menggerakkan motor untuk memutar baling-baling agar kapal tetap berada pada posisi tetap selama kurun waktu yang ditentukan. Hal ini akan memudahkan kegiatan yang berlangsung di area bangunan lepas pantai, contohnya operasi bongkar muat akan menjadi lebih aman dan tidak perlu lagi operator (*nakhoda*) untuk terus menerus mengawasi perpindahan kapal akibat arus ataupun faktor lainnya. Klasifikasi akan kapal yang menggunakan sistem *dynamic positioning* pada sistem propulsinya telah di atur dalam IMO (*International Maritime Organization*) yang di deskripsikan sebagai Kelas 1, Kelas 2, dan Kelas 3. Klasifikasi tersebut dikelompokkan berdasarkan redundansi dari equipment pada sistem *dynamic positioning*.

Aliran daya pada motor listrik system *dynamic positioning* harus baik dan sesuai spesifikasi dari alat, agar meminimalisir kemungkinan terjadinya kerusakan pada system *dynamic positioning*. Maka dari itu Analisis Aliran Daya Listrik (*Load Flow*) dilakukan untuk mengetahui besarnya aliran daya yang di alirkan dari generator menuju beban-beban pada sistem *dynamic positioning* tetap dalam keadaan

stabil, optimal, dan ekonomis serta berfungsi untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik. Dalam perkembangan, industri darat maupun maritim membutuhkan tenaga listrik yang besar sebagai penggerak alat-alat produksi. Manfaat dari studi ini adalah untuk mengetahui besarnya daya dalam sistem tenaga listrik apakah masih memenuhi batas yang telah ditentukan sesuai standard (IEC dan IEEE) dan mengetahui besarnya rugi daya (*losses*) yang terjadi dalam sistem tenaga listrik.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas rumusan masalah yang di ambil untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1. Berapa nilai daya aktif, daya reaktif pada operasional *dynamic positioning* pada skala laboratorium?
- 1.2.2. Berapa nilai rugi daya (*losses*) dan drop tegangan yang ada pada sistem *dynamic positioning* pada skala laboratorium?
- 1.2.3. Bagaimana solusi permasalahan yang ada pada sistem *dynamic positioning*?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan agar tujuan utama dari penelitian ini tidak menyimpang. Batasan masalah peneliti yang ditetapkan pada penelitian ini diantaranya adalah:

- 1.3.1. Pengambilan data secara eksperimen menggunakan peralatan di laboratorium Marine Electrical and Automation System.
- 1.3.2. Pembahasan hanya pada sistem *dynamic positioning* kapal.

1.4. Tujuan

Tujuan penulisa tugas akhir ini diantaranya:

- 1.4.1. Mengetahui nilai daya aktif, daya reaktif, serta nilai rugi daya (*losses*) pada operasional *dynamic positioning* kapal pada skala laboratorium.
- 1.4.2. Mendapatkan solusi permasalahan yang timbul pada operasional *dynamic positioning* kapal pada skala laboratorium.

1.5. Manfaat

Manfaat dari studi ini adalah:

- 1.5.1. Sebagai referensi untuk operasional generator secara parallel pada kapal yang memiliki sistem *dynamic positioning*.
- 1.5.2. Sebagai referensi penanggulangan masalah yang terjadi pada operasional *dynamic positioning*.
- 1.5.3. Sebagai referensi untuk penulisan tugas akhir lainnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal AHTS BNI CASTOR



Gambar 2.1. Kapal AHTS BNI CASTOR
(sumber: www.bahteraniaga.com)

Kapal pembantu pada kegiatan pengeboran di bangunan lepas pantai sangat penting peranannya, salah satu contoh kapal pembantu pada kegiatan pengeboran lepas pantai yaitu *Anchor Handling tug Supply Vessel* (AHTS) yang dapat dilihat pada gambar 2.1. AHTS adalah kapal yang secara khusus di desain untuk menunjang operasional pengeboran pada bangunan lepas pantai. Kapal AHTS ini juga merupakan kapal yang di rancang untuk dapat bekerja pada lingkungan ekstrim.

Kapal AHTS secara umum dapat dikategorikan menjadi dua berdasarkan desainnya yaitu *North European Anchor Handling Tug*, *American Anchor Handling Tug*, dan *Anchor Handling Tug and Supply Vessel*. secara umum fungsi dari kapal AHTS untuk setiap desainnya adalah sama, sistem dan peralatannya juga relatif sama. Kriteria khusus yang dimiliki kapal AHTS adalah bentuk lambung kapal yang didesain untuk cargo deck area pada bagian belakang, hal ini menjadikan kapal AHTS dapat membawa muatan peralatan dari satu platform ke platform lainnya, area yang terbuka di bagian belakang berfungsi untuk operasional anchor handling.

2.2. DYNAMIC POSITIONING

Dynamic positioning pertama kali dipakai pada kapal CUSS 1 (dinamai untuk perusahaan minyak continental, union, superior, dan Shell yang mengembangkannya pada tahun 1956). Kapal CUSS 1 ini merupakan kapal pengeboran pertama yang menggunakan sistem *dynamic positioning* yang dilengkapi dengan empat pendorong yang dapat berputar (rotating thruster) pada setiap ujung

kapal. Untuk mengetahui perpindahan posisi dari kapal tersebut digunakan pelampung sonar (Submersible Sonar Buoys) yang di simpan secara melingkar di sekeliling kapal. Pelampung sonar tersebut dapat menerima sinyal sejauh 600 feet diameter (Steinbeck, 1961). Sistem *dynamic positioning* yang pertama sitem kendali yang digunakan masih manual, lalu teknologi ini dikembangkan hingga pada akhirnya sistem kendali dari *dynamic positioning* ini menjadi otomatis atau tanpa operator.

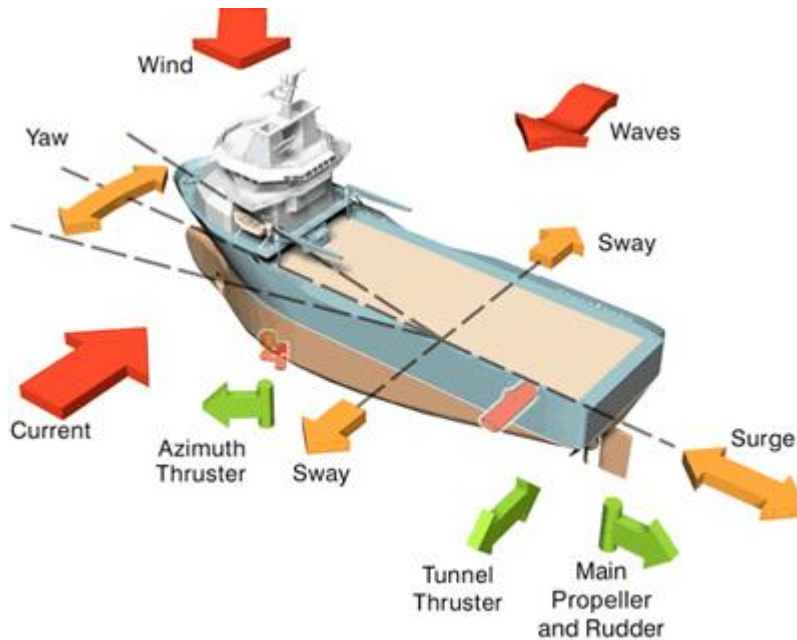
Dynamic Position pada kapal (DP) merupakan sistem yang biasa digunakan pada kapal-kapal pendukung di lokasi pengeboran minyak dan bangunan lepas pantai. Pengeboran di kawasan lepas pantai merupakan pekerjaan yang berat dan memerlukan tingkat reliability serta keselamatan tinggi, maka dari itu diperlukan bantuan (support) guna melakukan kegiatan pada bangunan lepas pantai (Offshore Building). Pada prosesnya pengeboran lepas pantai membutuhkan bantuan dari kapal-kapal pembantu (Offshore Support Vessel). Kapal-kapal pembantu ini memiliki jenis dan fungsinya masing-masing, diantaranya *Crew Boat*, *Survey Vessel*, *Anchor Handling Towing Supply Vessel* (AHTS), *Platform Supply Vessel* (PSV), *Diving Support Vessel* (DSV), dan kapal-kapal pembantu lainnya dengan sistem manuver konvensional ataupun menggunakan *dynamic positioning*.

Sistem *dynamic positioning* merupakan sistem yang bertujuan untuk mempertahankan kedudukan kapal pada suatu titik atau posisi yang dibutuhkan pada saat operasionalnya. Sistem ini memanfaatkan sensor gerak, sensor angin, dan *gyrocompass* sebagai input lalu sinyal dari sensor tersebut di proses di komputer yang nantinya digunakan untuk pengendalian pendorong (thruster) secara otomatis. Dengan adanya sistem ini kapal akan memiliki kemampuan untuk menjaga posisi pada satu titik yang telah ditentukan (*fixed predetermined location*).

Pada kapal terdapat enam derajat kebebasan atau dalam kata lain kapal memiliki enam sumbu gerak yang diantaranya adalah:

1. Gerak Translasi:
 - *Surge*(*forward astern*)
 - *Sway* (*starboard/port*)
 - *Heave* (*up/down*)
2. Gerak Rotasi:
 - *Roll* (*rotation surge axis*)
 - *Pitch* (*rotation sway axis*)
 - *Yaw* (*rotation heave axis*)

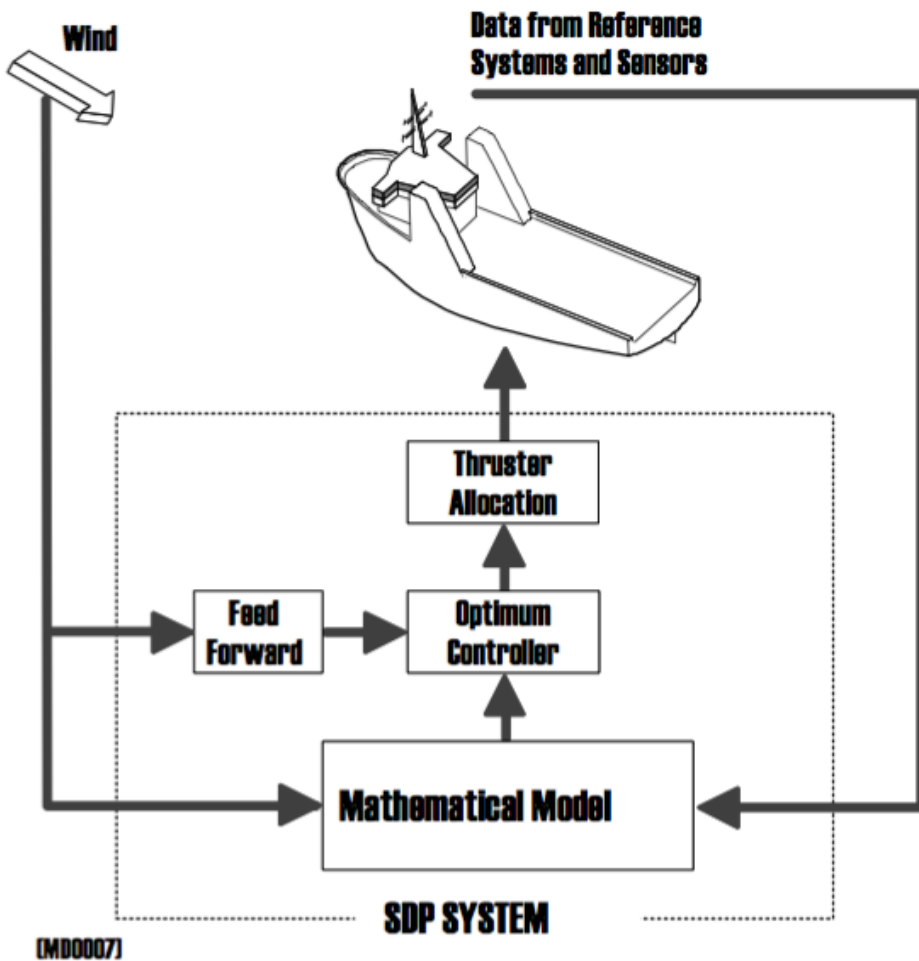
Yang dapat di kontrol oleh sistem *dynamic positioning* hanyalah gerak translasi yang terjadi pada kapal.



Gambar 2.2. Derajat Kebebasan pada Kapal
(sumber: <http://www.ringzone.com/training>)

Dynamic positioning Menurut (Balchen, 1980) adalah: “*dynamic positioning* adalah sistem yang berfungsi untuk menjaga sebuah kapal dalam posisi yang ditentukan dengan tindakan dari sistem propulsi yang tepat. Sistem DP memiliki satu atau lebih posisi dan *heading measurement system*, kontrol set algoritma dan sistem propulsi.”

Dynamic Positioning dapat mengendalikan pergerakan *surge*, *sway*, dan *yaw* secara otomatis dengan menggunakan program komputer, untuk menjaga posisi dari kapal ataupun bangunan laut. Data yang disalurkan ke komputer tersebut adalah data dari sensor yang membandingkan data yang diterima dengan data yang telah ditentukan operator (*pre-set data*). Lalu sistem kontrol dari DP akan mengoreksi kesalahan atau error dengan menggerakkan sistem propulsi untuk mencapai posisi yang di inginkan antara posisi aktual, *heading data*, dan *pre-set data*. Prinsip kerja *dynamic positioning* dapat dilihat pada diagram ilustrasi dibawah.



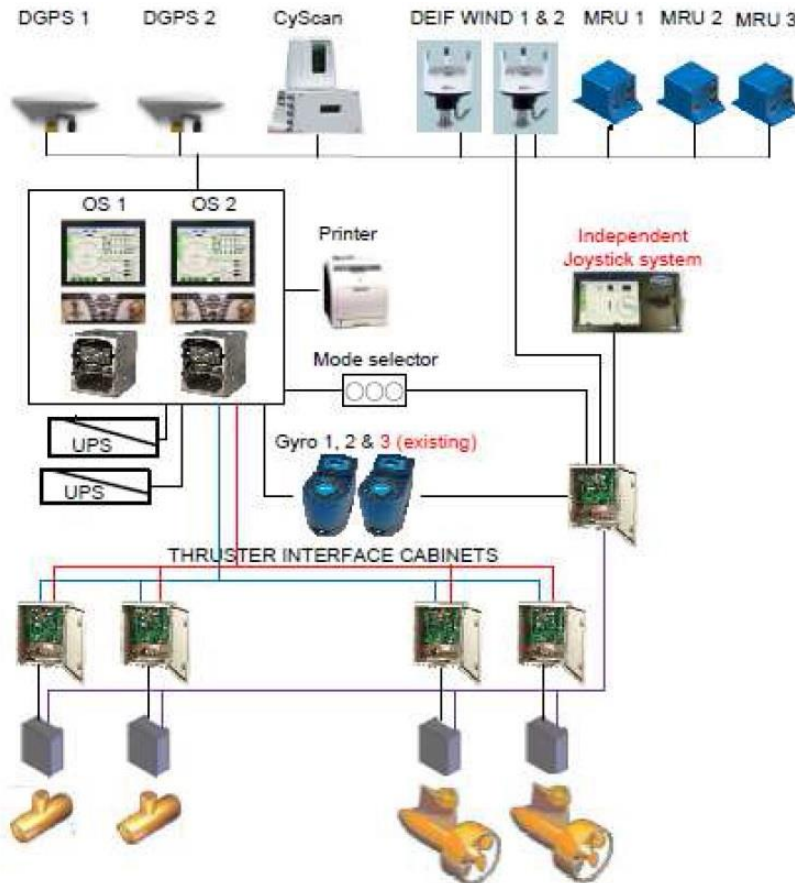
Gambar 2.3. Diagram skematik dynamic positioning
(sumber: www.nedcon.ro)

2.2.1. Peralatan Sistem Dynamic Positioning

Dynamic positioning system pada gambar 2.3 dibagi menjadi tiga yaitu:

- *DP control system*: memiliki *sub-system* diantaranya: sistem kontrol DP; *sensoric system*; *display system*; *associated cabling* dan *positioning reference system*
 - *Positioning reference system*, merupakan sistem yang berfungsi untuk mendefinisikan posisi kapal saat di laut. Contohnya adalah sistem DGPS, *acoustic position reference system*, *riser angle monitoring*, dan *light taut wire position reference system*.

- *Power system*: sistem penyuplai daya untuk sistem DP, yang biasanya terdiri dari: *prime mover*; generator; *switchboards*; *uninterruptable power supplies* dan baterai; *distribution system*; *power management system*.
- *Thruster system*: pada sistem *dynamic positioning* terdapat dua jenis *thruster* yang sering digunakan yaitu: *tunnel thruster* dan *azimuth thruster* yang bias berputar 360 derajat. Sistem ini juga termasuk *control system* dan *power system*.



Gambar 2.4. Diagram skematik dynamic positioning system
(sumber: <http://www.ramcomarine.eu/portfolio-item>)

Pada gambar 2.4 tercantum beberapa peralatan atau komponen DP yang terdiri dari:

1. Operator DP (STC OOW Minimum)
2. DP controller computer
3. Man machine interface or DP desk
4. Power generation system & switchboard

5. *Thrusters & motors (station keeping)*
6. *2 reference system for position (PRS) (surge,sway)*
7. *Gyrocompass for heading (yaw)*
8. *Motion Reference Unit (MRU) (heave, pitch, roll)*
9. *Wind sensors*
10. *Feedback to controller (The model)*
11. *Backup Uninterruptable Power Supply (UPS)*
12. *Communication system*
13. *System alarms & alarmed printer*
14. *Alerting or alarm system traffic lights*

2.2.2. Jenis Operation Mode pada Dynamic Positioning System

Berdasarkan pekerjaan industrial, terdapat tiga jenis kapal yang memakai *dynamic positioning system* yaitu *mobile offshore drilling units*, *project construction vessel*, dan *logistic vessel* (marine technology comitee, 2012). Kapal-kapal tersebut memiliki fungsi dan peran yang berbeda-beda pada *offshore building*, tetapi pada dasarnya terdapat enam mode operasi pada *dynamic positioning* diantaranya:

1. *Manual/Joystick mode*, memungkinkan operator untuk mengontrol perpindahan kapal secara manual menggunakan *joystick*.
2. *Auto Position* dan *Auto Heading mode*, mengatur *heading* dan posisi yang dibutuhkan secara otomatis.
3. *Auto Area Position mode*, menjaga kapal agar tetap pada area dan heading yang dikehendaki selagi menggunakan power sesedikit mungkin (*minimum power*).
4. *Auto Track mode (low speed & high speed)*, memungkinkan kapal bergerak pada jalur tertentu mengikuti jalur yang telah di atur pada *waypoints*.
5. *Autopilot mode*, memungkinkan kapal mengikuti arah yang telah ditentukan sebelumnya oleh operator.
6. *Follow Target mode*, memungkinkan kapal mengikuti *set-point* yang secara konstan berganti-ganti secara otomatis.

Selain mode diatas, sudah banyak beberapa mode khusus telah dikembangkan demi kerja yang optimal untuk kapal-kapal pembantu *offshore* lainnya (Holvik, 1998).

2.2.3. Klasifikasi Dynamic Positioning System

Adapun aturan untuk kapal-kapal yang memakai *dynamic positioning system*. Aturan tersebut digambarkan menjadi tiga kelas,

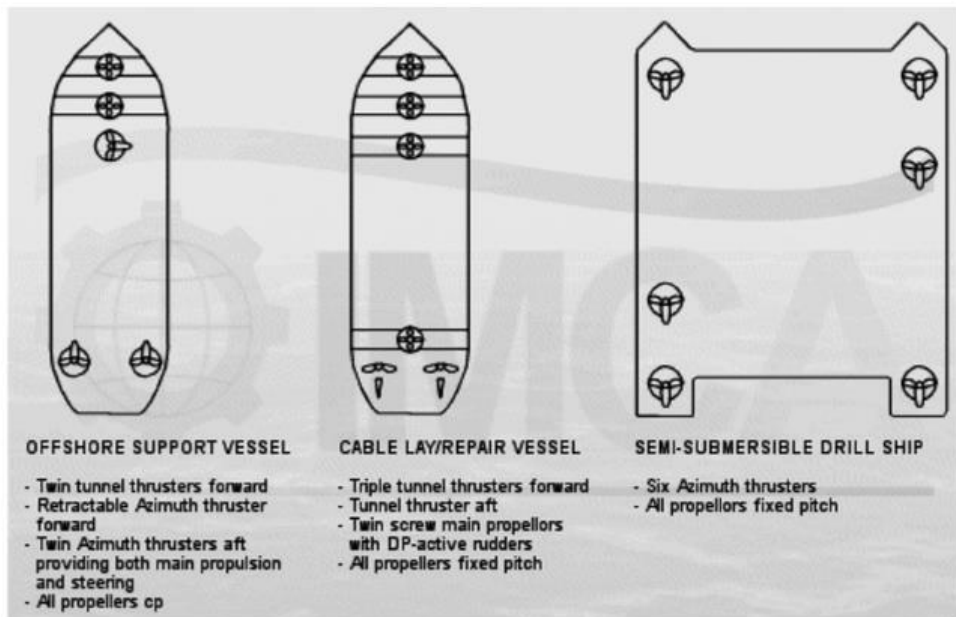
diantaranya Kelas 1, Kelas 2, dan Kelas 3. Klasifikasi ini berdasarkan konsep redundansi, yaitu *Performance*, *Protection*, dan *Detection*. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing kelas:

- Peralatan Kelas 1, tidak memiliki redundansi, maka error posisi dapat terjadi akibat satu jenis kesalahan.
- Peralatan Kelas 2, memiliki redundansi dalam kata lain satu kesalahan pada sistem tidak akan membuat keseluruhan dari sistem tersebut gagal. Kehilangan posisi tidak akan terjadi akibat kegagalan pada komponen yang aktif seperti generator, *thruster*, *switchboards*, *remote controlled valve* dan lainnya. Namun terjadi akibat kegagalan pada komponen static contohnya kabel, pipa, *manual valves* dan lain sebagainya.
- Peralatan Kelas 3, harus bisa bertahan dari kegagalan sistem akibat api atau kebocoran pada suatu *compartment*. Kehilangan posisi tidak boleh terjadi akibat kegagalan tunggal termasuk terbakarnya suatu *sub division* atau kebocoran pada *watertight compartment* (IMO MSC/Circ.645, 1994).

2.2.4. Thruster pada Sistem Dynamic Positioning

Untuk menggerakkan sebuah kapal diperlukan sebuah penggerak. Penggerak yang ada di kapal adalah *thruster* dan *propeller*. Dalam sistem *dynamic positioning* sistem propulsi berfungsi untuk mempertahankan kedudukan kapal pada suatu posisi tertentu (*station keeping*). Kapal yang memiliki sistem DP, selain mempunyai *propeller* utama kapal ini juga mempunyai *bow thruster* dan *azimuth thruster*.

Secara umum *Offshore Support Vessel* (OSV) memiliki dua *propeller* untuk propulsi utamanya hal ini dikarenakan kebutuhan daya dan maneuver. OSV memiliki *thruster* pada bagian *bow* dan *stern*. Pada bagian *bow* digunakan *azimuth thruster* atau *tunnel thruster*. Kedua *thruster* ini memiliki perbedaan kemampuan maneuver, salah satunya *azimuth thruster* memiliki kemampuan untuk berputar dan memberikan gaya sebesar 360 derajat (Ritchie, 2008)



Gambar 2.5. Layout Thruster Kapal dengan DP System
(sumber: Introduction to Ship Dynamic Positioning System, 2008.)

2.3. INSTALASI KELISTRIKAN KAPAL

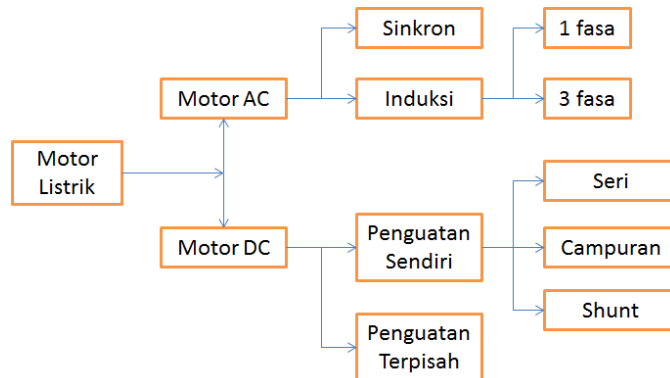
Listrik pada kapal merupakan hal yang sangat penting bagi kelangsungan operasional dari kapal itu sendiri. Sistem kelistrikan di kapal digunakan untuk memenuhi kebutuhan penerangan, penggerak mesin bantu (*auxiliary engine*), serta dapat digunakan untuk menggerakkan elektro motor untuk menyalakan mesin utama kapal. Pada umumnya sistem kelistrikan memiliki tiga segmen yaitu pembangkitan, distribusi, dan pembebanan.

Untuk membangkitkan energi listrik dibutuhkan sebuah komponen yang dinamakan generator. di kapal generator harus dapat menyediakan energi listrik secara terus menerus dan mencukupi kebutuhan daya kepada seluruh beban yang ada (Sarwito, 1995). Prinsip kerja dari generator sendiri yaitu kumparan pada rotor yang berputar akan memotong gaya magnet pada masing-masing kutub (induksi) sehingga menimbulkan perbedaan tegangan dan menghasilkan arus listrik. Kapal memiliki empat kondisi diantaranya berlayar, manuver, berlabuh, dan bongkar muat dengan adanya keempat kondisi tersebut maka generator yang terpasang harus dapat memenuhi kebutuhan daya maksimum dan minimum pada keempat kondisi tersebut. Perlu diperhatikan juga kebutuhan daya cadangan di kapal ketika semua motor yang memiliki daya besar dinyalakan pada periode tertentu. Daya cadangan yang di kapal besarnya adalah 15% dari total kebutuhan daya.

2.3.1. Motor Listrik

Motor listrik adalah alat yang berfungsi untuk merubah energi listrik menjadi gaya gerak mekanik yang berupa putaran (Prasetya, 2012). Motor listrik

diklasifikasikan menjadi dua yaitu motor ac dan motor dc, berikut klasifikasi dari motor listrik:



Gambar 2.6. Klasifikasi Motor Listrik
(sumber: bungaelin.blogspot.com)

Perubahan energi listrik menjadi mekanik dilakukan dengan cara memanfaatkan gaya magnet yang dihasilkan dari energi listrik (elektro magnet). Pada prinsipnya kutub magnet yang sama akan saling tolak-menolak dan yang berbeda akan saling menarik, dengan memanfaatkan prinsip magnet tersebut gerakan memutar akan terbentuk apabila magnet ditempatkan pada suatu poros yang dapat berputar (rotor) dan magnet yang lain pada posisi yang tetap (stator).

Beban pada motor dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu:

1. Beban torsi konstan, merupakan beban dengan output energi dan kecepatan yang bervariasi namun torsi tetap.
2. Beban torsi bervariasi, merupakan beban dengan kecepatan dan torsi yang bervariasi.
3. Beban energi konstan, merupakan beban dengan torsi yang berbanding terbalik dengan kecepatan dan berubah-ubah.

2.3.2. Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa (*Asynchronous Motor*)

Motor induksi tiga fasa menggunakan prinsip induksi electromagnet antara kumparan stator dan rotor. Prinsip dasar motor induksi tiga fasa diantaranya:

1. Timbulnya tegangan induksi pada setiap konduktor merupakan hasil dari medan magnet yang memotong konduktor tersebut (hukum Faraday).
2. Akibat konduktor yang terhubung satu sama lain maka tegangan induksi menghasilkan arus yang mengalir dari konduktor yang satu ke konduktor lainnya.
3. Karena timbulnya arus diantara medan magnet maka terbentuklah gaya (hukum Lorentz).
4. Timbulnya gaya akan menarik konduktor untuk bergerak sepanjang medan magnetik.

Banyaknya kutub dan besarnya frekuensi sumber tegangan yang disalurkan ke motor induksi tiga fasa mempengaruhi kecepatan output yang dihasilkan. Medan magnet yang timbul pada stator akan memotong batang konduktor pada rotor dengan demikian akan timbul gaya gerak listrik perfasa. Kumparan pada rotor motor induksi tiga fasa merupakan rangkaian yang tertutup, seperti yang telah disebutkan maka gaya gerak listrik (E) akan menghasilkan arus (I). arus yang timbul di antara medan magnet akan memicu terbentuknya gaya (F). Tegangan induksi yang timbul akibat terpotongnya batang konduktor pada rotor oleh medan putar stator, maka untuk menginduksi tegangan perbedaan relatif antara medan putar rotor (N_r) dan medan putar stator (N_s) diperlukan. Perbedaan antara kedua medan putar disebut dengan slip (S) (Prasetya, 2012).

Tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan muncul pada kumparan jangkar rotor serta kopel tidak akan dihasilkan apabila $N_r = N_s$. timbulnya kopel pada motor karena. Motor induksi disebut juga motor asinkron karena terdapat perbedaan antara medan putar rotor dan stator (Berlianti, 2015).

2.4. ANALISIS ALIRAN DAYA (LOAD FLOW)

Analisis aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mengetahui aliran daya dan tegangan dari sumber menuju setiap beban pada kondisi operasi tunak atau terus-menerus (Lhokseumawe, 2014). Analisis ini berguna untuk mengevaluasi daya yang bekerja pada sistem dan menganalisis kondisi pembangkitan daya dan pembebanannya. Analisis ini juga berguna untuk memastikan apakah sistem tenaga listrik yang di analisis memenuhi batas-batas yang telah ditentukan oleh standart dan untuk mengetahui besarnya rugi daya yang ada pada sistem tersebut untuk usaha perencanaan sistem baru dengan losses sekecil mungkin.

Studi analisis aliran daya ini mengambil contoh pada implementasi sistem kelistrikan kapal yang memiliki sistem *dynamic positioning* yaitu *Anchor Handling Tug Supply Vessel* berbasis skala laboratorium. Pada analisis aliran daya ini hal yang perlu di hitung antara lain daya aktif, daya reaktif di setiap simpul (bus), rugi daya (losses), tegangan jatuh yang terjadi pada sistem, dan aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik. Daya aktif merupakan daya yang terpakai oleh beban, daya aktif dipengaruhi oleh faktor daya ($\cos\pi$) dari beban. Terdapat perbedaan untuk beban satu fasa dan beban tiga fasa yang besarnya dapat di definisikan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\pi \quad (2.1)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\pi \quad (2.2)$$

Kondisi ideal dan kondisi nyata dari suatu sistem merupakan hal yang tidak akan sama begitu pula pada instalasi kelistrikan, daya yang diberikan dari sumber tidak akan sama setelah diterima oleh beban. Hal tersebut dipengaruhi oleh dua faktor yaitu:

1. Impedansi pada rangkaian, impedansi merupakan resultan dari hambatan resistif, induktif, dan kapasitif. Dapat juga di definisikan sebagai tolakan terhadap arus sinusoid yang juga dapat di akibatkan oleh kabel penghubung rangkaian. Impedansi ini yang menyebabkan munculnya rugi daya pada suatu rangkaian (losses).
2. Jenis dari beban yang ada dalam rangkaian, hal ini juga dapat menyebabkan resultan dari besaran beban induktif dan kapasitif akan mempengaruhi *load factor* sehingga daya yang di alirkan dari sumber dan yang diterima oleh beban berbeda.

2.4.1. Standard Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*), Rugi daya (*Power Loss*), Faktor Daya Berdasarkan IEC

Tegangan jatuh (*Drop Voltage*) merupakan permasalahan yang biasa muncul akibat dari pembebanan yang dilakukan pada rangkaian sistem kelistrikan. Jatuhnya tegangan memilik standard tertentu yang menyatakan bahwa jatuhnya tegangan pada suatu sistem kelistrikan masih dapat diterima (sesuai toleransi) ataupun tidak. Standard yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini adalah IEC (*International Electrotechnical Commission*). Selain nilai tegangan yang diatur IEC mengatur nilai rugi daya yang di definisikan dalam efisiensi daya dari pembangkitan hingga ke beban. Banyak hal yang berkaitan dengan instalasi kelistrikan yang di atur dalam standard IEC ini seperti *design requirement* dari instalasi listrik agar tercapainya efisiensi optimal. Selain standard IEC juga meberikan saran untuk perbaikan dari sebuah instalasi kelistrikan agar mencapai efisiensi yang lebih baik. Untuk nilai rugi efisiensi daya harus melebihi 50% karena faktor ekonomis dan meminimalisir nilai emisi yang terjadi standard tersebut diatur oleh IEEE sebagai referensi untuk merencanakan sistem kelistrikan. Berikut merupakan standard untuk tegangan jatuh dan nilai faktor daya yang harus dimiliki beban.

Type of installation	Lighting %	Other uses %
A – Low voltage installations supplied directly from a public low voltage distribution system	3	5
B – Low voltage installation supplied from private LV supply ^a	6	8

^a As far as possible, it is recommended that voltage drop within the final circuits do not exceed those indicated in installation type A.

When the main wiring systems of the installations are longer than 100 m, these voltage drops may be increased by 0,005 % per metre of wiring system beyond 100 m, without this supplement being greater than 0,5 %.

Voltage drop is determined from the demand by the current-using equipment, applying diversity factors where applicable, or from the values of the design current of the circuits.

Gambar 2.7. Drop Voltage Standard IEC
(Sumber: IEC 60364)

Utilisation (demand) factor

In normal operating conditions, the power consumption of a load is sometimes less than that indicated as its nominal power rating. This is a fairly common occurrence that justifies the application of an utilization factor (ku) in the estimation of realistic values. This factor must be applied to each individual load, with particular attention to electric motors, which are rarely operated at full load.

In an industrial installation this factor may be estimated on an average of 0.75 for motors.

**Gambar 2.8. Power Utilization Demand Standard
(Sumber: Ti-Soft)**

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. DESKRIPSI TAHAPAN PENELITIAN

3.1.1. Identifikasi Perumusan Masalah

Observasi dan meneliti permasalahan yang muncul dari objek penelitian. Peneliti merumuskan masalah mengenai studi analisis aliran daya berbasis skala laboratorium: studi kasus thruster pada sistem dynamic positioning Anchor Handling Tug Supply Vessel.

3.1.2. Studi Literatur

Mencari informasi mengenai penelitian dengan cara mempelajari teori tentang topik dari penelitian, membaca, dan mencatat secara sistematis mengenai sistem dynamic positioning dan perhitungan aliran daya. Adapun beberapa macam teori yang mendukung dasar dari penelitian ini diantaranya jurnal, buku, internet, dan lainnya.

Referensi dan literatur yang mendasari penelitian ini dapat di cari di beberapa tempat diantaranya:

1. Laboratorium Marine Electrical and Automation System, Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
2. Ruang Baca Fakultas Teknologi Kelautan ITS
3. Perpustakaan ITS

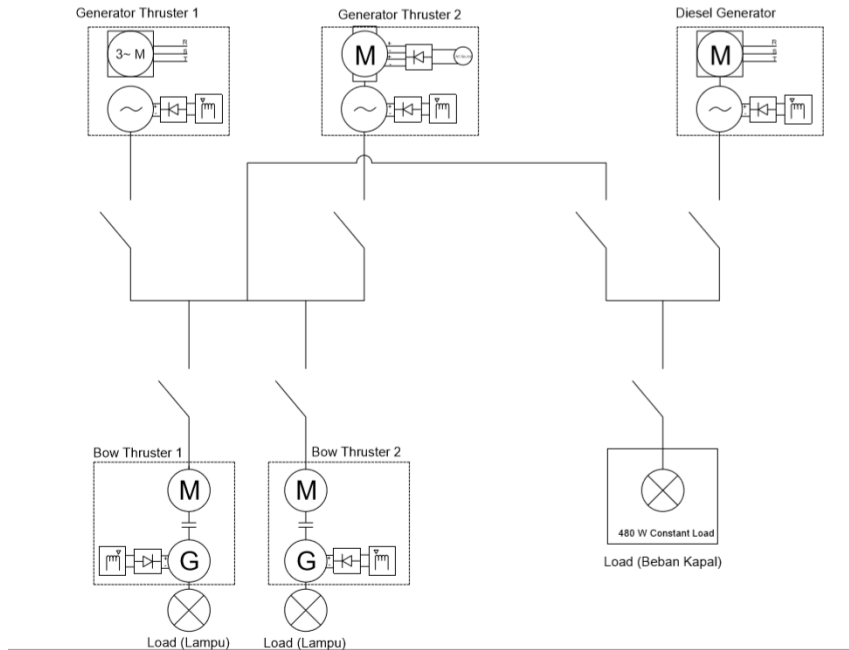
3.1.3. Pengumpulan Data

Tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam pemodelan sistem *dynamic positioning* dalam skala laboratorium, diantaranya:

1. Data Kapal AHTS BNI Castor
2. Data *wiring diagram* kapal AHTS BNI Castor
3. Data *single line diagram* sistem kelistrikan kapal AHTS BNI Castor

3.1.4. Pemodelan Sistem dalam Skala Laboratorium

Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem *dynamic positioning* menggunakan peralatan laboratorium Marine Electrical and Automation System. Pemodelan dilakukan dengan menggambar *single line diagram* sistem kelistrikan kapal AHTS BNI Castor dengan *dynamic positioning system*. Berikut merupakan *single line diagram* dari pemodela sistem *dynamic positioning* dalam skala laboratorium:



Gambar 3.1. Single Line Diagram Dynamic Positioning dalam skala laboratorium
(Sumber: dokumen pribadi)

3.1.5. Uji Laboratorium

Pada tahap ini dilakukan simulasi terhadap sistem yang telah dimodelkan dan dirangkai dengan skenario dan variasi beban yang telah ditentukan. Tahap ini bertujuan untuk dapat menganalisis kondisi aliran daya (*load flow*) pada setiap skenario pembebanan dan juga menganalisis kondisi kritis dari aliran daya pada setiap variasi pembebanan. Berikut tabel variasi pembebanan yang dilakukan pada pengambilan data untuk meneliti aliran daya yang terjadi pada sistem yaitu:

Tabel 3.1. Skenario dan Variasi Pembebanan

Skenario	Suplai daya	Beban	Variasi Daya
1	2 Generator Thruster	2 Bow Thruster	60%-75% 100%-80% 100%-100% 110%-110%
2	1 Generator Thruster	2 Bow Thruster	40%-40% 50%-50% 60%-60%
3	1 Generator Thruster, dan 1 Diesel Generator	2 Bow Thruster, Beban Kapal	75%-75% 80%-80% 85%-85%

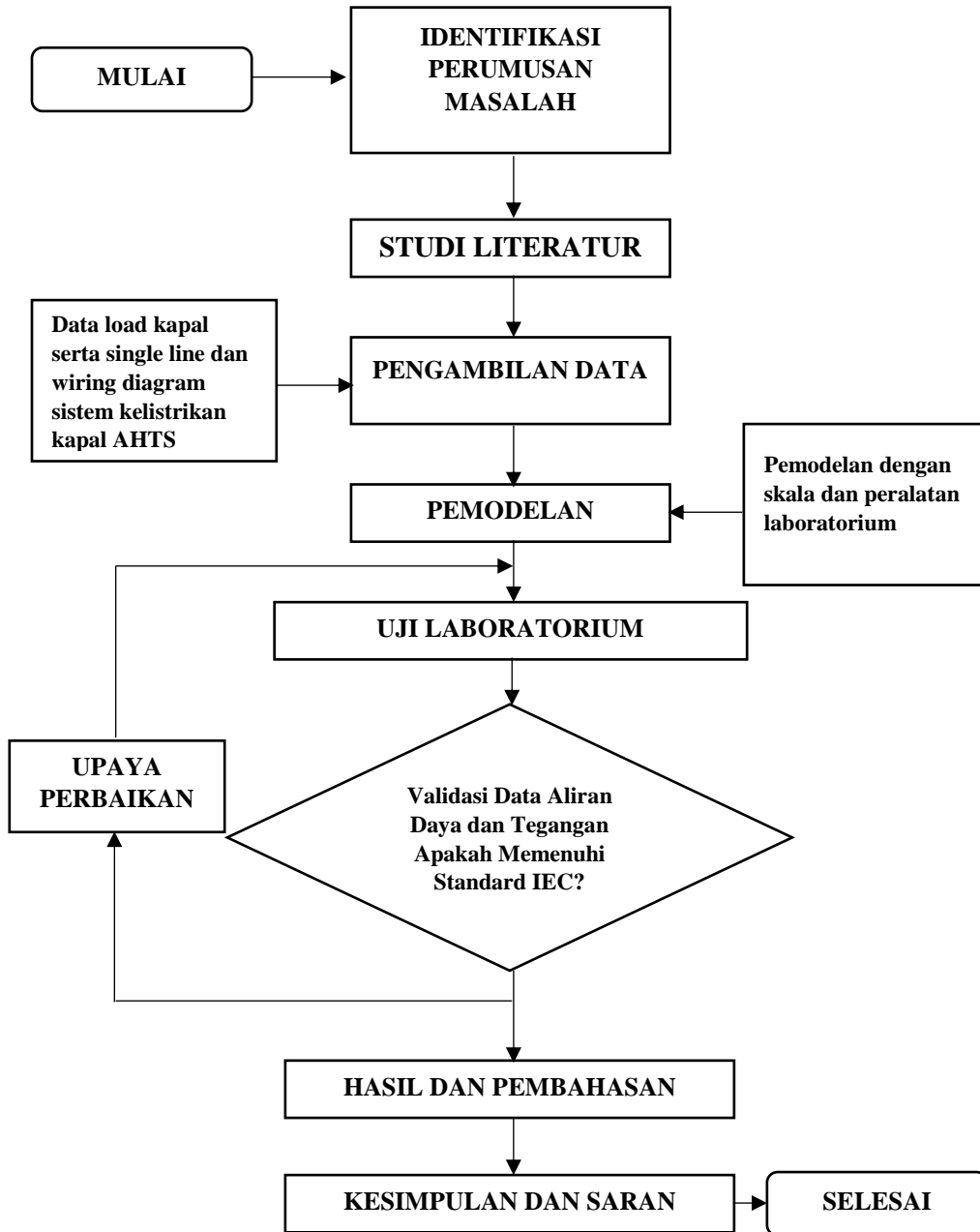
3.1.6. Validasi Data

Pada tahap ini menjelaskan data-data yang tervalidasi apakah sudah sesuai dengan standard (IEEE dan IEC). Setelah itu dilakukan pembahasan terhadap data-data yang tidak memenuhi standard dan membahas faktor yang menyebabkan data tidak memenuhi standard. Pembahasan akan upaya perbaikan akan dibahas pada tahap ini.

3.1.7. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir, dimana pada tahap ini dilakukan pembuatan kesimpulan yang diambil dari proses-proses sebelumnya. Selanjutnya dilakukan pemberian saran agar studi ini dapat dikembangkan di masa mendatang.

3.2. DIAGRAM ALUR Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.2. Flow Chart Metodologi Penelitian

JADWAL PELAKSANAAN

No.	Rencana Kegiatan	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV				Bulan V			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Identifikasi dan Perumusan Masalah	■	■																		
2	Studi Literatur	■	■	■	■																
3	Pengumpulan Data					■	■														
4	Pemodelan/Perencanaan Sistem					■	■	■	■	■	■										
5	Simulasi									■	■	■	■	■	■	■	■				
6	Hasil dan Pembahasan													■	■	■	■				
7	Kesimpulan																	■	■	■	■

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengumpulan Data

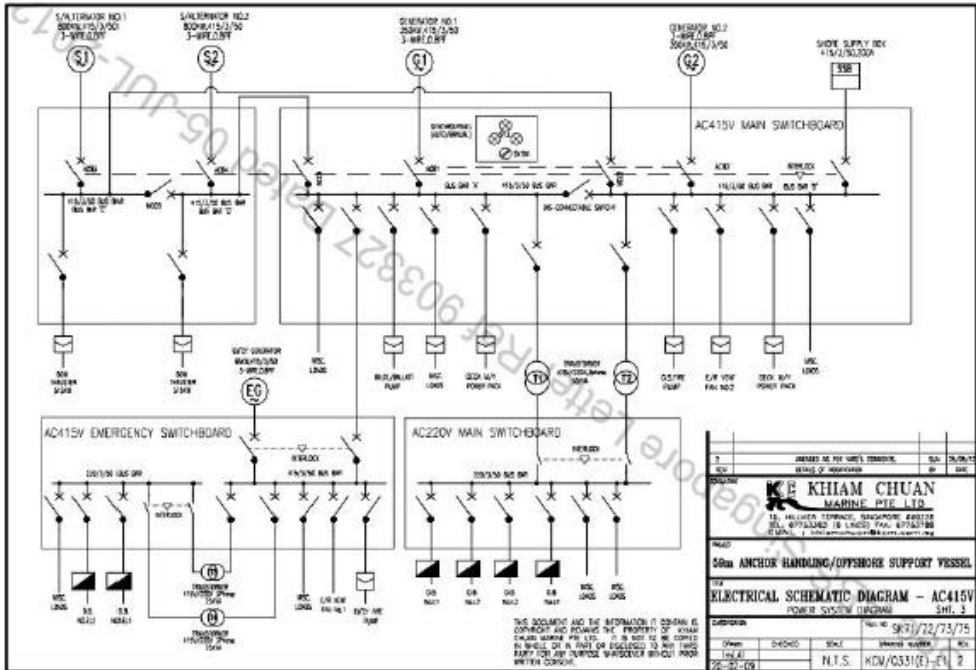
Langkah pertama yang dilakukan pada pembahasan penelitian ini yaitu mengumpulkan data sistem kelistrikan Kapal AHTS pada gambar 4.1 yang dilengkapi dengan sistem *dynamic positioning*, data ini diperoleh dari perusahaan PT. Bahtera Niaga Internasional. Perusahaan PT. Bahtera Niaga Internasional ini bergerak pada bidang penyewaan kapal pembantu pada bangunan lepas pantai (*Offshore Support Vessel*). Berikut merupakan data primer yang digunakan sebagai referensi untuk membuat sistem *dynamic positioning* rangkaian tertutup pada skala laboratorium



Gambar 4.1. Kapal AHTS BNI Castor
(Sumber: www.marinetraffic.com)

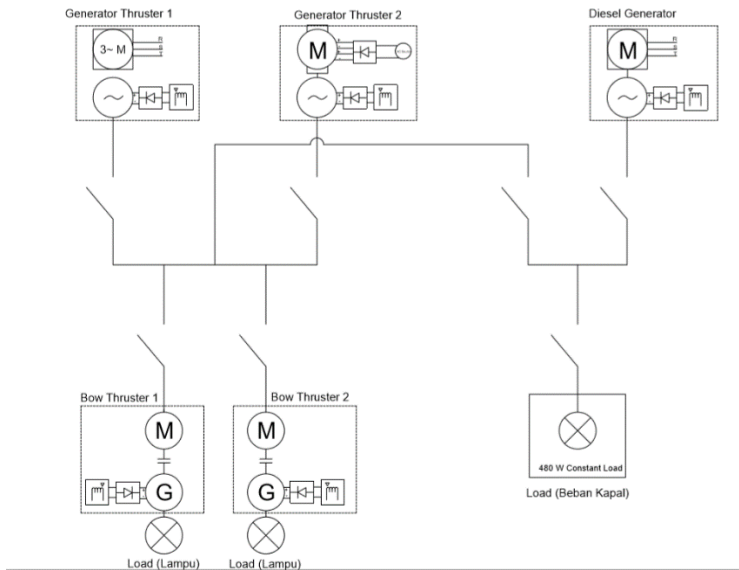
4.2. *Single Line Diagram* kapal AHTS BNI Castor Skala Laboratorium

Untuk dapat melakukan uji laboratorium maka dibutuhkan *Single Line Diagram* yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dari sistem kelistrikan kapal untuk mengetahui komponen-komponen yang ada pada sistem dan melakukan penyesuaian peralatan untuk melakukan uji laboratorium. Berikut merupakan rangkaian asli dari sistem kelistrikan Kapal AHTS BNI Castor dengan sistem *dynamic positioning*:



Gambar 4.2. Electrical Schematic Diagram Kapal AHTS BNI Castor (Sumber: PT. Bahtera Niaga Internasional)

Setelah melakukan peninjauan terhadap rangkaian sistem kelistrikan kapal *dynamic positioning*, dilakukan pemodelan sistem dengan peralatan laboratorium. Berikut adalah rangkaian yang dimodelkan dalam skala laboratorium:



Gambar 4.3. Pemodelan skala laboratorium (Sumber: Dokumen Pribadi)

4.3. Peralatan Uji Laboratorium

Untuk melakukan uji laboratorium dalam studi aliran daya ini digunakan peralatan yang memiliki fungsi tertentu di dalam rangkaian. Peralatan tersebut diantaranya adalah:

- Kabel
Sebagai penyalur energi listrik, komponen kabel sendiri terdiri dari konduktor dan isolator.



Gambar 4.4. Kabel
(Sumber: Dokumen pribadi)

- Regulator/Autotransformator
Regulator berfungsi untuk mengatur besarnya tegangan dan arus eksitasi yang disalurkan dari sumber ke alternator.



Gambar 4.5. Regulator
(Sumber: Dokumen pribadi)

- Generator set
Terdiri dari *prime mover* dan alternator yang berfungsi untuk membangkitkan daya listrik yang nantinya akan di suplai ke motor yang digunakan sebagai *thruster*.

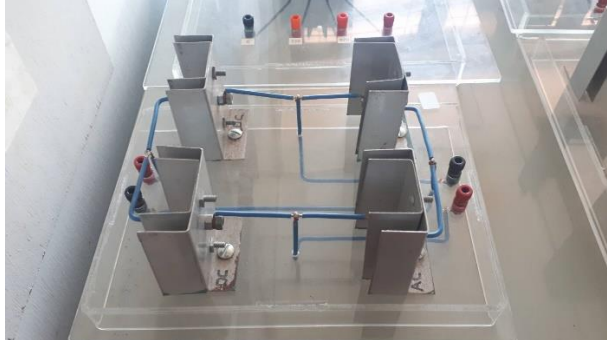


Gambar 4.6. Generator 1 (Prime mover AC motor)
(Sumber: Dokumen pribadi)



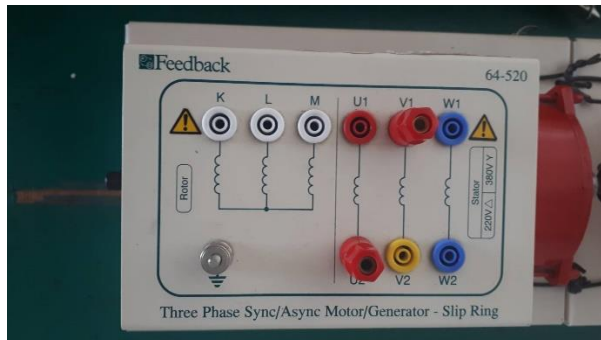
Gambar 4.7. Generator 2 (Prime mover DC motor)
(Sumber: Dokumen pribadi)

- **Rectifier**
Berfungsi untuk menyearahkan arus atau mengubah arus listrik AC (bolak-balik) menjadi DC (Searah).

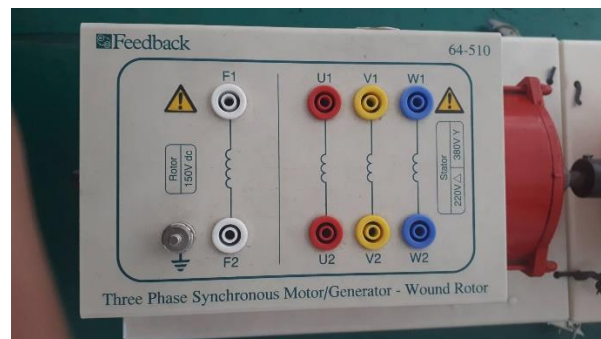


Gambar 4.8. Rectifier
(Sumber: Dokumen pribadi)

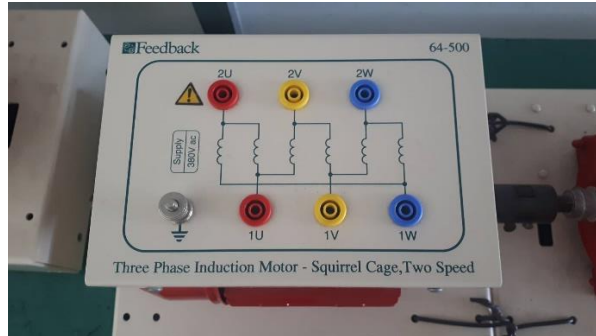
- **Motor Induksi 3 Fasa Feedback**
Motor ini bersifat sebagai *thruster* dalam rangkaian sistem DP skala laboratorium.



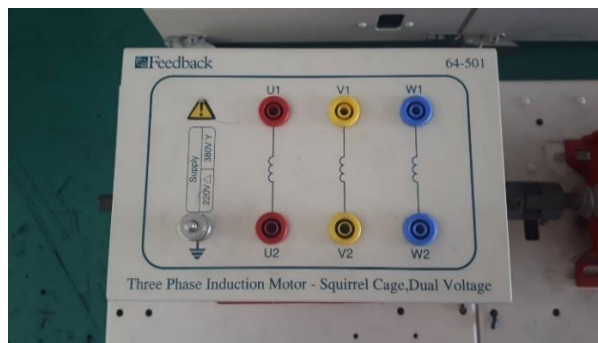
Gambar 4.9. Motor induksi feedback 64-520
(Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 4.10. Motor induksi feedback 64-510
(Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 4.11. Motor induksi feedback 64-500
(Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 4.12. Motor induksi feedback 64-501
(Sumber: Dokumen pribadi)

- **Panel Sinkronisasi**
Befungsi untuk menyamakan parameter yang diperlukan untuk memaralelkan sebuah generator.



Gambar 4.13. Panel Sinkronisasi
(Sumber: Dokumen pribadi)

- **Panel Pembebanan**
Berfungsi untuk menentukan besarnya pembebanan sesuai dengan skenario yang telah ada.



Gambar 4.14. Panel Pembebanan 1
(Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 4.15. Panel pembebanan 2
(Sumber: Dokumen pribadi)

- **Multimeter**
Berfungsi untuk mengukur besarnya tegangan yang ada pada sistem.



Gambar 4.16. Multimeter
(Sumber: Dokumen pribadi)

- Tangmeter
Berfungsi untuk mengukur besarnya arus yang ada pada sistem.



Gambar 4.17. Tangmeter
(Sumber: Dokumen pribadi)

- Tachometer
Berfungsi untuk mengukur nilai putaran yang ada pada alternator dan juga *motor thruster*.



Gambar 4.18. Tachometer
(Sumber: Dokumen pribadi)

4.4. Perencanaan Skenario Konfigurasi Suplai Daya Menuju Beban Listrik Kapal AHTS BNI Castor Skala Laboratorium

Skenario konfigurasi suplai daya ini dilakukan untuk mendapatkan nilai dari aliran daya dan rugi daya terendah pada setiap konfigurasi daya yang terjadi pada saat kondisi *maneuvering*. Berikut merupakan beberapa skenario konfigurasi yang akan dianalisis:

4.4.1. Skenario 1, Konfigurasi *Closed Bus* (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster)

Skenario 1 merupakan konfigurasi *closed bus* dimana dua *generator thruster* digunakan untuk menyuplai dua buah *bow thruster*. Pada kondisi ini daya dari kedua sumber energi listrik disalurkan menuju satu bus utama kemudian disalurkan ke *bow thruster* 1 dan 2.

Analisis ini dilakukan untuk mendapat nilai aliran daya dan rugi daya yang terjadi pada saat pengoperasian *bow thruster* pada variasi pembebanan tertentu. Berikut merupakan variasi pembebanan pada skenario 1:

Tabel 4.1. Variasi pembebanan skenario 1

Variasi Pembebanan Skenario 1		
No.	Bow Thruster 1	Bow Thruster 2
1	60%	75%
2	100%	80%
3	100%	100%
4	110%	110%

4.4.2. Skenario 2, Konfigurasi *Split Plant* (1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster)

Pada skenario kedua, sistem kelistrikan di kondisikan dalam konfigurasi *split plant* antara busbar *bow thruster* dan beban listrik di kapal. Pada skala laboratorium konfigurasi ini dilakukan dengan hanya menghubungkan satu *generator thruster* dengan kedua *bow thruster*. Penyusunan kondisi ini dilakukan untuk mengetahui batas tertinggi dari pembebanan *bow thruster* apabila hanya di suplai oleh satu generator saja.

Analisis ini dilakukan untuk mendapat nilai aliran daya dan rugi daya yang terjadi pada saat pengoperasian *bow thruster* pada variasi pembebanan tertentu. Berikut merupakan variasi pembebanan pada skenario 2:

Tabel 4.2. Variasi pembebanan skenario 2

Variasi Pembebanan Skenario 2		
No.	Bow Thruster 1	Bow Thruster 2
1	40%	40%
2	50%	50%
3	60%	60%

4.4.3. Skenario 3, Konfigurasi *Closed Bus* (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, Beban Kapal)

Pada skenario kelima, sistem kelistrikan dikondisikan dalam konfigurasi *closed bus*. Pada kondisi ini digunakan dua *diesel generator* dan satu *generator thruster* untuk menyuplai daya menuju ke *bow thruster*.

Analisis ini dilakukan untuk mendapat nilai aliran daya dan rugi daya yang terjadi pada saat pengoperasian *bow thruster* pada variasi pembebanan tertentu. Berikut merupakan variasi pembebanan pada skenario 4:

Tabel 4.3. Variasi pembebanan skenario 3

Variasi Pembebanan Skenario 3		
No.	Bow Thruster 1	Bow Thruster 2
1	75%	75%
2	80%	80%
3	85%	85%

4.5. Perhitungan Load Flow

Berikut merupakan contoh penyelesaian permasalahan pada *load flow analysis* pembebanan nol (tanpa beban) pada skenario yang telah ditentukan:

Skenario 1:

(2 Generator Thruster dan 2 Bow Thruster). Variasi 1. Beberapa parameter yang diketahui sudah didapat pada uji coba laboratorium diantaranya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Daya Max Generator} &= 600 \text{ VA} && = 480 \text{ watt} \\ \text{Tegangan} &= 380 \text{ volt} \\ \text{Panjang Kabel} &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

Penyelesaian:

1. Menghitung rata-rata arus untuk setiap jalur antara bus:

$$I_{\text{Avg } 13} = \frac{I_r + I_s + I_t + I_n}{4} = \frac{0.71 + 0.88 + 0.88 + 0.23}{3} = 0.675 \text{ A}$$

$$I_{\text{Avg } 23} = \frac{0.2 + 0.22 + 0.17 + 0.25}{4} = 0.21 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Avg bus } 3} &= \text{from } 1 \left(\frac{I_r + I_s + I_t + I_n}{4} \right) + \text{from } 2 \left(\frac{I_r + I_s + I_t + I_n}{4} \right) \\ &= \left(\frac{0.69 + 0.85 + 0.85 + 0.22}{4} \right) + \left(\frac{0.18 + 0.16 + 0.14 + 0.22}{4} \right) = 0.8275 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Menghitung rata-rata tegangan line dan fasa yang terjadi pada setiap bus:

$$V_{\text{Phase Avg } 13} = \frac{V_{rn} + V_{sn} + V_{tn}}{3} = \frac{206 + 205 + 205}{3} = 205.33 \text{ V}$$

$$V_{\text{Line Avg } 13} = \frac{V_{rs} + V_{st} + V_{tr}}{3} = \frac{364 + 363 + 363}{3} = 363.33 \text{ V}$$

3. Menentukan nilai $\cos \phi$ dan $\sin \phi$ untuk menghitung nilai aliran daya aktif dan reaktif yang terjadi:

$$\begin{aligned} \cos \phi &= 0.8 \\ \cos^{-1} 0.8 &= 36.86^\circ \end{aligned}$$

$$\sin 36.86^\circ = \sin \phi = 0.6$$

4. Menghitung nilai daya aktif dan reaktif yang terjadi pada setiap bus generator dan beban:

$$\begin{aligned} P_{\text{gen13}} &= \sqrt{3} V_{\text{line13}} \times I_{\text{Avg13}} \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} 363.33 \times 0.675 \times 0.8 = 339.8284 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{gen13}} &= \sqrt{3} V_{\text{line13}} \times I_{\text{Avg13}} \times \sin \phi \\ &= \sqrt{3} 363.33 \times 0.675 \times 0.6 = 211.423 \text{ VAR} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{bus 3}} &= \sqrt{3} V_{\text{line3}} \times I_{\text{Avg3}} \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} 360 \times 0.8275 \times 0.8 = 412.7823 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{bus 3}} &= \sqrt{3} V_{\text{line3}} \times I_{\text{Avg3}} \times \sin \phi \\ &= \sqrt{3} 360 \times 0.8275 \times 0.6 = 309.5868 \text{ VAR} \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai tegangan jatuh yang terjadi pada sistem:

Pada tahap ini pertama kali dilakukan pengukuran pada setiap ujung-ujung jalur transmisi untuk mengetahui besarnya tegangan yang dikirim dan diterima pada bus. Perhitungan tegangan jatuh pada studi ini dilakukan dengan rumus:

$$\begin{aligned} \Delta V &= (380 - V_{\text{kirim}}) + (V_{\text{kirim}} - V_{\text{terima}}) \\ \% \Delta V &= \frac{\Delta V}{380} \times 100\% \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= (380 - 363.33) + (363.33 - 360) \\ &= 20 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\% \Delta V = \frac{20}{380} \times 100\% = 5.26\%$$

6. Menghitung losses daya pada setiap jalur yang terjadi pada sistem:
Untuk jalur transmisi sebelum bus 3 dilakukan dengan rumus

$$P_{\text{Loss}} = P_{\text{kirim}} \left(1 - \frac{P_{\text{kirimtot}}}{P_{\text{kirimtot}}} - \frac{P_{\text{kirim}}}{P_{\text{kirimtot}}} \right) \times P_{\text{terima}}$$

Untuk jalur transmisi dari bus 3 ke beban:

$$P_{\text{Loss}} = P_{\text{bus3}} \times \left(\frac{P_{\text{beban}}}{P_{\text{bebantot}}} \right) - P_{\text{busbeban}}$$

Penyelesaian jalur transmisi 1-3:

$$P_{\text{Loss13}} = P_{\text{kirim1}} - \left(1 - \frac{P_{\text{kirimtot}}}{P_{\text{kirimtot}}} - \frac{P_{\text{kirim1}}}{P_{\text{kirimtot}}} \right) \times P_{\text{terima3}}$$

$$P_{\text{Loss13}} = 340 - \left(1 - \frac{445.65}{445.65} - \frac{340}{445.65} \right) \times 413 = 25.1 \text{ watt}$$

$$Q_{\text{Loss13}} = Q_{\text{kirim1}} - \left(1 - \frac{Q_{\text{kirimtot}}}{Q_{\text{kirimtot}}} - \frac{Q_{\text{kirim1}}}{Q_{\text{kirimtot}}} \right) \times Q_{\text{terima3}}$$

$$Q_{\text{Loss13}} = 255 - \left(1 - \frac{334.24}{334.24} - \frac{255}{334.24} \right) \times 310 = 18.8 \text{ VAR}$$

Jalur transmisi 3-4:

$$P_{Loss34} = P_{bus3} \times \left(\frac{P_{bus4}}{P_{beban\ tot}} \right) - P_{bus4}$$

$$P_{Loss34} = 413 \times \left(\frac{120}{368} \right) - 120 = 14.6 \text{ watt}$$

Skenario 2:

(1 Generator Thruster dan 2 Bow Thruster). Variasi 1 (40%-40%). Beberapa parameter yang diketahui sudah didapat pada uji coba laboratorium diantaranya adalah:

Daya Max Generator	= 600 VA	= 480 watt
Tegangan	= 380 volt	
Panjang Kabel	= 5 m	

Penyelesaian:

1. Menghitung rata-rata arus untuk setiap jalur antara bus:

$$I_{Avg\ 13} = \frac{I_r + I_s + I_t + I_n}{4} = \frac{0.82 + 0.82 + 0.74 + 0.14}{4} = 0.63A$$

Hal yang sama dilakukan pada setiap jalur transmisi pada skenario 2 dengan 3 variasi yang berbeda.

2. Menghitung rata-rata tegangan line dan fasa yang terjadi pada setiap bus:

$$V_{Phase\ Avg\ 13} = \frac{V_{rn} + V_{sn} + V_{tn}}{3} = \frac{206 + 205 + 205}{3} = 203 \text{ V}$$

$$V_{Line\ Avg\ 13} = \frac{V_{rs} + V_{st} + V_{tr}}{3} = \frac{358 + 353 + 357}{3} = 355.33 \text{ V}$$

3. Menentukan nilai $\cos \phi$ dan $\sin \phi$ untuk menghitung nilai aliran daya aktif dan reaktif yang terjadi:

$$\begin{aligned} \cos \phi &= 0.8 \\ \cos^{-1} 0.8 &= 36.86^\circ \\ \sin 36.86^\circ &= \sin \phi = 0.6 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai daya aktif dan reaktif yang terjadi pada setiap bus generator dan beban:

$$\begin{aligned} P_{gen13} &= \sqrt{3} V_{line13} \times I_{Avg13} \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} 355.33 \times 0.63 \times 0.8 = 316.40 \text{ watt} \\ Q_{gen13} &= \sqrt{3} V_{line13} \times I_{Avg13} \times \sin \phi \\ &= \sqrt{3} 355.33 \times 0.63 \times 0.6 = 237.64 \text{ VAR} \\ P_{bus\ 3} &= \sqrt{3} V_{line3} \times I_{Avg3} \times \cos \phi \\ &= \sqrt{3} 356 \times 0.6025 \times 0.8 = 310 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{bus 3}} &= \sqrt{3} V_{\text{line3}} \times I_{\text{Avg3}} \times \sin \varphi \\
 &= \sqrt{3} 356 \times 0.6025 \times 0.6 = 233 \text{ VAR}
 \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai tegangan jatuh yang terjadi pada sistem:
 Pada tahap ini pertama kali dilakukan pengukuran pada setiap ujung-ujung jalur transmisi untuk mengetahui besarnya tegangan yang dikirim dan diterima pada bus. Perhitungan tegangan jatuh pada studi ini dilakukan dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= (380 - V_{\text{ kirim}}) + (V_{\text{ kirim}} - V_{\text{ terima}}) \\
 \% \Delta V &= \frac{\Delta V}{380} \times 100\%
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{13} &= (380 - 356.33) + (356.33 - 355.33) \\
 &= 24 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\% \Delta V = \frac{24}{380} \times 100\% = 6.31\%$$

6. Menghitung losses daya pada setiap jalur yang terjadi pada sistem:
 Untuk jalur transmisi sebelum bus 3 dilakukan dengan rumus

$$P_{\text{Loss}} = P_{\text{ kirim}} - P_{\text{ terima}}$$

Untuk jalur transmisi dari bus 3 ke beban:

$$P_{\text{Loss}} = P_{\text{ bus3}} \times \left(\frac{P_{\text{ beban}}}{P_{\text{ bebantot}}} \right) - P_{\text{ busbeban}}$$

Penyelesaian jalur transmisi 1-3:

$$P_{\text{ Loss13}} = P_{\text{ kirim1}} - P_{\text{ terima3}}$$

$$P_{\text{ Loss13}} = 311.1 - 297 = 13.9 \text{ watt}$$

$$Q_{\text{ Loss13}} = Q_{\text{ kirim1}} - Q_{\text{ terima3}}$$

$$Q_{\text{ Loss13}} = 233.2 - 223.9 = 10.4 \text{ VAR}$$

Jalur transmisi 3-4:

$$P_{\text{ Loss34}} = P_{\text{ bus3}} \times \left(\frac{P_{\text{ bus4}}}{P_{\text{ bebantot}}} \right) - P_{\text{ bus4}}$$

$$P_{\text{ Loss34}} = 310 \times \left(\frac{100}{276.2} \right) - 100 = 6.3 \text{ watt}$$

4.6. Analisa Hasil Uji Laboratorium

Berikut merupakan data hasil uji laboratorium yang telah di ambil sesuai skenario yang telah ditentukan:

4.6.1. Skenario 1 (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster)

Pada Skenario pertama, dua generator thruster dihubungkan dengan dua bow thruster. Dilakukan percobaan bow thruster dengan empat variasi pembebanan

diantaranya, 60%-75%, 80%-100%, 100%-100%, dan 110%-110%. Berikut adalah hasil dari uji coba dan analisis pada skenario 1:

A. Variasi Pembebanan 60%-75%

Tabel 4.4. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 1 variasi 60%-75%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	340	255	-	-	25.1	7.38	92.62
2	2	3	106	79	-	-	7.8		
BUS 3			P (W)		413		Q (Var)	310	-
3	3	4	-	-	120	63	14.6	10.85	89.15
4	3	5	-	-	248	353	30.2		
total			445.65	334.24	368.00	416.30			

Pada tabel 4.4, didapat nilai rugi daya pada sisi pembangkitan generator menuju bus distribusi (Branch 1-3 dan 2-3) sebesar 7.38% dengan besar daya total yang dibangkitkan pada sisi pembangkitan adalah 445.65 watt (P) dan 334.24 VAr (Q). Sedangkan pada jalur transmisi menuju beban (Branch 3-4 dan 3-5) daya yang diterima sebesar 368 watt (P) dan 416 VAr (Q) dengan nilai rugi daya sebesar 10.85%. Nilai efisiensi daya pada skenario 1 variasi pembebanan 60%-75% masih dalam batas standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.5. Nilai susut tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 60%-75%

Bus	Voltage (V)
1	363.3333
2	363.6667
3	360
4	361
5	359.6667

Tabel 4.6. Nilai tegangan pada jalur transmisi skenario 1 variasi 60%-75%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	363.3333	20	5.26
2	2	3	363.6667	19	5
3	3	4	361	19	5
4	3	5	359.6667	20.33	5.35

Pada tabel 4.5, didapat nilai tegangan pada setiap bus dalam sistem. Pada bus 3 (bus distribusi) besar tegangan sebesar 360V dengan didapatnya nilai tegangan pada bus distribusi maka didapat besar tegangan jatuh pada tiap jalur transmisi dengan nilai 5% hingga 5.35% pada variasi pembebanan 60%-75%. Pada jalur transmisi 1-3 (generator 1, bus distribusi) dan 3-5 (bus distribusi, motor 2) nilai drop tegangan

mencapai 5.26% dan 5.35%, dapat disimpulkan bahwa nilai ini belum memenuhi standard IEC yaitu $\leq 5\%$.

B. Variasi Pembebanan 80%-100%

Tabel 4.7. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 1 variasi 80%-100%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	344	258	-	-	3.2	0.92	99.08
2	2	3	197	148	-	-	1.8		
BUS 3			P (W)		536		Q (Var)	402	-
3	3	4	-	-	160	83	15.1	8.60	91.40
4	3	5	-	-	330	308	31.1		
total			541.08	405.81	490.00	390.70			

Pada variasi pembebanan 80%-100% nilai rugi daya yang terjadi pada sisi pembangkitan sebesar 0.92% dengan total daya yang dibangkitkan senilai 541 watt (P) dan 405 VAr (Q) sedangkan pada sisi beban besarnya adalah 490 watt (P) dan 390 VAr (Q) dan losses daya sebesar 8.6%. pada tabel 4.7, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan (generator, bus distribusi) sebesar 99.08% sedangkan pada sisi beban (bus distribusi, motor) sebesar 91.40% dimana nilai ini masih memenuhi standard dari IEEE yaitu $\geq 50\%$ efisiensi.

Tabel 4.8. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 80%-100%

Bus	Voltage (V)
1	346.3333
2	346.3333
3	346.3333
4	345.3333
5	345.3333

Tabel 4.9. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 1 variasi 80%-100%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	346.333	33.67	8.86
2	2	3	346.333	34.67	9.12
3	3	4	345.333	34.67	9.12
4	3	5	345.333	34.67	9.12

Pada tabel 4.8, didapat nilai tegangan pada bus distribusi (bus 3) sebesar 346.33V, dengan itu nilai tegangan jatuh pada setiap jalur transmisi pada variasi

pembebanan 80%-100% dapat dilihat pada tabel 4.9 bahwa setiap nilainya belum memenuhi standard dari IEC yaitu $\leq 5\%$.

C. Variasi Pembebanan 100%-100%

Tabel 4.10. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 1 variasi 100%-100%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	366	275	-	-	7.3	1.99	98.01
2	2	3	180	135	-	-	3.6		
BUS 3			P (W)		535		Q (Var)	402	-
3	3	4	-	-	200	91	2.1	1.02	98.98
4	3	5	-	-	330	304	3.4		
total			546.33	409.75	530.00	395.00			

Pada tabel 4.10, nilai loses daya yang terjadi pada sisi pembangkitan (generator, bus distribusi) sebesar 1.99% sedangkan pada sisi beban (bus distribusi, motor) sebesar 1.02%. Nilai efisiensi daya pada variasi pembebanan 100%-100% masih dalam batas yang diperbolehkan oleh IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.11. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 100%-100%

Bus	Voltage (V)
1	342
2	342.3333
3	344
4	341.6667
5	342.3333

Tabel 4.12. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 1 variasi 100%-100%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	342	36	9.47
2	2	3	342.333	38.33	10.088
3	3	4	341.667	38.33	10.088
4	3	5	342.333	37.67	9.91

Pada tabel 4.12, dapat dilihat bahwa nilai tegangan jatuh yang terjadi pada setiap jalur transmisi pada skenario 1 variasi pembebanan 100%-100% masih belum memenuhi standard dari IEC yaitu $\leq 5\%$.

D. Variasi Pembebanan 110%-110%

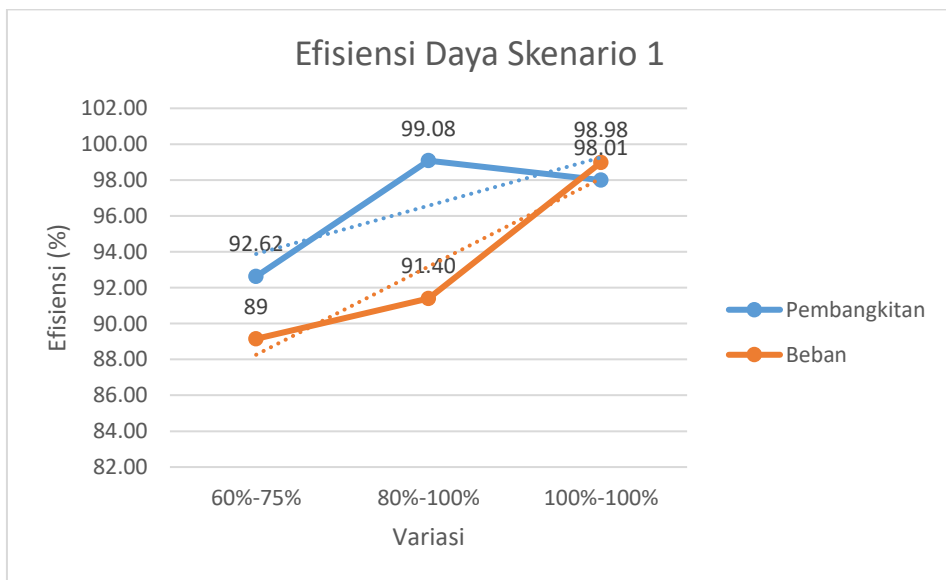
Pada skenario 1 (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) variasi pembebanan 110%-110% tidak dapat dilakukan karena motor yang berperan sebagai

thruster pada skala laboratorium tidak mampu mencapai pembebanan 110% dari beban maksimal.

Dari hasil analisis setiap variasi pembebanan dalam skenario 1 dapat disimpulkan bahwa:

Tabel 4.13. Nilai losses daya dan efisiensi daya skenario 1 dalam persentase

Branch	Variasi	Daya		Loss (%)	Efisiensi daya (%)
		P (W)	Q (VAr)		
Pembangkit	60%-75%	445.65	334.24	7.38	92.62
	80%-100%	541.08	405.81	0.92	99.08
	100%-100%	546.33	409.75	1.99	98.01
	110%-110%	-	-	-	-
Beban	60%-75%	368.00	416.30	10.85	89
	80%-100%	490.00	390.70	8.60	91.40
	100%-100%	530.00	395.00	1.02	98.98
	110%-110%	-	-	-	-

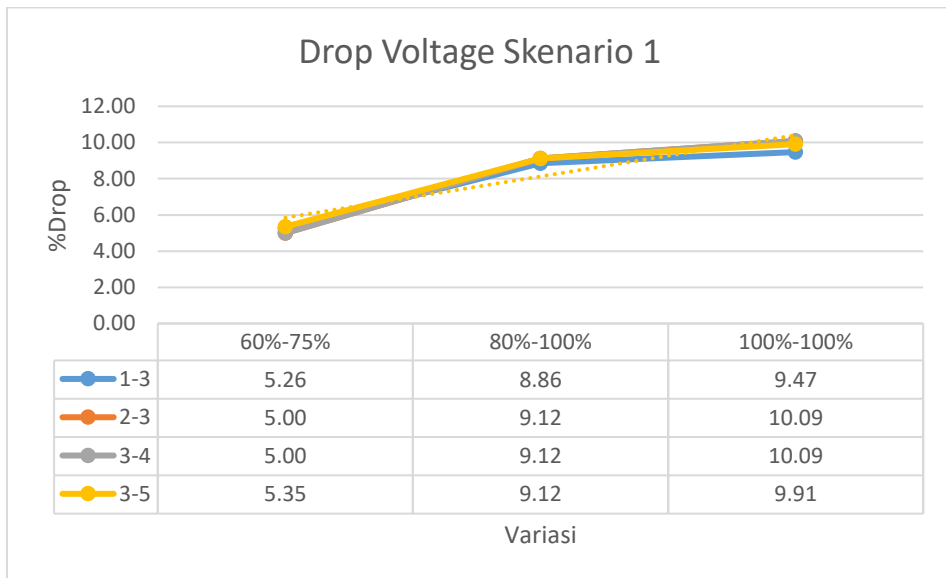


Grafik 4.1. Rugi Daya pada Skenario 1

Pada grafik 4.1, terlihat bahwa nilai efisiensi daya naik searah dengan pembebanan yang dilakukan hal ini disebabkan karena selisih besarnya daya yang dibangkitkan oleh generator dan daya yang diterima oleh beban semakin kecil seiring besarnya pembebanan yang dilakukan.

Tabel 4.14. Nilai drop tegangan tiap jalur transmisi pada skenario 1

Branch	Variasi	Drop Voltage	
		V	%
1-3	60%-75%	20.00	5.26
	80%-100%	33.67	8.86
	100%-100%	36	9.47
	110%-110%	-	-
2-3	60%-75%	19.00	5.00
	80%-100%	34.67	9.12
	100%-100%	38.33	10.09
	110%-110%	-	-
3-4	60%-75%	19.00	5.00
	80%-100%	34.67	9.12
	100%-100%	38.33	10.09
	110%-110%	-	-
3-5	60%-75%	20.33	5.35
	80%-100%	34.67	9.12
	100%-100%	37.67	9.91
	110%-110%	-	-

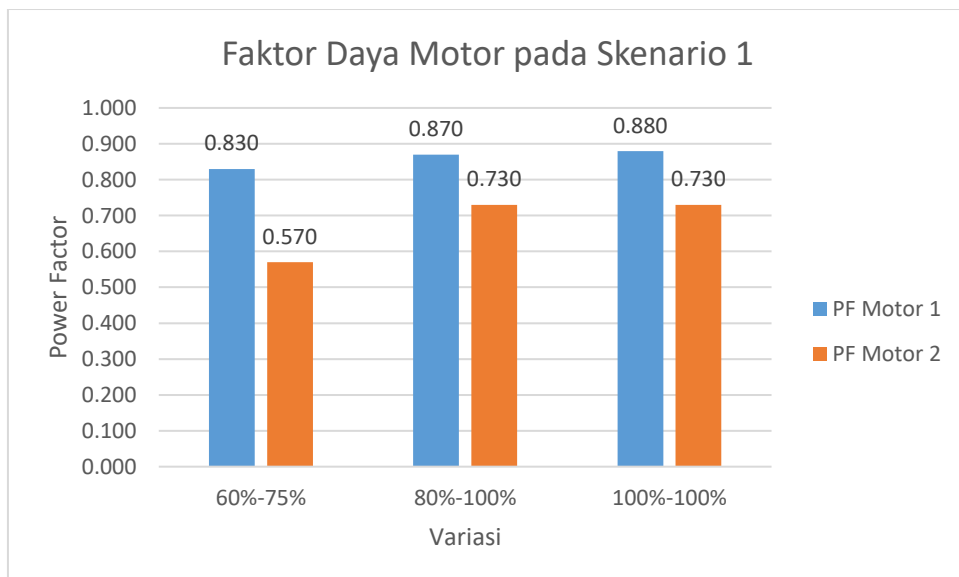


Grafik 4.2. Drop Voltage pada Skenario 1

Pada grafik 4.2 nilai tegangan jatuh pada setiap jalur dalam sistem pada masing-masing variasi pembebanan skenario 1 mengalami kenaikan searah dengan semakin besarnya pembebanan dilakukan.

Tabel 4.15. Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 skenario 1

Branch	Variasi	To Bow Thruster		PF	π
		P (W)	Q (VAr)		
3-4	60%-75%	120	63	0.830	33.901
	80%-100%	160	83	0.870	29.541
	100%-100%	200	91	0.880	28.358
	110%-110%	-	-	-	-
3-5	60%-75%	248	353	0.570	55.250
	80%-100%	330	308	0.740	42.269
	100%-100%	330	304	0.730	43.114
	110%-110%	-	-	-	-



Grafik 4.3. Nilai faktor daya motor skenario 1

Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 pada skenario 1 mengalami kenaikan searah dengan pembebanan yang dilakukan. Hal ini disebabkan oleh kenaikan daya aktif sehingga nilai faktor daya akan berubah. Pada setiap variasi nilai faktor daya motor 2 belum memenuhi standard IEC dimana nilai faktor daya minimal dari motor adalah 0.75.

4.6.2. Skenario 2 (1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster)

Pada Skenario kedua, satu generator thruster dihubungkan dengan dua bow thruster. Dilakukan percobaan dengan tiga variasi pembebanan diantaranya 40%-40%, 50%-50%, dan 60%-60%. Berikut adalah hasil analisis dari percobaan skenario 2:

A. Variasi Pembebanan 40%-40%

Tabel 4.16. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 40%-40%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	317	238	-	-	63.6	20.04	79.96
2	2	3	-	-	-	-	-		
BUS 3			P (W)		254		Q (Var)	190	-
3	3	4	-	-	80	56	15.8	16.49	83.51
4	3	5	-	-	132	351	26.1		
total			317.46	238.10	212.00	407.20			

Pada tabel 4.16, daya pada sisi pembangkitan (generator, bus distribusi) nilai rugi daya sebesar 20% sedangkan pada sisi beban (bus distribusi, motor) nilai rugi daya yang terjadi sebesar 16.49%. Namun nilai efisiensi daya masih dalam batas toleransi IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.17. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 40%-40%

Bus	Voltage (V)
1	363.6667
2	-
3	361
4	358.6667
5	359

Tabel 4.18. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 2 variasi 40%-40%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	363.6667	19	5
2	2	3	-	-	-
3	3	4	358.6667	21.33333	5.614035
4	3	5	359	21	5.526316

Pada tabel 4.18, terlihat bahwa nilai drop tegangan yang terjadi pada jalur transmisi 3-4 dan 3-5 belum memenuhi standard IEC yaitu $\leq 5\%$.

B. Variasi Pembebanan 50%-50%

Tabel 4.19. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 50%-50%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	316	237	-	-	6.3	1.98	98.02
2	2	3	-	-	-	-	-		
BUS 3			P (W)		310		Q (Var)	233	-
3	3	4	-	-	100	58	17.0	14.55	85.45
4	3	5	-	-	165	324	28.1		
total			316.40	237.30	265.00	381.70			

Pada tabel 4.19, nilai rugi daya pada sisi pembangkitan adalah 1.98% sedangkan pada sisi beban 14.55%. Nilai efisiensi daya masih dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.20. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 50%-50%

Bus	Voltage (V)
1	344.6667
2	-
3	347
4	346.6667
5	347

Tabel 4.21. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 2 variasi 50%-50%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	344.6667	33	8.684211
2	2	3	-	-	-
3	3	4	346.6667	33.33333	8.77193
4	3	5	347	33	8.684211

Pada variasi pembebanan 50%-50% kondisi tegangan pada saat pembangkitan dan pembebanan mengalami drop sebesar 8.68% hingga 8.77% maka dari itu dapat disimpulkan bahwa drop tegangan yang terjadi masih belum memenuhi standard yang diperbolehkan oleh IEC $\leq 5\%$. Hal ini disebabkan karena sistem hanya di suplai oleh satu generator sehingga kerja dari generator tersebut menjadi berat dan tidak mampu menyuplai tegangan dengan optimal.

C. Variasi Pembebanan 60%-60%

Tabel 4.22. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 2 variasi 60%-60%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	337	253	-	-	15.6	4.63	95.37
2	2	3	-	-	-	-	-		
BUS 3			P (W)		321		Q (Var)	241	-
3	3	4	-	-	120	63	1.3	1.05	98.95
4	3	5	-	-	198	296	2.1		
total			336.97	252.73	318.00	358.50			

Pada tabel 4.22 dapat dilihat bahwa nilai rugi daya pada sisi pembangkitan sebesar 4.63% dan pada sisi beban sebesar 1.05% sehingga efisiensi yang dimiliki adalah 95.37% hingga 98.95%. Pada sisi pembangkitan nilai rugi daya lebih besar akibat arus netral yang terjadi. Nilai efisiensi masih dalam batas toleransi IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.23. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 1 variasi 60%-60%

Bus	Voltage (V)
1	332
2	-
3	321
4	321
5	322

Tabel 4.24. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 2 variasi 60%-60%

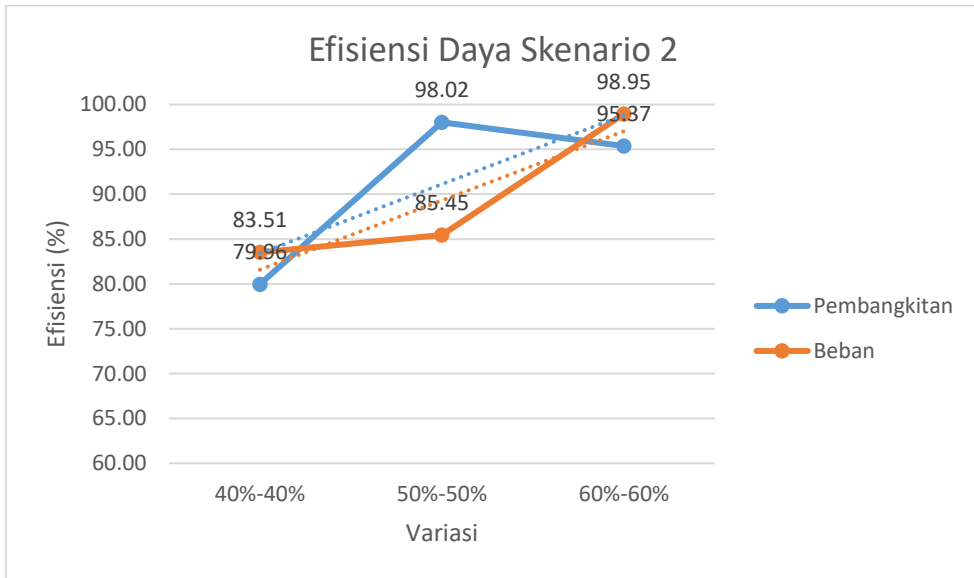
Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	332	59	15.52632
2	2	3	-	-	-
3	3	4	321	59	15.52632
4	3	5	322	58	15.26316

Kondisi tegangan pada skenario 2 ini dapat disimpulkan bahwa ketika pembebanan dilakukan tegangan jatuh terjadi dengan nilai 15.2% hingga 15.52% dengan kata lain nilai ini masih belum memenuhi standard IEC yaitu $\leq 5\%$ maka dari itu perlu dilakukan perbaikan.

Dari hasil analisis setiap variasi pembebanan pada skenario 2, dapat disimpulkan bahwa:

Tabel 4.25. Nilai losses daya dan efisiensi daya skenario 2 dalam persentase

Branch	Variasi	Daya		Loss (%)	Efisiensi daya (%)
		P (W)	Q (VAR)		
Pembangkit	40%-40%	317.46	238.10	20.04	79.96
	50%-50%	316.40	237.30	1.98	98.02
	60%-60%	336.97	252.73	4.63	95.37
	-	-	-	-	-
Beban	40%-40%	212.00	407.20	16.49	84
	50%-50%	265.00	381.70	14.55	85.45
	60%-60%	318.00	358.50	1.05	98.95
	-	-	-	-	-

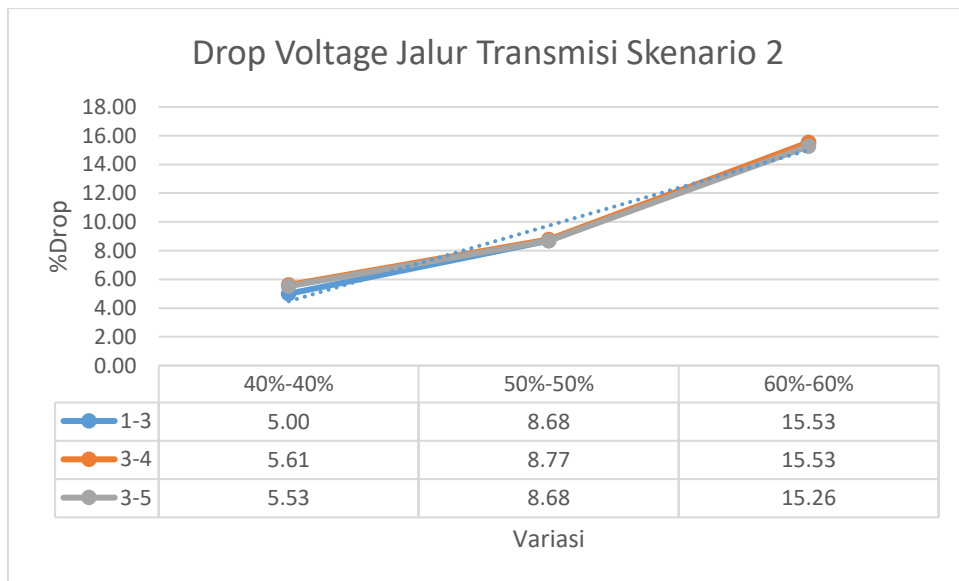


Grafik 4.4. Efisiensi daya skenario 2

Pada grafik 4.7.2.1 dapat dilihat bahwa nilai drop tegangan yang terjadi pada sistem mengalami kenaikan searah dengan besarnya pembebanan. Maka dapat disimpulkan nilai drop tegangan yang terjadi akan naik apabila beban semakin besar.

Tabel 4.26. Nilai drop tegangan tiap jalur transmisi pada skenario 2

Branch	Variasi	Drop Voltage	
		V	%
1-3	40%-40%	19	5.00
	50%-50%	33.00	8.68
	60%-60%	59	15.53
	-	-	-
3-4	40%-40%	21.333333	5.61
	50%-50%	33.33	8.77
	60%-60%	59.00	15.53
	-	-	-
3-5	40%-40%	21	5.53
	50%-50%	33	8.68
	60%-60%	58	15.26
	-	-	-

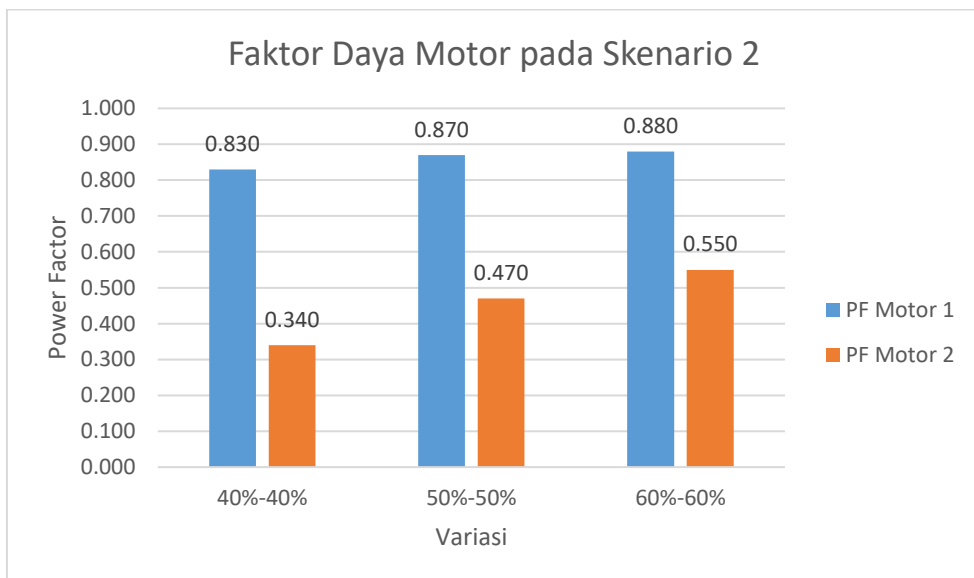


Grafik 4.5. Drop Voltage pada Skenario 2

Pada grafik 4.5 nilai rugi daya yang terjadi mengalami kenaikan searah dengan besarnya pembebanan yang dilakukan. Dapat disimpulkan bahwa pada nilai hambatan dan panjang jalur transmisi yang tetap nilai rugi daya akan naik apabila beban diperbesar maka arus yang terjadi akan semakin besar pula.

Tabel 4.27. Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 skenario 2

Branch	Variasi	To Bow Thruster		PF	π
		P (W)	Q (VAr)		
3-4	40%-40%	80	56	0.830	33.901
	50%-50%	100	58	0.870	29.541
	60%-60%	120	63	0.880	28.358
	-	-	-	-	-
3-5	40%-40%	132	351	0.340	70.123
	50%-50%	165	324	0.470	61.966
	60%-60%	198	296	0.550	56.633
	-	-	-	-	-



Grafik 4.6. Nilai faktor daya motor skenario 2

Pada grafik 4.6, nilai faktor daya mengalami kenaikan seiring dengan besar pembebanan yang dilakukan. Pada motor 2 setiap variasi pembebanan nilai faktor daya masih belum memenuhi standard IEC yaitu minimal 0.75.

4.6.3. Skenario 3 (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, Beban kapal)

Pada skenario 3, generator thruster dihubungkan dengan diesel generator sebagai penyuplai daya menuju beban yang berupa 2 motor thruster dan beban lampu sebesar 480 watt yang diasumsikan sebagai beban kapal. Pada skenario ini terdapat tiga variasi pembebanan yaitu variasi 75%-75%, 80%-80%, dan 85%-85%. Berikut merupakan hasil analisis pada skenario 3:

A. Variasi Pembebanan 75%-75%

Tabel 4.28. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 3 variasi 75%-75%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Load		Losses	%losses	Eff
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	P	
1	1	3	920	690	-	-	17.4	1.89	98.11
2	2	3	684	513	-	-	12.9		
BUS 3			P (W)		1574		Q (Var)	1180	-
3	3	4	-	-	150	84	118.9	44.21	55.79
4	3	5	-	-	248	425	196.5		
5	3	6	-	-	480	192	380.4		
total			1604.1	1203.08	878.00	509.00			

Pada tabel 4.28, nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan hanya sebesar 1.89% dengan total nilai daya pembangkitan sebesar 1604.1 watt (P) dan 1203.08 VAr (Q) sedangkan pada sisi beban total daya yang diterima sebesar 878 watt (P) dan 509 VAr (Q) dengan nilai efisiensi sebesar 55.79%. Hal ini disebabkan karena selisih antara kapasitas daya pembangkitan dan pembebanan sangat besar, sehingga timbul arus netral pada jalur transmisi sisi pembangkitan, pada variasi pembebanan ini nilai efisiensi daya masih memenuhi standard yang diperbolehkan oleh IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.29. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 3 variasi 75%-75%

Bus	Voltage (V)
1	374.6667
2	375.3333
3	373
4	371.6667
5	370.6667
6	372

Tabel 4.30. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 3 variasi 75%-75%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage (V)	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	374.67	7.00	1.84
2	2	3	375.33	7.00	1.84
3	3	4	371.67	8.33	2.19
4	3	5	370.67	9.33	2.46
5	3	6	372	8.00	2.11

Nilai tegangan jatuh yang terjadi pada variasi 75%-75% adalah 1.84% hingga 2.46% dapat disimpulkan bahwa nilai drop voltage masih dalam batas standard IEC yaitu $\leq 5\%$.

B. Variasi Pembebanan 80%-80%

Tabel 4.31. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 3 variasi 80%-80%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Load		Losses	%losses	Eff
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	P	
1	1	3	1017	763	-	-	43.5	4.28	95.72
2	2	3	653	490	-	-	27.9		
BUS 3			P (W)		1599		Q (Var)	1199	-
3	3	4	-	-	160	82	123.0	43.46	56.54
4	3	5	-	-	264	462	202.9		
5	3	6	-	-	480	193	369.0		
total			1670.3	1252.76	904.00	544.00			

Pada tabel 4.31, nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan hanya sebesar 4.28% dengan total nilai daya pembangkitan sebesar 1670.3 watt (P) dan 1252.76 VAr (Q) sedangkan pada sisi beban total daya yang diterima sebesar 904 watt (P) dan 544 VAr (Q) dengan nilai efisiensi sebesar 56.54%. Hal ini disebabkan karena selisih antara kapasitas daya pembangkitan dan pembebanan sangat besar, sehingga timbul arus netral pada jalur transmisi sisi pembangkitan, pada variasi pembebanan ini nilai efisiensi daya masih memenuhi standard yang diperbolehkan oleh IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.32. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 3 variasi 80%-80%

Bus	Voltage (V)	Current (A)
1	371.6667	1.9750
2	372.6667	1.2650
3	371.3333	3.1075
4	370.6667	0.28
5	371.3333	0.4975
6	372.3333	0.4975

Tabel 4.33. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 3 variasi 80%-80%

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage (V)	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	371.67	8.67	2.28
2	2	3	372.67	8.67	2.28
3	3	4	370.67	9.33	2.46
4	3	5	371.33	8.67	2.28
5	3	6	372.3333	7.67	2.02

Nilai tegangan jatuh yang terjadi pada variasi pembebanan 80%-80% adalah 2.28% hingga 2.46% dapat disimpulkan bahwa nilai tersebut masih memenuhi standard IEC yaitu $\leq 5\%$.

C. Variasi Pembebanan 85%-85%

Tabel 4.34. Nilai daya, rugi daya, dan efisiensi daya skenario 3 variasi 85%-85%

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Load		Losses	%losses	Eff
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	P	
1	1	3	1161	871	-	-	40.3	3.47	96.53
2	2	3	682	512	-	-	23.7		
BUS 3			P (W)		1779		Q (Var)	1334	-
3	3	4	-	-	170	90	155.2	44.21	55.79
4	3	5	-	-	280	411	255.7		
5	3	6	-	-	480	192	438.3		
total			1843.3	1382.46	930.00	501.00			

Pada tabel 4.34, nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan hanya sebesar 3.47% dengan total nilai daya pembangkitan sebesar 1843.3 watt (P) dan 1382.46 VAr (Q) sedangkan pada sisi beban total daya yang diterima sebesar 930 watt (P) dan 501 VAr (Q) dengan nilai efisiensi sebesar 55.79%. Hal ini disebabkan karena selisih antara kapasitas daya pembangkitan dan pembebanan sangat besar, sehingga timbul arus netral pada jalur transmisi sisi pembangkitan, pada variasi pembebanan ini nilai efisiensi daya masih memenuhi standard yang diperbolehkan oleh IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tabel 4.35. Nilai tegangan pada tiap bus skenario 3 variasi 85%-85%

Bus	Voltage (V)
1	378.3333
2	378.6667
3	377.6667
4	377.6667
5	377
6	371.6667

Tabel 4.36. Nilai susut tegangan pada jalur transmisi skenario 3 variasi 85%-85%

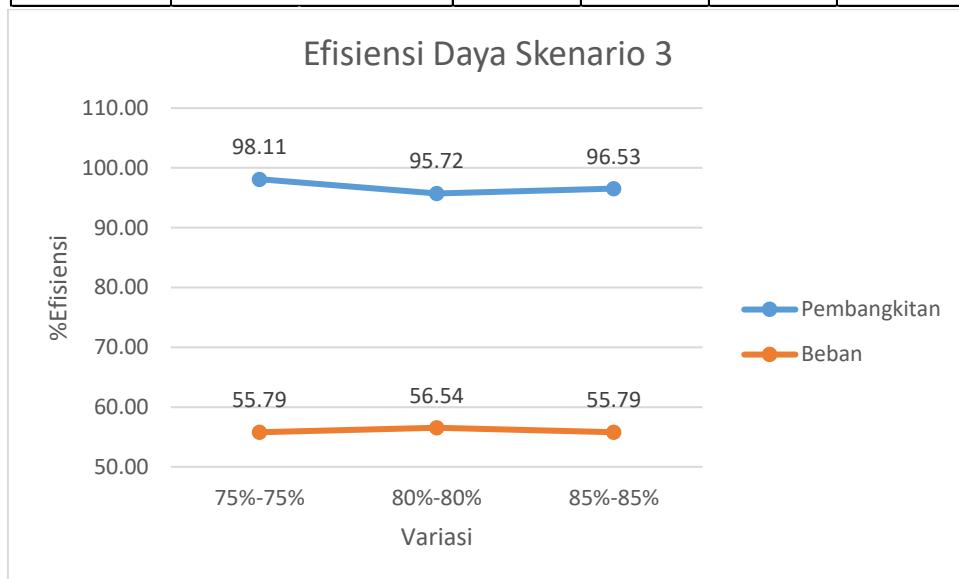
Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage (V)	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	378.33	2.33	0.61
2	2	3	378.67	2.33	0.61
3	3	4	377.67	2.33	0.61
4	3	5	377.00	3.00	0.79
5	3	6	371.6667	8.33	2.19

Nilai tegangan jatuh yang terjadi pada variasi pembebanan 85%-85% adalah 0.61% hingga 2.19% dapat disimpulkan bahwa nilai tersebut masih memenuhi standard IEC yaitu $\leq 5\%$.

Dari hasil analisis setiap variasi pembebanan pada skenario 3, dapat disimpulkan bahwa:

Tabel 4.37. Nilai efisiensi daya dan losses daya skenario 3 dalam persentase

Branch	Variasi	Daya		Loss (%)	Efisiensi daya (%)
		P (W)	Q (VAr)		
Pembangkit	75%-75%	1604.10	1203.08	1.89	98.11
	80%-80%	1670.34	1252.76	4.28	95.72
	85%-85%	1843.28	1382.46	3.47	96.53
	-	-	-	-	-
Beban	75%-75%	878.00	509.00	44.21	55.79
	80%-80%	904.00	544.00	43.46	56.54
	85%-85%	930.00	501.00	44.21	55.79
	-	-	-	-	-

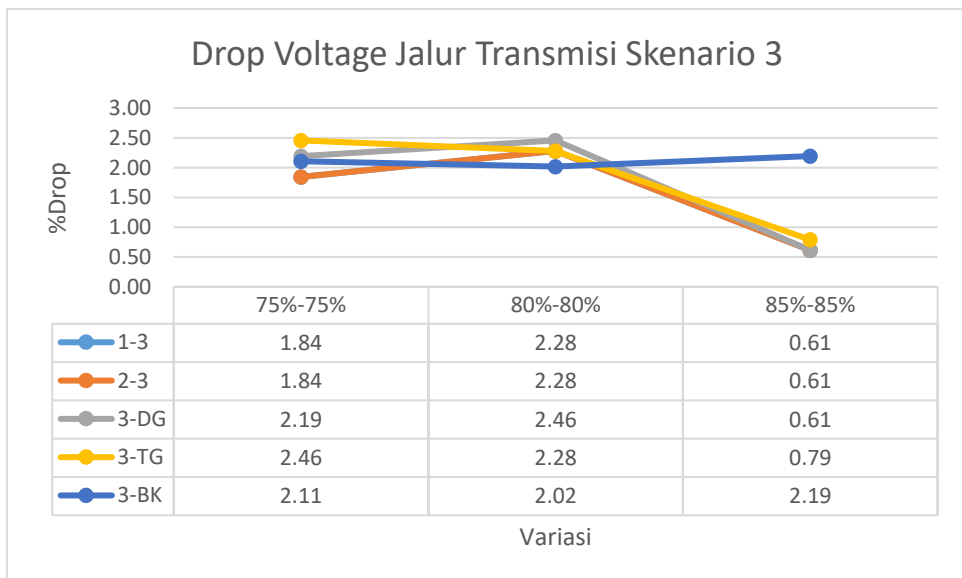


Grafik 4.7. Efisiensi daya skenario 3

Pada grafik 4.7, perbedaan antara nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan lebih besar dibandingkan dengan pembebanan. Hal ini diakibatkan oleh besarnya kapasitas daya pembangkitan yang disuplai oleh generator dan pembebanan yang kecil mengakibatkan timbulnya arus netral yang besar pada sisi pembangkitan.

Tabel 4.38. Nilai drop tegangan tiap jalur transmisi pada skenario 3

Branch	Variasi	Drop Voltage	
		V	%
1-3	75%-75%	7.00	1.84
	80%-80%	8.67	2.28
	85%-85%	2.33	0.61
	-	-	-
2-3	75%-75%	7.00	1.84
	80%-80%	8.67	2.28
	85%-85%	2.33	0.61
	-	-	-
3-DG	75%-75%	8.33	2.19
	80%-80%	9.33	2.46
	85%-85%	2.33	0.61
	-	-	-
3-TG	75%-75%	9.33	2.46
	80%-80%	8.67	2.28
	85%-85%	3.00	0.79
	-	-	-
3-BK	75%-75%	8.00	2.11
	80%-80%	7.67	2.02
	85%-85%	8.33	2.19
	-	-	-

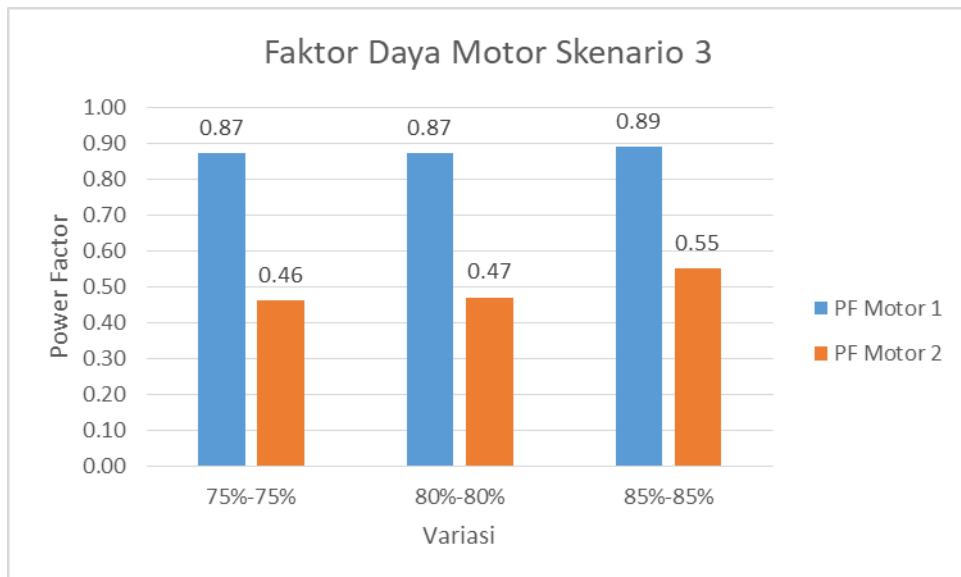


Grafik 4.8. Drop Voltage pada skenario 3

Nilai drop tegangan yang terjadi pada skenario 3 mengalami penurunan pada variasi pembebanan 85%-85% akibat dari naiknya nilai tegangan akibat kenaikan arus eksitasi pada generator diesel.

Tabel 4.39. Nilai faktor daya pada motor 1 dan motor 2 skenario 3

Branch	Variasi	To Bow Thruster		PF	π
		P (W)	Q (VAr)		
3-4	75%-75%	150	84	0.87	29.54
	80%-80%	160	82	0.87	29.54
	85%-85%	170	90	0.89	27.13
	-	-	-	-	-
3-5	75%-75%	248	425	0.46	62.61
	80%-80%	264	462	0.47	61.97
	85%-85%	280	411	0.55	56.63
	-	-	-	-	-



Grafik 4.9. Nilai faktor daya motor skenario 3

Nilai Faktor daya pada skenario 3 dapat dilihat pada grafik 4.7.3.3, dimana nilai faktor daya pada motor 2 belum mencapai standard IEC yaitu 0.75. sehingga perlu dilakukan perbaikan.

4.7. Validasi Data Hasil Uji Laboratorium

Pada tahap ini dilakukan validasi dengan menghitung parameter-parameter yang dimiliki oleh sistem dan membandingkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan kenyataan yang terjadi pada saat uji laboratorium. Diambil beberapa contoh variasi pembebanan pada setiap skenario yang ada. Ada pula parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menghitung error yang terjadi pada saat uji laboratorium diantaranya adalah:

Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan validasi pada hasil uji laboratorium skenario 1 (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) variasi pembebanan 60%-75% diantaranya adalah:

1. Menentukan nilai $\tan\pi$

Tahap ini dilakukan sebagai parameter utama dalam menghitung impedansi total yang dimiliki oleh sistem.

$$\begin{aligned}\cos \pi &= 0.8 \\ \cos 0.8 &= 36.86^\circ \\ \tan 36.86^\circ &= \tan \pi = 0.75\end{aligned}$$

2. Menghitung nilai impedansi total sistem (Z)

Perhitungan nilai impedansi total sistem (Z) dilakukan untuk mengetahui prediksi nilai susut tegangan yang terjadi pada saat pembebanan dilakukan. Perhitungan impedansi total dilakukan dengan fungsi:

$$\begin{aligned}X_g &= \frac{X_d}{100} + \frac{V^2}{MVA \times 10^6} \\ R_g &= \frac{X_g}{\tan\pi}\end{aligned}$$

Dimana:

- X_g = reaktansi generator (Ω)
- X_d = reaktansi hasil pengukuran (Ω)
- R_g = hambatan generator (Ω)
- V = tegangan (V)
- MVA = daya semu dalam mega (VA)

Fungsi diatas berlaku tidak hanya untuk generator melainkan dapat digunakan untuk menghitung nilai reaktansi (X) motor.

Penyelesaian:

$$X_g = \frac{8.62}{100} \times \frac{380^2}{0.0006 \times 10^6} = 40.111 \Omega$$

$$R_g = \frac{40.111}{0.75} = 30.0833 \Omega$$

Didapat bilangan kompleks untuk menghitung impedansi dari komponen yaitu:

$$\begin{aligned}Z &= R + jX \\ Z &= 30.0833 + j40.111\end{aligned}$$

Didapatkan hasil untuk setiap komponen yaitu:

Tabel 4.40. Nilai hambatan dan reaktansi setiap komponen

Component	R	X	Z = R + jX		
Thruster generator 1	30.08	40.11	30.08	+ j	40.11
Thruster generator 2	29.76	39.68	29.76	+ j	39.68
Bow Thruster 1	0.75	1.00	0.75	+ j	1.00
Bow Thruster 2	0.19	0.25	0.19	+ j	0.25
Cable 1	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7
Cable 2	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7
Cable 3	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7
Cable 4	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7

Setelah mendapatkan bilangan kompleks untuk setiap komponen, lalu semua nilai hambatan (R) dan reaktansi (X) dijumlahkan untuk menghitung impedansi total dari sistem (Z). Didapatkan hasil:

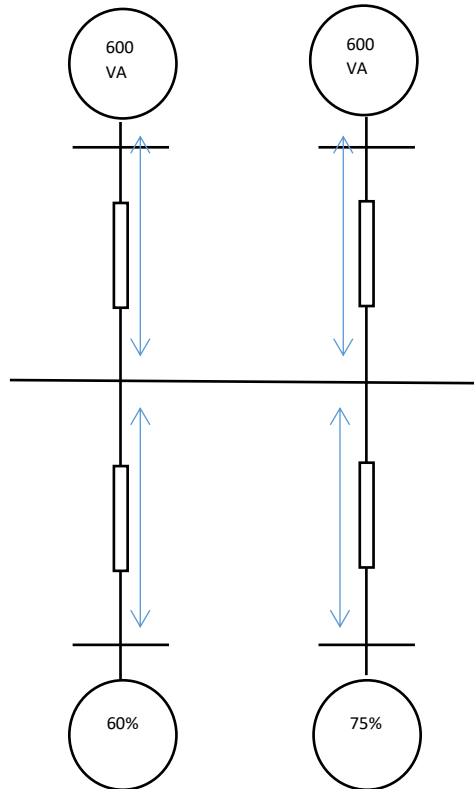
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{15.71219^2 + 20.84959^2} = 26.10706$$

Nilai impedansi total sistem pada skenario 1 didapat sebesar 26.10706 Ω

3. Menghitung aliran daya

Setelah didapatkan nilai total impedansi sistem maka perhitungan validasi aliran daya pada sistem dapat dilakukan. Tahap perhitungan dimulai dari bus beban (bus 4 dan bus 5) hingga bus pembangkitan (bus 1 dan bus 2). Karena nilai daya aktif (P) pada bus beban merupakan set skenario maka nilai yang digunakan untuk validasi adalah total daya aktif (P) yang dikirim oleh bus pembangkitan. Berikut adalah perhitungan pada skenario 1 pembebanan 60%-75%:



Gambar 4.19. Skema Aliran Daya Skenario 1

$$60\%P = V \times I \times \cos\pi$$

$$I = \frac{60\%P}{V \times \cos\pi}$$

$$I = \frac{120}{380 \times 0.8} = 0.2279 \text{ A}$$

Hal yang sama dilakukan pada motor 2 (75%P) dan didapatkan arus (A) sebesar 0.470047 A digunakan untuk mengasumsikan susut tegangan pada jalur transmisi bus 4 dan bus 5.

$$\Delta V_4 = Z \times I$$

$$\Delta V_4 = 26.10706 \times 0.2279 = 6.073 \text{ V}$$

$$V_{34} = 380 + 5.94 = 386.073 \text{ V}$$

Hal yang sama dilakukan pada jalur transmisi 3-5, didapatkan hasil tegangan pada jalur 3-5 sebesar 392.14V. Setelah itu menentukan rasio arus untuk mengetahui berapa arus yang dihasilkan pada sisi pembangkitan (bus 1 dan bus 2).

$$\begin{aligned} \text{Rasio } I_{13} &= \frac{I_{34} + I_{35}}{I_{34}} \\ \text{Rasio } I_{13} &= \frac{0.2279 + 0.4558}{0.2279} = 3 = 1:3 \end{aligned}$$

Didapat rasio untuk menentukan arus pada jalur transmisi 1-3 sebesar 1:3 dan untuk jalur transmisi 2-3 adalah 1:1.5 dengan asumsi terjadi susut arus pada jalur transmisi sebesar 19% ditentukan dari losses yang terjadi pada skenario 1 variasi pembebanan 60%-75% hasil uji laboratorium. Jadi dapat disimpulkan arus yang terjadi pada jalur transmisi sisi pembangkitan adalah:

$$\begin{aligned} I_{13} &= \frac{1}{3} \times I_{tot} \\ I_{13} &= \frac{1}{3} \times 0.746 = 0.232 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan losses sebesar 7% maka:

$$I_{13} = 1.19 \times 0.232 = 0.276 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{23} &= \frac{1}{1.5} \times I_{tot} \\ I_{23} &= \frac{1}{1.5} \times 0.746 = 0.465 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan losses sebesar 19% maka:

$$I_{13} = 1.19 \times 0.465 = 0.553 \text{ A}$$

Menghitung nilai drop tegangan pada sisi pembangkitan setelah mendapatkan arus yang baru:

$$\begin{aligned} \Delta V_{13} &= Z \times I \\ \Delta V_{13} &= 26.10706 \times 0.232 = 7.227 \text{ V} \\ V_{13} &= 380 - 7.227 = 372.772 \text{ V} \\ \Delta V_{23} &= 26.10706 \times 0.553 = 14.455 \text{ V} \\ V_{23} &= 380 - 14.455 = 365.544 \text{ V} \end{aligned}$$

Setelah menemukan arus dan tegangan yang terjadi pada sisi pembangkitan maka bisa dihitung nilai daya yang dikirim oleh generator 1 dan generator 2 yaitu:

$$\begin{aligned} P_{gen1} &= \sqrt{3} \times 372.772 \times 0.276 \times 0.8 = 143.445 \text{ watt} \\ P_{gen2} &= \sqrt{3} \times 365.544 \times 0.553 \times 0.8 = 282.229 \text{ watt} \end{aligned}$$

Menghitung nilai losses daya pada sistem dengan fungsi:

$$P_{loss} = Z \times I^2$$

$$P_{loss} = 26.107 \times 0.830^2 = 14.56 \text{ watt}$$

Dengan parameter-parameter yang telah dihitung maka didapatkan nilai total daya pembangkitan sebesar:

$$P_{tot} = P_{gen1} + P_{gen2} + P_{loss}$$

$$P_{tot} = 143.445 + 280.459 + 18.009 = 441.4707 \text{ watt}$$

Maka didapat nilai error atau selisih nilai antara hasil uji laboratorium dan perhitungan sebesar:

$$error = \frac{P_{perhitungan}}{P_{uji\ coba}} \times 100\%$$

$$error = \frac{441.4707}{445.65} \times 100\% = 0.95\%$$

Error yang terjadi pada skenario 1 sebesar 0.95%. Dapat disimpulkan bahwa nilai error masih terbilang kecil dan hasil uji coba dapat dikatakan valid.

4.8. Perhitungan Kapasitor

Perhitungan kapasitor dilakukan untuk mencari nilai kapasitas kapasitor sebagai usaha untuk memperbaiki faktor daya yang terjadi pada sistem yang telah di uji coba dalam skala laboratorium. Diambil contoh perhitungan pada jalur transmisi 3-5 (sisi pembebanan) skenario 4 variasi (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, dan beban kapal) variasi pembebanan 80%-80%. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan kebutuhan kapasitor:

1. Menghitung besarnya daya reaktif pada kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya pada beban:

$$\text{Cos } \varphi = 0.47 \quad (61.96^\circ)$$

$$\text{Cos } \varphi \text{ ideal} = 0.91 \quad (24.49^\circ)$$

$$Q_c = P (\tan \varphi - \tan \varphi \text{ ideal})$$

$$Q_c = 264 (\tan 61.96^\circ - \tan 24.49^\circ)$$

$$= 264 (1.87 - 0.455)$$

$$= 367.93 \text{ VAr}$$

Didapat nilai daya reaktif pada kapasitor yaitu 367.93

VAr

2. Mencari nilai reaktansi kapasitif dari kapasitor dengan menggunakan rumus:

$$X = \frac{V_{line}^2}{Q}$$

Penyelesaian:

$$X_c = \frac{370.7^2}{367.93} = 372.081\Omega$$

3. Menghitung nilai kapasitansi kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki sistem dengan rumus:

$$C = \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{line}^2}$$

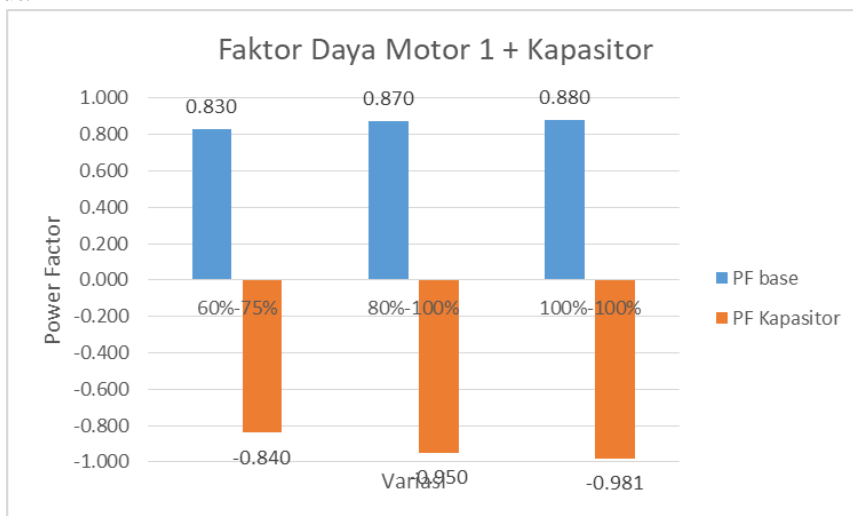
Penyelesaian:

$$C = \frac{367.93}{2 \times 3,14 \times 49,5 \times 370.7^2} = 8.61 \times 10^{-6} F = 8.61 \mu F$$

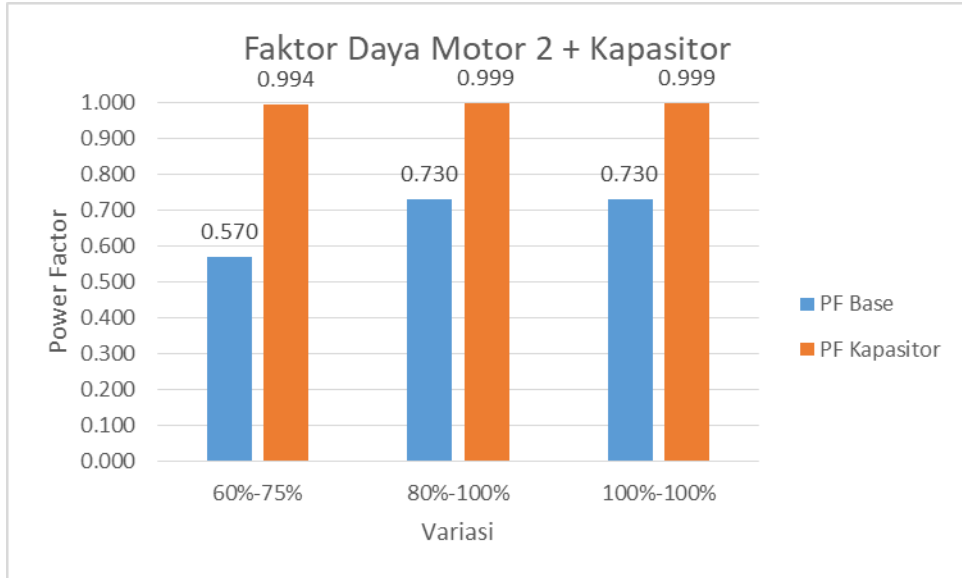
Dalam hasil perhitungan kebutuhan kapasitor pada skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 didapatkan nilai terbesar kapasitansi kapasitor adalah sebesar $8.61 \mu F$ maka dari itu dipilih kapasitor dengan besar kapasitas $10 \mu F$ untuk motor 2 dan untuk motor 1 didapatkan $1 \mu F$. Kapasitor yang tersedia di laboratorium adalah kapasitor dengan besar kapasitansi $14 \mu F$ dan paling kecil $5 \mu F$. maka dari itu kapasitor yang dipakai untuk melakukan perbaikan adalah kapasitor dengan besar kapasitansi $5 \mu F$ untuk motor 1 dan $14 \mu F$ untuk motor 2.

4.8.1. Skenario 1 (2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) dengan Kapasitor

Penggunaan kapasitor pada jaringan skenario 1 memiliki hasil sebagai berikut:

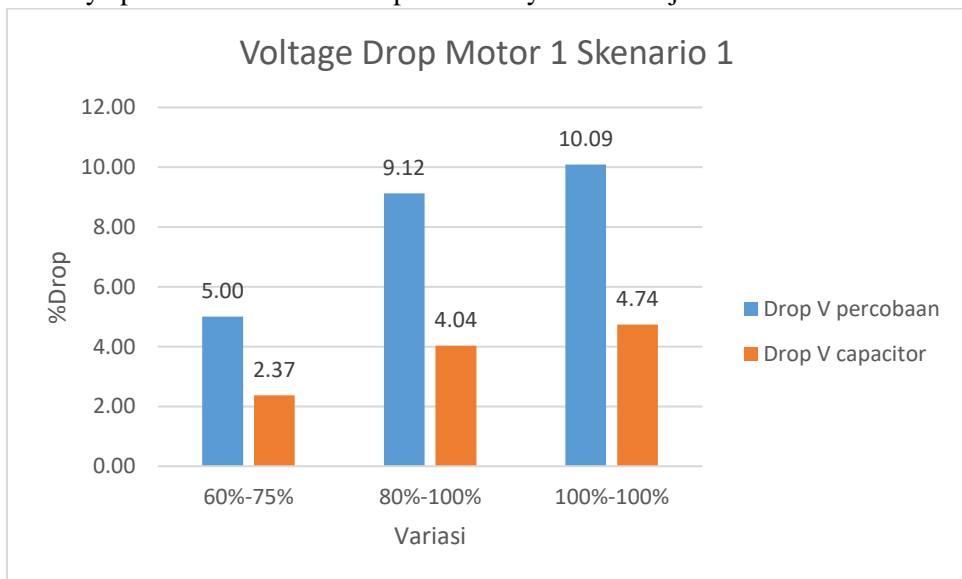


Grafik 4.10. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 1 Skenario 1

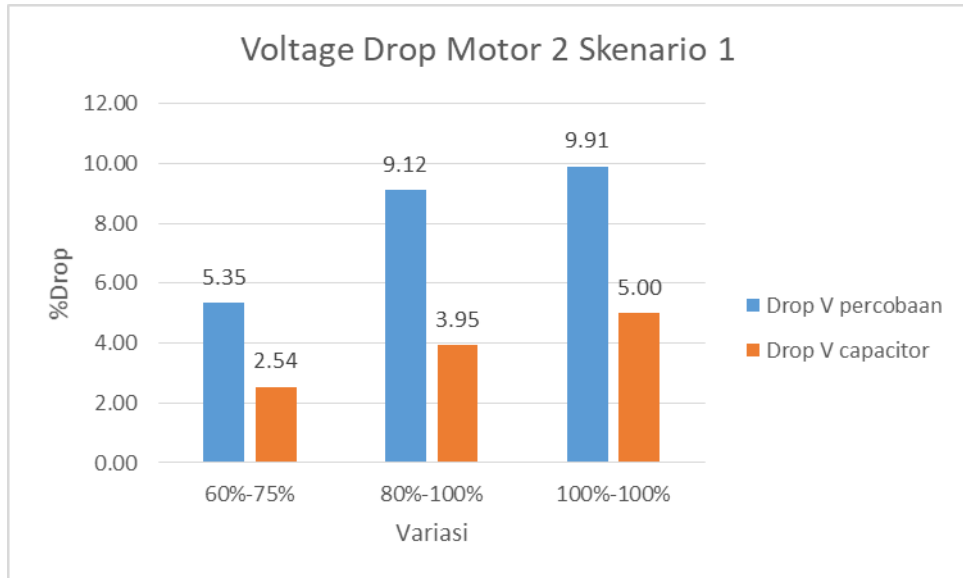


Grafik 4.11. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 2 Skenario 1

Pada grafik 4.10, nilai faktor daya pada setiap variasi pembebanan bernilai negatif yang berarti dalam kondisi leading, dimana arus masuk mendahului tegangan. Hal ini disebabkan oleh kapasitansi kapasitor yang terlalu besar bagi motor 1 sehingga daya reaktif yang di kirim oleh kapasitor berlebih. Pada grafik 4.11, perbaikan menggunakan kapasitor $14\mu\text{F}$ berhasil memperbaiki nilai faktor daya contohnya pada variasi 60%-75% pada awalnya 0.57 menjadi 0.994.



Grafik 4.12. Voltage Drop Motor 1 Skenario 1

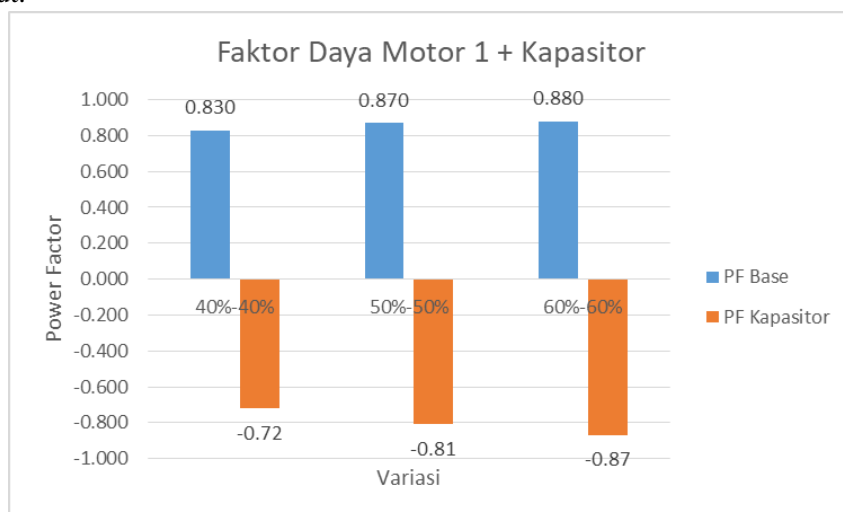


Grafik 4.13. Voltage Drop Motor 2 Skenario 1

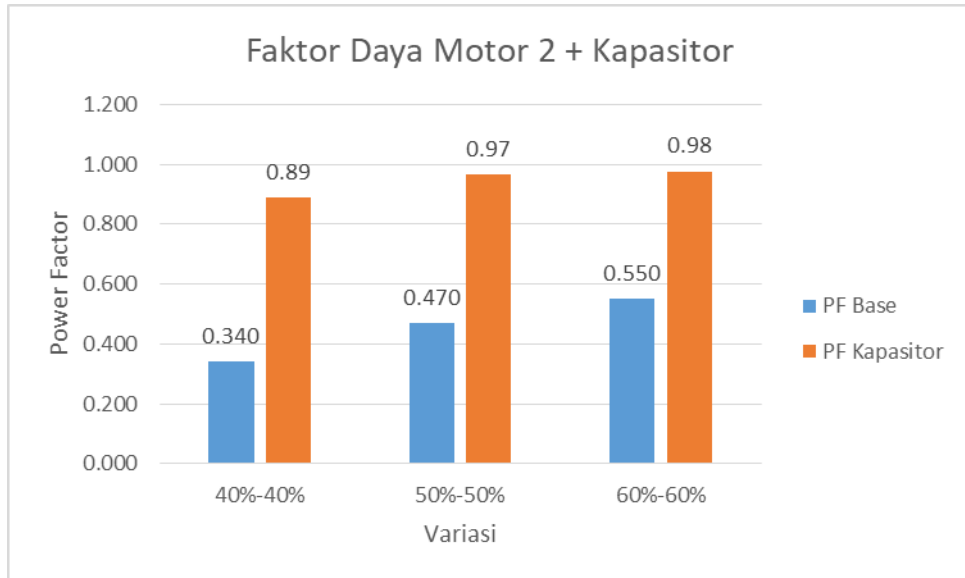
Pada grafik 4.12 dan 4.13, nilai drop tegangan sebelum dilakukan perbaikan dengan kapasitor mencapai 10.09% pada motor 1 dan 9.91% pada skenario 2. Setelah diberi kapasitor nilai drop tegangan yang terjadi paling besar pada motor 1 senilai 4.74% dan pada motor 2 5% dapat disimpulkan bahwa pemasangan kapasitor berhasil memperbaiki nilai tegangan pada sistem sehingga memenuhi standard IEC sebesar $\leq 5\%$.

4.8.2. Skenario 2 (1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) dengan Kapasitor

Penggunaan kapasitor pada jaringan skenario 2 memiliki hasil sebagai berikut:

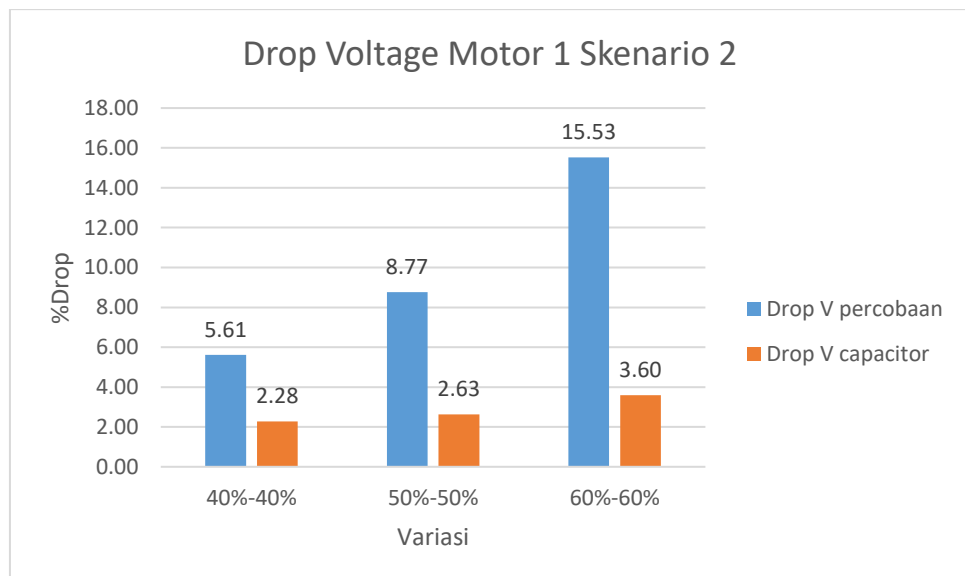


Grafik 4.14. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 1 Skenario 2

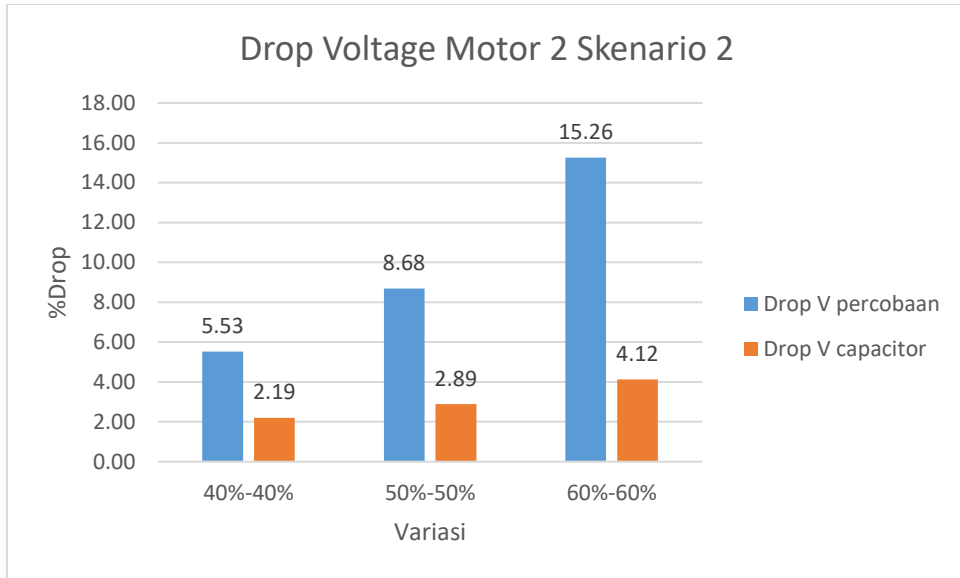


Grafik 4.15. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 2 Skenario 2

Pada grafik 4.14, nilai faktor daya negatif diakibatkan oleh besar daya reaktif yang di suplai oleh kapasitor berlebih. Pada grafik 4.15 nilai faktor daya hampir mendekati 1 dapat disimpulkan perbaikan faktor daya pada motor 2 menggunakan kapasitor $14\mu\text{F}$ berhasil menaikkan nilai faktor daya.



Grafik 4.16. Voltage drop motor 1 skenario 2

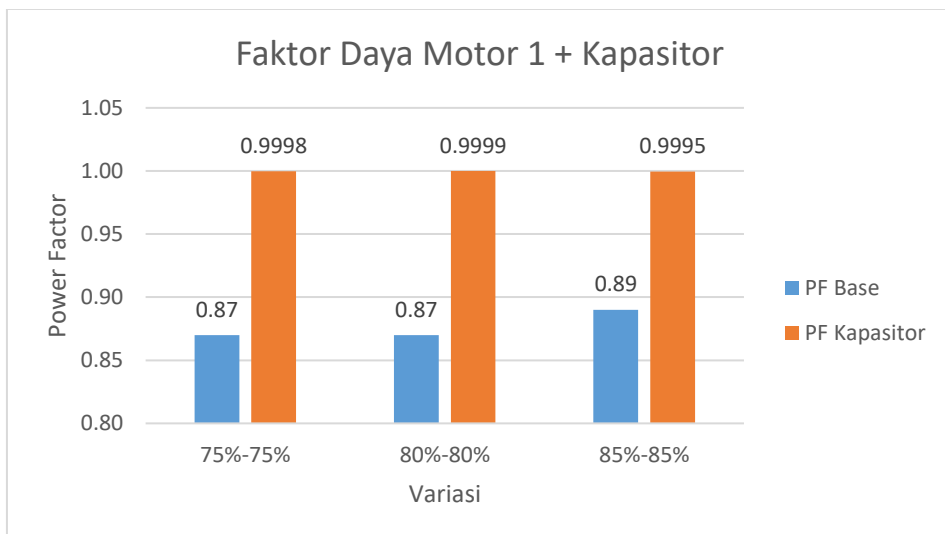


Grafik 4.17. Voltage drop motor 2 skenario 2

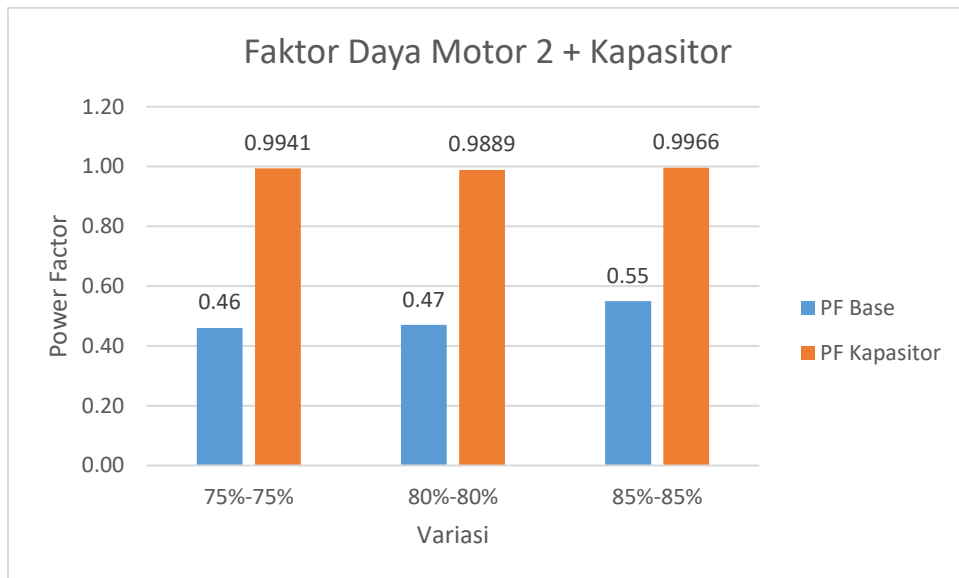
Dilihat dari grafik 4.16 dan 4.17 nilai drop tegangan pada saat diberi kapasitor menurun hingga paling besar pada motor 1 adalah 3.6% dan pada motor 2 4.12%. Turunnya nilai drop tegangan akibat suplai daya reaktif yang dihasilkan kapasitor untuk membantu kerja motor listrik.

4.8.3. Skenario 3 (1 Generator Thruster, 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster) dengan Kapasitor

Penggunaan kapasitor pada jaringan skenario 3 memiliki hasil sebagai berikut:



Grafik 4.18. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 1 Skenario



Grafik 4.19. Perbandingan Faktor Daya pada Motor 2 Skenario 3

Pada grafik 4.18, nilai faktor daya nilai faktor daya terbesar mencapai 0.74 pada motor 1 (bus 4) hal ini disebabkan oleh besarnya daya reaktif (Q) yang dikirim oleh kapasitor. Sedangkan pada grafik 4.19 nilai faktor daya di motor 2 (bus 5) mencapai nilai yang dapat terbilang optimal pada setiap variasi pembebanan karena nilai faktor daya hampir mendekati 1.

Tabel 4.41. Tabel hasil penggunaan kapasitor 4mf pada skenario 3

Branch	Variasi	Tegangan (V)	Arus (A)	$\sin\theta$	V baru	Drop Baru	%Drop
3-4	40%-40%	372.00	0.37	0.00298193	344.8144	9.26	2.44
	50%-50%	370.67	0.38	0.01134069	340.7751	10.32	2.72
	60%-60%	370.67	0.42	0.06840087	334.9729	11.85	3.12
	-	-	-	-	-	-	-
3-5	40%-40%	371.33	0.51	0.18710767	342.4319	9.89	2.60
	50%-50%	370.67	0.53	0.22000648	352.7331	7.18	1.89
	60%-60%	370.33	0.52	0.19081209	336.6364	11.41	3.00
	-	-	-	-	-	-	-

Karena pada skenario 3 penggunaan kapasitor $5\mu\text{F}$ pada motor 1 dan $14\mu\text{F}$ pada motor 2 membuat nilai tegangan lebih dari nilai nominalnya maka dilakukan perhitungan untuk menentukan kapasitor yang tepat untuk dipasang pada konfigurasi skenario 3. Didapatkan hasil kapasitor yang dipakai adalah sebesar $4\mu\text{F}$ untuk kedua motor sehingga perubahan teegangan dapat dilihat pada tabel 4.41.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan uji coba laboratorium pada sistem dynamic positioning dengan rangkaian tertutup dengan skenario dan variasi pembebanan yang telah ditentukan. Maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai losses daya, efisiensi daya, dan faktor daya yang terjadi pada sistem skala laboratorium pada setiap konfigurasi pembebanan skenario 1, 2, dan 3 dimana nilai losses daya paling kecil pada jalur pembangkitan terjadi pada skenario 1 (Konfigurasi 2 Generator Thruster, 2 Bow Thruster) variasi 80%-100% dengan nilai sebesar 0.92% dan efisiensi sebesar 99.08%, pada jalur pembebanan nilai losses terkecil terjadi pada skenario 2 (Konfigurasi 1 Generator Thruster, 2 Bow thruster) variasi 60%-60% dengan nilai losses sebesar 1.05% dan efisiensi sebesar 98.95%. Sedangkan nilai losses daya paling besar pada sisi pembangkitan terjadi pada skenario 2 variasi 40%-40% dengan nilai sebesar 20.04% dan efisiensi sebesar 79.96%. Pada jalur beban terjadi pada skenario 3 (Konfigurasi 1 Generator Thruster, 1 Generator Diesel, 2 Bow Thruster, Beban Kapal) variasi 75%-75% dan 85%-85% dengan nilai efisiensi sebesar 55.79%. Nilai faktor daya pada setiap konfigurasi dan variasi pembebanan, untuk motor 1 nilai faktor daya terbesar terjadi pada skenario 3 variasi pembebanan 85%-85% senilai 0.89, untuk motor 2 nilai faktor daya terdapat pada skenario 1 variasi pembebanan 80%-100% dan 100%-100% senilai 0.73. Nilai faktor daya terkecil pada motor 1 yang terjadi adalah pada skenario 2 variasi pembebanan 40%-40% senilai 0.34, sedangkan pada motor 2 pada skenario 1 variasi 60%-75% dan skenario 2 variasi 40%-40% senilai 0.83.
2. Pemasangan kapasitor 5 μ F pada motor 1 dan 14 μ F pada motor 2 sistem membuat nilai faktor daya meningkat akibat suplai daya reaktif ke motor 2, tetapi pada motor 1 terjadi leading akibat suplai daya yang berlebih setelah pemasangan kapasitor, maka dari itu nilai kapasitansi kapasitor harus sesuai dengan kebutuhan sistem agar nilai faktor daya menjadi optimal pada skenario 3 untuk mendapatkan nilai tegangan yang optimal maka perlu digunakan kapasitor dengan kapasitansi sebesar 4 μ F agar nilai tegangan tidak melewati tegangan nominal 380V. Setelah pemasangan kapasitor dilakukan nilai tegangan menjadi naik sehingga besarnya drop tegangan menjadi memenuhi standard yang ditetapkan IEC yaitu <5%. Penambahan beban lampu pada skenario 3 mengurangi nilai rugi daya dan meningkatkan efisiensi yang terjadi pada sistem.

5.2 Saran

Dalam studi aliran daya pada sistem dynamic positioning sistem tertutup pada skala laboratorium ini terdapat beberapa kendala dalam penyelesaian studi. Berikut merupakan saran yang perlu dipertimbangkan agar penelitian ini mendapatkan hasil yang maksimal:

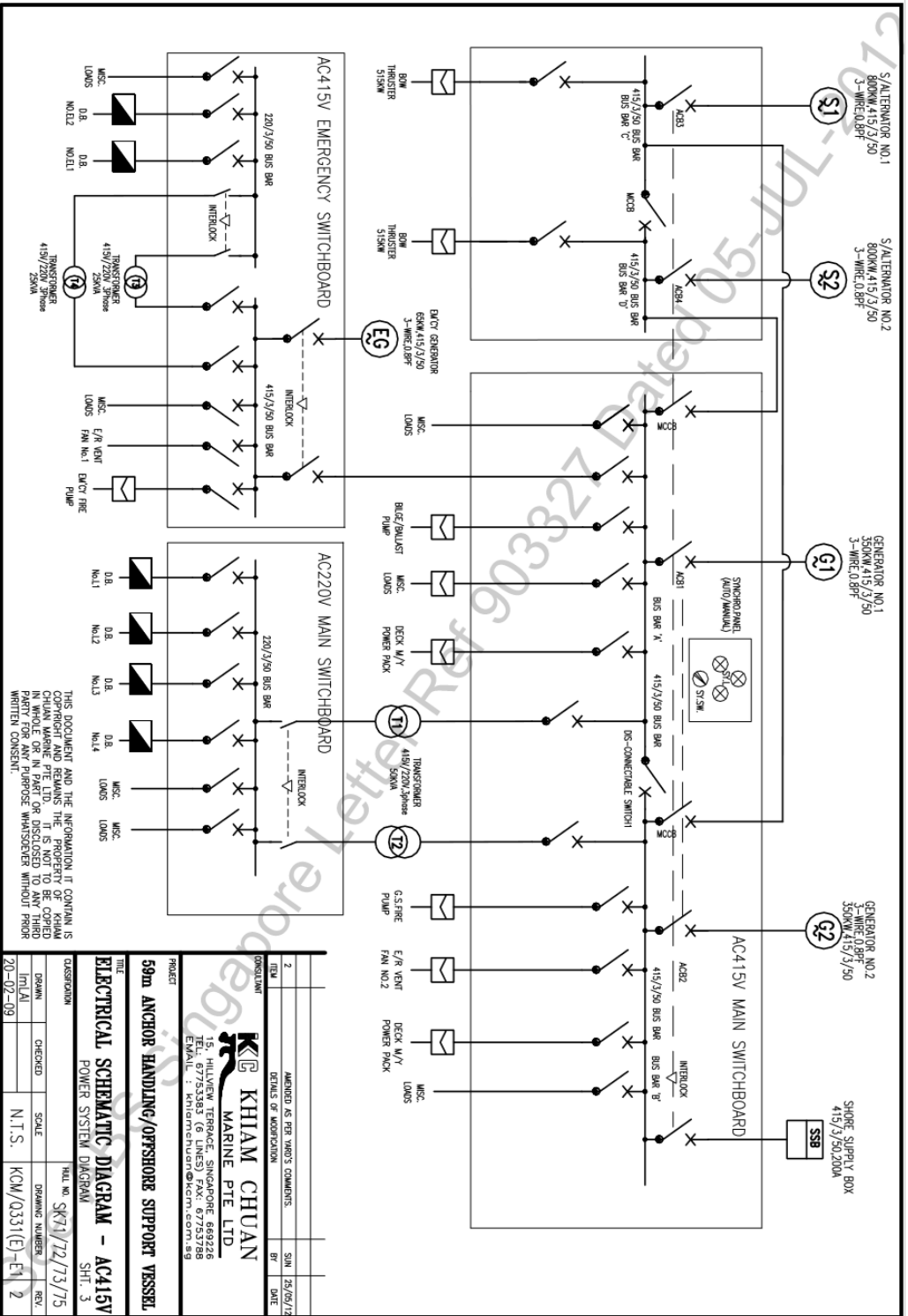
1. Menggunakan watt meter pada setiap jalur transmisi agar parameter daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya yang dikeluarkan generator dapat terbaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Adib Gustian Nigara & Yohanes Primadiyono. (2015). Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4 . 0.
- J. T., Lhokseumawe, P. N., & Beban, K. (2014). Analisis Aliran Daya Tak Seimbang Pada Jaringan Distribusi Radial, (November), 1–7.
- Holvik, J. (1998). Basics of Dynamic Positioning Basics of DP - Definition : Basics of DP (model based systems).
- Prasetya, A. P., Hamid, A., & Nakhoda, Y. I. (2012). Analisis Perbandingan Sistem Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Pompa Pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Wendit Malang. *Jurnal Elektro ELTEK*, 3(1).
- IMCA M103 Rev 1 (2007): *Guidelines for the Design & Operation of Dynamically Positioned Vessels*, <http://www.imca-int.com>.
- IMO MSC/Crc 645 (1994) : Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems
- Balchen(c), J. G., Jenssen, N. A., Mathisen, E., and Sælid, S., (1980) Dynamic positioning system based on Kalman filtering and optimal control. *Modeling, Identification and Con- trol MIC-1*(3): 135–163.
- Sarwito. S., Sulaiman, M. A., 2018. Analisis 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., Analisis of Three Phases Asynchronous Slip Ring Motor Performance Feedback Type 243.
- Kusuma, I. R., Sarwito, S.,Widya,R.A.,2017. Analisis of Electric Propulsion Performance on Submersible with Motor DC, Supply Power 10260AH at Voltage 115VDC.
- Sarwito, S., (1995). “*Perencanaan Instalasi Listrik Kapal*”. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi ITS, Surabaya
- Theraja, (1978). “*A Text-book of Electrical Technology, 17th*”. 17th Revised penyunt. New Delhi: Chand & Company Ltd.
- 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*”.
- Grainger, John J., and Stevenson, D., William JR. (1994). “*Power System Analysis* (International ed.)”. New York: McGraw-Hill.
- Kundur, P., (1994). “*Power System Stability and Control*”. McGraw Hill, Inc., California, CA.
- Roa, M., (2016). “*Demonstration of fault ride through capability for closed bus*


- operation on dynamic positioning vessels*". IEEE, pp. 1–10.
- 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*".
- Wahyudy, F.R., Sarwito, S., Kurniawan, A., (2016). "*Analisis Arus Starting Transformator Pada Pengoperasian Container Crane di Pelabuhan*".
- Loria, A., Fossen, T. I., and Panteley, E., (2000). "*A cascaded approach to a separation principle for dynamic ship positioning*", *IEEE Transactions of Control Systems Technology*

LAMPIRAN



THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION IT CONTAINS IS THE PROPERTY OF KHIAM CHUAN MARINE PTE LTD. IT IS NOT TO BE COPIED IN WHOLE OR IN PART OR DISCLOSED TO ANY THIRD PARTY FOR ANY PURPOSE WHATSOEVER WITHOUT PRIOR WRITTEN CONSENT.

PROJECT	59m ANCHOR HANDLING/OFFSHORE SUPPORT VESSEL	
TITLE	ELECTRICAL SCHEMATIC DIAGRAM - AC415V POWER SYSTEM DIAGRAM	
DESIGNATION	HALL NO.	SK71/72/73/75
DRAWN	CHECKED	SCALE
IM/LAI		N.T.S.
REV.	DRAWING NUMBER	REV.
20-02-09	KCM/0331(E)-11	2

 KHIAM CHUAN MARINE PTE LTD 15, HILLVIEW TERRACE, SINGAPORE 669726 TEL : 67332920 FAX : 67342106 E-MAIL : khiamchuan@kcm.com.sg	AMENDED AS PER WHO'S COMMENTS. DETAILS OF MODIFICATION: SIN 15/05/12 BY DATE
--	--

Project: 59m ANCHOR HANDLING/ OFFSHORE SUPPORT VESSEL																						
Ref. S/F	CONSUMER	No. off	Rated In W	L.F.	SEA GOING			STAND-BY			CARGO LOAD/DISCH. (HARBOUR)			DP-1 MANOEUVR. /FI/HAHT			HARBOUR RESTING			EMERGENCY		
					D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)
B201	DISTRIBUTION BOARD No.EL1	1	1880	1.0	0.8	1	1504	0.8	1	1504	0.8	1	1504	0.8	1	1504	0.4	1	752	1	1	1880
B202	DISTRIBUTION BOARD No.EL2	1	3200	1.0	0.8	1	2560	0.3	1	960	0.3	1	960	0.7	1	2240	0.2	1	640	1	1	3200
B203	NAVIGATION LIGHT PANEL	1	1440	1.0	0.8	1	1152	0.5	1	720	0.4	1	576	0.6	1	864	0.4	1	576	1	1	1440
B204	EMCY OUTSIDE LIGHTS	1	1120	1.0																1	1	1120
B205	GMDSS	1	1500	1.0	0.8	1	1200	0.3	1	450	0.3	1	450	0.7	1	1050	0.2	1	300	1	1	1500
B206	Miscellaneous Consumes	1	1500	0.8	0.8	1	960	0.4	1	480	0.4	1	480	0.6	1	720	0.3	1	360	0.8	1	960
B207	24V DC EMCY SWITCHBOARD	1	4300	0.8	0.6	1	2064	0.6	1	2064	0.6	1	2064	0.6	1	2064	0.6	1	2064	0.9	1	3096
LOAD 220V ESB (transferred to 415V ESB)							9440			6178			6034			8442			4692			13196
415/230V TRANSFORMERS AND LOAD IN %					2	25000	VA	1	47%	1	31%	1	30%	1	42%	1	23%	1	66%			

Average Power Factor of Consumers for Calculation of Transformer Load in %:

0.8

Project: 59m ANCHOR HANDLING/ OFFSHORE SUPPORT VESSEL																			
Ref. SFI	CONSUMER	No. off	Rated In kW	L.F.	D.F.	SEA GOING		STAND-BY		CARGO LOAD/ DISCH. (HARBOUR)		DP-1 MANOEVR. /FIF/IAHT		HARBOUR RESTING		EMERGENCY			
						No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)
	Emergency Transformer (from 220V ESB)		30,000	KVA															
B101	Rescue Boat Davit	1	9.00	0.9	0.1	1	0.81	0.1	1	0.81	1	0.81	0.1	1	0.81	1.0	1	8.1	
B102	STARTER FOR STEERING GEAR	2	11.0	0.8	0.8	2	14.1	0.8	2	14.08	0.8	2	14.08	0.4	2	7.04	1.0	1	8.8
B103	Emergency Generator Room Fan	1	1.00	1.0												1.0	1	1.00	
B104	CO2 ROOM VENT FAN	1	0.04	1.0												1.0	1	0.04	
B105	Emergency Fire Pump	1	15.0	0.60												1.0	1	9.00	
B106	ENGINE ROOM VENTILATION FAN 1	1	15.0	0.80	0.8	1	9.6	0.8	1	9.60	0.8	1	9.60	0.8	1	9.60	1.0	1	12.00
B107	No.2 STARTER AIR COMPRESSOR	1	5.5	1.00	0.6	1	3.3	0.6	1	3.30	0.6	1	3.30	0.6	1	3.30	1.0	1	5.50
LOAD 415V ESB (transferred to 415V MSB)							37.23		28.69		33.82		33.97		25.44		57.64		

Project: 59m ANCHOR HANDLING/ OFFSHORE SUPPORT VESSEL																			
Ref. SFI	CONSUMER	No. off	Rated In kW	L.F.	D.F.	SEA GOING		STAND-BY		CARGO LOAD/ DISCH. (HARBOUR)		DP-1 MANOEVR. /FIF/IAHT		HARBOUR RESTING		EMERGENCY			
						No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)	D.F.	No. In use	Load (kW)
A201	Engine Room DB L1	1	2.58	0.8	0.8	1	1.7	0.8	1	1.7	0.8	1	1.7	0.8	1	1.7			
A202	Main Deck DB L2	1	22.00	0.8	0.7	1	12.3	0.7	1	12.3	0.7	1	12.3	0.7	1	12.3			
A203	F'ole Deck DB L3	1	6.70	0.8	0.8	1	4.3	0.8	1	4.3	0.8	1	4.3	0.8	1	4.3			
A204	Upper F'ole Deck DB L4	1	12.70	0.8	0.8	1	8.1	0.8	1	8.1	0.8	1	8.1	0.8	1	8.1			
A205	W/H Deck DB L5	1	3.60	0.8	0.8	1	2.3	0.8	1	2.3	0.8	1	2.3	0.8	1	2.3			
A206	NAVIGATION LIGHT PANEL	1	1.44	0.8	0.8	1	0.9	0.5	1	0.6	0.4	1	0.5	0.6	1	0.7	0.4	1	0.5
A207	DISTRIBUTION BOARD No.EL2	1	3.20	0.8	0.8	1	2.0	0.3	1	0.8	0.3	1	0.8	0.7	1	1.8	0.2	1	0.5
A208	CONTAINER REEFER	2	6.00	0.8	0.5	1	2.4	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2			
A209	Miscellaneous Consumes	1	1.50	0.8	0.6	1	0.7	0.6	1	1	0.6	1	1	0.6	1	1			
LOAD 220V MSB (transferred to 415V MSB)							34.8		33.2		33.0		34.3		30.4				

415/230V TRANSFORMER LOAD IN %	2	50.0	KVA	1	87%	1	83%	1	83%	1	86%	1	76%
--------------------------------	---	------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----

Average Power Factor of Consumers for Calculation of Transformer Load in %:

0.8

Project: 59m ANCHOR HANDLING/ OFFSHORE SUPPORT VESSEL										SEA GOING		STAND-BY		CARGO LOAD/ DISCH. (HARBOUR)		DP-1 MANOEVR. /FIF/IAHT		HARBOUR RESTING		EMERGENCY	
Ref. SFI	CONSUMER	No. off	Rated In kW	L.F.	D.F.	No. In use	Load (KW)	D.F.	No. In use	Load (KW)	D.F.	No. In use	Load (KW)	D.F.	No. In use	Load (KW)	D.F.	No. In use	Load (KW)		
A129	Central Water Heater	1	30.00	0.80	0.40	1	9.6	0.4	1	9.6	0.4	1	9.6	0.4	1	9.6					
A130	FIFI System	1	1.00	1.0			0.0			0.0	0.5	1	0.5			0.0					
A131	Air-Condition for ECR	1	3.40	1.0	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7		
A132	Air-Condition to W/H	1	3.40	1.0	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7	0.8	1	2.7		
A133	F.O. Purifier	1	5.50	0.9	0.6	1	2.97	0.6	1	2.97	0.6	1	2.97	0.6	1	2.97	0.6	1	2.97		
A134	Drill Water Pump	1	45.00	0.9				0.5	1	20.3											
A135	Deck Crane	1	22.00	0.9							0.4	1	7.9								
A136	B.A. Recharging Compressor	1	5.00	0.9	0.1	1	0.5	0.1	1	0.5	0.1	1	0.5	0.1	1	0.5	0.1	1	0.5		
A137	Welding Equipment	1	12.00	0.9	0.1	1	1.1	0.1	1	1.1	0.1	1	1.1	0.1	1	1.1	0.1	1	1.1		
A138	CPP HYDRAULIC UNIT	2	5.50	0.9	0.6	2	5.9	0.6	2	5.9	0.6	2	5.9	0.6	2	5.9	0.4	2	4.0		
	Bow Thruster	2	515.00	1.0				1.0	2	1030.0	1.0	2	1030.0								
LOAD 41SV S/ALTERNATORS										1030.0			1030.0								
LOAD 41SV MSB							256			244			446							194	

Project: 59m MULTI-PURPOSE OFFSHORE SUPPLY/ ANCHOR HANDLING VESSEL										SEA GOING		STAND-BY		CARGO LOAD/ DISCH. (HARBOUR)		DP-1 MANOEVR. /FIF/IAHT		HARBOUR RESTING		EMERGENCY	
LOAD 41SV MSB																					
LOAD 41SV MSB							256			244			446							194	
LOAD 41SV S/ALTERNATORS													1030.0								
LOAD 41SV ESB (emergency operation)																				57.64	

DIESEL GENERATOR SETS WORKING AND LOAD IN %									
SHAFT GENERATORS									
SHAFT GENERATORS	2	800.00		1	32%	1	31%	2	64%
DIESEL GENERATORS	2	350.00		1	73%	1	70%	2	64%
EMERGENCY GENERATOR	1	65.00							89%

Project: 59m ANCHOR HANDLING/ OFFSHORE SUPPORT VESSEL										SEA GOING		STAND-BY		CARGO LOAD/ DISCH. (HARBOUR)		DP-1 MANOEVR. /FI/IAHT		HARBOUR RESTING		EMERGENCY	
Ref. SFI	CONSUMER	No. off	Rated In kW	L.F. kVA	D.F. use	No. In use	Load (kW)	D.F. use	No. In use	Load (kW)	D.F. use	No. In use	Load (kW)	D.F. use	No. In use	Load (kW)	D.F. use	No. In use	Load (kW)		
	415V/220V Transformer (from 220V MSB)		50.00				34.8			33.2			33.0			34.3			30.4		
	415V Emergency Switch Board (from 415V ESB)						37.2			28.7			33.8			34.0			25.4		
A101	Reefer Sockets	2	25.00	1.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0					
A102	Bulk Cement Compressor	2	75.00	1.0																	
A103	Bulk Cement Compressor Cooling Pump	2	2.20	1.0																	
A104	Fresh Water Cargo Pump	1	55.00	0.85																	
A105	Ballast/Bilge Pump	2	30.00	0.85	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6		
A106	Fuel Oil Cargo Pump	1	75.00	0.85																	
A107	Mud Pump	2	95.00	0.85																	
A108	Bow Thruster Cooling Pump	2	0.55	1.00												0.5	2	0.6			
A109	No.1 STARTER AIR COMPRESSOR	1	5.50	1.00	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3		
A110	POWER PACK FOR KARM FORK TOW PIN	1	20.00	0.8												0.5	1	8.0			
A111	Deck Machinery/ Hydraulic Power Pack	3	90.00	0.8												0.5	2	72.0			
A112	Deck Machinery/ Hydraulic Power Pack	2	7.50	0.8												0.5	2	6.0			
A113	ELECTRIC STOVE	1	22.00	1	0.5	2	22	0.5	2	22	0.5	2	22.0	0.5	2	22	0.5	2	22		
A114	Refrigeration Set.	1	11.00	1.0	0.4	1	4.4	0.4	1	4.4	0.4	1	4.4	0.4	1	4.4	0.3	1	3.3		
A115	Air Condition Plant	1	80.00	0.9	0.8	1	57.6	0.8	1	57.6	0.8	1	57.6	0.8	1	57.6	0.5	1	36.0		
A116	Air Condition Plant Cooling Pump	1	15.00	0.9	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8	0.5	1	6.8		
A117	Fresh Water Maker	1	2.20	0.9	0.8	1	1.6	0.8	1	1.6	0.8	1	1.6	0.8	1	1.6	0.5	1	1.0		
A118	Miscellaneous Vent Fan	1	20.00	0.9	1.0	1	18.0	1.0	1	18.0	1.0	1	18.0	1.0	1	18.0	1.0	1	18.0		
A119	S/G Room Vent Fan	1	1.10	0.9	1.0	1	0.99	0.5	1	0.50	0.5	1	0.50	1.0	1	0.99			0.0		
A120	Engine Room Fan 2	1	15.00	0.9	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8	0.8	1	10.8		
A121	Bow Thruster Compl. Vent Fan	1	1.50	0.9	1.0	2	2.7	1.0	2	2.70	1.0	2	2.7	1.0	2	2.70	1.0	2	2.7		
A122	Fresh Water Pressure Pump	1	1.10	0.9	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7		
A123	Sea Water Pressure Pump	2	1.10	0.9	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7	0.7	1	0.7		
A124	Sewage Treatment System	1	3.80	0.9	0.7	1	2.39	0.7	1	2.39	0.7	1	2.39	0.7	1	2.39	0.7	1	2.39		
A125	Fuel Oil Transfer Pump	1	2.20	0.9	0.2	2	0.6	0.2	2	0.6	0.2	2	0.6	0.2	2	0.6	0.2	2	0.6		
A126	Oil/Bilge Water Separator	1	2.20	0.9	0.6	1	1.2	0.6	1	1.2	0.6	1	1.2	0.6	1	1.2	0.6	1	0.8		
A127	Dirty Oil/Sludge Pump	1	1.50	0.9	0.4	1	0.5	0.4	1	0.5	0.4	1	0.5	0.4	1	0.5	0.4	1	0.5		
A128	General Service & Fire Pump	1	30.00	0.9	0.1	1	2.7	0.1	1	2.7	0.1	1	2.7	0.1	1	2.7	0.1	1	2.7		

Data Beban Motor Induksi 3 fasa											
ID	Type	HP	KW	kVA	PF%	θ	Tan θ	Rd	Xd		
Bow Thruster 1	Motor	0.2144	0.16	0.20	80.00	36.8699	0.7500	111.17	148.2222		
Bow Thruster 2	Motor	0.4556	0.34	0.43	80.00	36.8699	0.7500	59.77	79.68889		

Data Pembangkit Tenaga											
ID	Type	MVA	kV	RPM	%PF	θ	Tan θ	Rd	Xd		
Diesel Gen	Diesel	0.000263	0.38	3000	80	36.87	0.75	6.5	8.622222		
Thruster G	Turbo	0.0006	0.38	1500	80	36.87	0.75	12.5	16.66667		
Thruster G	Turbo	0.0006	0.38	1500	80	36.87	0.75	12.4	16.48889		

Resistansi kabel hasil pengukuran											
ID	From	To	L (mm)	A (mm ²)	ρ (Ωm)	R					
Cable 1	Generator	Bus	5000	2.50	1.68E-08	0.6					
Cable 2	Bus	Motor	5000	2.50	1.68E-08	0.6					

Section	Calculation	First cycle Z = R + jX		
		R	+ j	X
1. Thruster Generator	$Xg = \frac{Xd}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}$	30.08333	j	40.11111
2. Thruster Generator	$Xg = \frac{Xd}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}$	29.76244	j	39.68326
3. Diesel Generator 1	$Xg = \frac{Xd}{100} \times \frac{V^2}{MVA \times 10^6}$	35.53222	j	47.37629
4. Bow Thruster 1	$Xm = \frac{Xd}{746} \times \frac{V^2}{HP}$	0.748716	j	0.99829
5. Bow Thruster 2	$Xm = \frac{Xd}{746} \times \frac{V^2}{HP}$	0.189427	j	0.25257
6. Cable 1		0.6		0.7
6. Cable 2		0.6		0.7

Component	R	X	Z = R + jX		
Thruster generator 1	30.08	40.11	30.08	+ j	40.11
Thruster generator 2	29.76	39.68	29.76	+ j	39.68
Bow Thruster 1	0.75	1.00	0.75	+ j	1.00
Bow Thruster 2	0.19	0.25	0.19	+ j	0.25
Cable 1	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7
Cable 2	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7
Cable 3	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7
Cable 4	0.6	0.7	0.6	+ j	0.7

Impedansi skenario 1		
Branch	R	X
TG 1 + TG2	14.96101	19.94802
BT1 + BT2	0.151179	0.201572
Cable 1 + Cable 2	0.3	0.35
Cable 4 + Cable 5	0.3	0.35
Total	15.71219	20.84959
Z=	26.10706	

Impedansi skenario 2		
Branch	R	X
TG1	30.08	40.11
BT1 + BT2	0.151179	0.201572
Cable 1	0.6	0.7
Cable 4 + Cable 5	0.3	0.35
Total	31.13	41.36
Z=	51.77093	

Impedansi skenario 3		
Branch	R	X
TG 1 + DG	18.7466	21.59494
BT1 + BT2	0.151179	0.201572
Cable 1 + Cable 2	0.3	0.35
Cable 4 + Cable 5	0.3	0.35
Total	19.49778	22.49651
Z=	29.77006	

Skenario 1 (2 Thruster generator, 2 bow thruster)

1	P (watt)	I (A)	Rasio	1	P	I	Drop
M1	120	0.227901	3.0625	gen 1	143.0023	0.276853	7.227811
M2	247.50	0.470047	1.5	gen 2	280.4591	0.553705	14.45562
	drop	actualV					V
M1	5.949835	385.9498					372.7722
M2	12.27154	392.2715					365.5444
	P	I	total I				
gen1	124.418	0.232649	0.697948	total gen	441.4707	0.830558	
gen2	252.9119	0.465299		loss			18.009
	drop	actualV	%Aloss	Margin Error		-0.95	%
gen1	6.07379	386.0738	19.49				
gen2	12.14758	392.1476					

2	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	200	0.379836	2.4
M2	264.00	0.501383	1.76
	drop	actualV	
M1	9.916392	389.9164	
M2	13.08964	393.0896	
	P	I	total I
gen1	190.4434	0.352488	0.881219
gen2	273.0939	0.501383	
	drop	actualV	%Aloss
gen1	9.202412	389.2024	15.02
gen2	13.08964	393.0896	

2	P	I	Drop
gen 1	207.4958	0.405361	10.58277
gen 2	291.5734	0.576591	15.05308
			V
			369.4172
			364.9469
total gen	524.2424	0.981951	
loss		25.173	
Margin Error		-3.21	%

3	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	200.00	0.38	2.90
M2	330.00	0.72	1.53
	drop	actualV	
M1	9.916392	389.9164	
M2	18.84115	398.8411	
	P	I	total I
gen1	198.3785	0.367175	1.101524
gen2	380.4735	0.688452	
	drop	actualV	%Aloss
gen1	9.585846	389.5858	9.76
gen2	17.97346	397.9735	

3	P	I	Drop
gen 1	192.126	0.374518	9.777563
gen 2	351.9116	0.702221	18.33293
			V
			370.2224
			361.6671
total gen	574.305	1.076739	
loss		30.268	
Margin Error		4.87	%

4	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	220.00	0.42	2.90
M2	363.00	0.79	1.53
	drop	actualV	
M1	10.90803	390.908	
M2	20.72526	400.7253	
	P	I	total I
gen1	218.7713	0.403892	1.211676
gen2	420.4979	0.757297	
	drop	actualV	%Aloss
gen1	10.54443	390.5444	26.89805
gen2	19.77081	399.7708	

4	P	I	Drop
gen 1	210.9008	0.41197	10.75532
gen 2	385.5637	0.772443	20.16622
			V
			369.4556
			360.2292
total gen	633.088	1.184413	
loss		36.624	
Margin Error		16.17	%

Skenario 2 (1 Thruster generator, 2 bow thruster)

1	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	80.00	0.15	
M2	196.00	0.37	
	drop	actualV	
M1	7.865779	387.8658	
M2	19.27116	399.2712	
	P	I	total I
gen1	281.713	0.524173	0.524173
gen2			
	drop	actualV	%Aloss
gen1	27.13694	407.1369	11.11111
gen2			

1	P	I	Drop
gen 1	282.0753	0.581832	30.122
gen 2			
			V
			349.878
total gen	299.601	0.581832	
loss			17.526
Margin Error		-3.83	%

2	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	100.00	0.19	
M2	186.00	0.35	
	drop	actualV	
M1	9.832224	389.8322	
M2	18.28794	398.2879	
	P	I	total I
gen1	293.4	0.543165	0.54
gen2			
	drop	actualV	%Aloss
gen1	28.12016	408.1202	10.5802
gen2			

2	P	I	Drop
gen 1	303.2816	0.630071	32.61939
gen 2			
			V
			347.3806
total gen	323.834	0.630071	
loss			20.553
Margin Error		2.30	%

3	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	120.00	0.23	
M2	198.00	0.38	
	drop	actualV	
M1	11.79867	391.7987	
M2	19.4678	399.4678	
	P	I	total I
gen1	327.8736	0.603939	0.60
gen2			
	drop	actualV	%Aloss
gen1	31.26647	411.2665	10.18868
gen2			

3	P	I	Drop
gen 1	320.742	0.670372	34.70578
gen 2			
			V
			345.2942
total gen	344.008	0.670372	
loss		23.266	
Margin Error		2.04	%

Skenario 3 (1 Thruster generator, 1 diesel generator, 2 bow thruster)

1	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	230.00	0.44	2.30
M2	300.00	0.57	1.77
	drop	actualV	
M1	13.00389	393.0039	
M2	16.96159	396.9616	
	P	I	total I
gen1	238.3204	0.437637	1.006565
gen2	325.6806	0.592097	
	drop	actualV	%Aloss
gen1	13.02847	393.0285	0.00
gen2	17.62676	397.6268	

1	P	I	V
gen 1	322.6746	0.634573	366.9715
gen 2	431.0895	0.85854	362.3732
total gen	820.133	1.493114	
loss		66.369	
Margin Error		-4.80	%

2	P (watt)	I (A)	Rasio
M1	230.00	0.44	2.39
M2	320.00	0.61	1.72
	drop	actualV	
M1	13.00389	393.0039	
M2	18.09237	398.0924	
	P	I	total I
gen1	237.0089	0.435228	1.044548
gen2	338.9331	0.61444	
	drop	actualV	%Aloss
gen1	12.95677	392.9568	0.00
gen2	18.29192	398.2919	

2	P	I	V
gen 1	343.0969	0.674604	367.0432
gen 2	477.3315	0.952382	361.7081
total gen	899.232	1.626986	
loss		78.804	
Margin Error		-2.76	%

3	P (watt)	I (A)	Rasio		3	P	I	V
M1	250.00	0.47	2.32		gen 1	361.1146	0.711401	366.3365
M2	330.00	0.63	1.76		gen 2	485.7864	0.971933	360.7103
	drop	actualV			total gen	931.258	1.683333	
M1	14.13466	394.1347			loss		84.357	
M2	18.65775	398.6578			Margin Error	-4.69	%	
	P	I	total I					
gen1	250.6558	0.458968	1.101524					
gen2	357.928	0.647955						
	drop	actualV	%Aloss					
gen1	13.66351	393.6635	0.00					
gen2	19.28966	399.2897						

Scenario 1 60%-75% (132, 260 watt)												2 generator thruster, 2 bow thruster											
Vphase Generation 1 (V)			Vphase Generation 2 (V)			Vline Generation 1 (V)			Vline Generation 2 (V)			Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
206	205	205	207	206	206	364	363	363	364	363	364	0.71	0.88	0.88	0.23	0.2	0.22	0.17	0.25				
Vphase in Bus 3												Vline in Bus 3											
Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr							Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)								
206	204	204	361	359	360							Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
												0.69	0.85	0.85	0.22	0.18	0.16	0.14	0.22				
Vphase bus 4 (load 1) (V)			Vphase bus 5 (load 2) (V)			Vline bus 4 (load 1) (V)			Vline bus 5 (load 2) (V)			Current bus 4 (load 1) (A)			Current Bus 5 (load 2) (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
207	205	205	206	206	207	363	360	360	361	358	360	0.25	0.22	0.21	0.04	0.58	0.65	0.66	0				

Scenario 1 80%-100% (132, 260 watt) 2 generator thruster, 2 bow thruster

Vphase Generation 1 (V)		Vphase Generation 2 (V)		Vine Generation 1 (V)		Vine Generation 2 (V)		Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Is	It	In	
198	195	196	198	195	196	347	346	346	346	347	346	0.84	0.91	0.92	0.2	0.37	0.32	0.29	0.25
Vphase in Bus 3		Vine in Bus 3		Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)												
Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In						
198	195	196	346	347	346	0.83	0.88	0.88	0.2	0.3	0.31	0.28	0.23						
Vphase bus 4 (load 1) (V)		Vphase bus 5 (load 2) (V)		Vine bus 4 (load 1) (V)			Vine bus 5 (load 2) (V)			Current bus 4 (load 1) (A)			Current bus 5 (load 2) (A)						
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
197	196	194	196	194	195	343	347	346	345	346	345	0.37	0.39	0.38	0.3	0.5	0.56	0.58	0

Scenario 1 100%-100% (132, 260 watt)												2 generator thruster, 2 bow thruster											
Vphase Generation 1 (V)			Vphase Generation 2 (V)			Vine Generation 1 (V)			Vine Generation 2 (V)			Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
195	194	192	195	193	193	343	340	343	343	341	343	0.96	0.97	0.93	0.23	0.32	0.31	0.26	0.25				
Vphase in Bus 3			Vine in Bus 3			Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)														
Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In		
196	194	195	345	343	344	0.75	0.73	0.74	0.24	0.26	0.23	0.22	0.2	0.26	0.23	0.22	0.2	0.26	0.23	0.22	0.2		
Vphase bus 4 (load 1) (V)			Vphase bus 5 (load 2) (V)			Vine bus 4 (load 1) (V)			Vine bus 5 (load 2) (V)			Current bus 4 (load 1) (A)			Current Bus 5 (Load 2) (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
195	193	194	193	192	194	343	342	340	344	340	343	0.33	0.36	0.35	0.25	0.81	0.8	0.83	0				

Hasil pengolahan Skenario 1

Variasi 1

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	363.333	20	5.26
2	2	3	363.667	19	5
3	3	4	361	19	5
4	3	5	359.667	20.33	5.35

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	340	255	-	-	25.1	7.38	92.62
2	2	3	106	79	-	-	7.8		
BUS 3			P (W)		413		Q (Var)	310	-
3	3	4	-	-	120	63	14.6	10.85	89.15
4	3	5	-	-	248	353	30.2		
total			445.65	334.24	368.00	416.30			

Branch	From Bus	To Bus	To Bow Thruster		PF	π
			P (W)	Q (VAr)		
3	3	4	120	63	0.83	33.90
4	3	5	248	353	0.57	55.25

Variasi 2

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	346.333	33.67	8.86
2	2	3	346.333	34.67	9.12
3	3	4	345.333	34.67	9.12
4	3	5	345.333	34.67	9.12

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	344	258	-	-	3.2	0.92	99.08
2	2	3	197	148	-	-	1.8		
BUS 3			P (W)		536		Q (Var)	402	-
3	3	4	-	-	160	83	15.1	8.60	91.40
4	3	5	-	-	330	308	31.1		
total			541.08	405.81	490.00	390.70			

Branch	From Bus	To Bus	To Bow Thruster		PF	π
			P (W)	Q (VAr)		
3	3	4	160	83	0.87	29.54
4	3	5	330	308	0.73	43.11

Variasi 3

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	342	36	9.47
2	2	3	342.333	38.33	10.088
3	3	4	341.667	38.33	10.088
4	3	5	342.333	37.67	9.91

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	366	275	-	-	7.3	1.99	98.01
2	2	3	180	135	-	-	3.6		
BUS 3			P (W)		535		Q (Var)	402	-
3	3	4	-	-	200	91	2.1	1.02	98.98
4	3	5	-	-	330	304	3.4		
total			546.33	409.75	530.00	395.00			

Branch	From Bus	To Bus	To Bow Thruster		PF	π
			P (W)	Q (VAr)		
3	3	4	200	91	0.88	28.36
4	3	5	330	304	0.73	43.11

Scenario 2 40%-40%														1 generator thruster, 2 bow thruster													
Vphase Generation 1 (V)				Vphase Generation 2 (V)				Vine Generation 1 (V)				Vine Generation 2 (V)				Current Generation 1 (A)				Current Generation 2 (A)							
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In					
205	202	202	-	-	-	364	364	363	-	-	-	0.82	0.82	0.74	0.14	-	-	-	-	-	-	-					
Vphase in Bus 3												Vine in Bus 3															
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
205	201	201	201	201	201	360	361	362	361	361	362	0.6	0.68	0.7	0.05	-	-	-	-	-	-	-					
Vphase bus 4 (load 1) (V)						Vphase bus 5 (load 2) (V)						Current bus 4 (load 1) (A)						Current Bus 5 (Load 2) (A)									
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In				
203	203	201	202	201	201	360	358	358	359	359	359	0.22	0.2	0.19	0.04	0.52	0.52	0.55	0	0.52	0.52	0.55	0				

Scenario 2 50%-50%		1 generator thruster, 2 bow thruster																	
Vphase Generation 1 (V)		Vphase Generation 2 (V)		Vline Generation 1 (V)		Vline Generation 2 (V)		Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
199	196	196	-	-	-	348	339	347	-	-	-	0.9	0.85	0.83	0.07	-	-	-	-
Vphase in Bus 3		Vphase in Bus 3		Vline in Bus 3		Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)										
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In			
199	195	195	195	349	345	345	347	347	0.85	0.85	0.82	0.06	-	-	-	-			
Vphase bus 4 (load 1) (V)		Vphase bus 5 (load 2) (V)		Vline bus 4 (load 1) (V)		Vline bus 5 (load 2) (V)		Current bus 4 (load 1) (A)			Current Bus 5 (Load 2) (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In			
199	196	196	194	198	197	348	345	347	0.27	0.25	0.25	0.06	0.53	0.52	0.5	0			

Scenario 2 60%-60%														1 generator thruster, 2 bow thruster													
Vphase Generation 1 (V)		Vphase Generation 2 (V)		Vline Generation 1 (V)		Vline Generation 2 (V)		Vline Generation 2 (V)		Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)														
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In								
189	187	186	-	-	-	337	330	329	-	-	-	0.91	0.98	0.94	0.1	-	-	-	-								
Vphase in Bus 3		Vphase in Bus 3		Vline in Bus 3		Vline in Bus 3		Vline in Bus 3		Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)														
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In								
184	183	183	183	183	183	320	320	320	320	320	323	0.91	0.94	0.86	0.18	-	-	-	-								
Vphase bus 4 (load 1) (V)		Vphase bus 5 (load 2) (V)		Vline bus 4 (load 1) (V)		Vline bus 5 (load 2) (V)		Vline bus 5 (load 2) (V)		Current bus 4 (load 1) (A)			Current Bus 5 (Load 2) (A)														
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In								
183	183	180	180	180	180	325	318	320	326	318	322	0.34	0.31	0.3	0.08	0.52	0.56	0.51	0								

Pengolahan Skenario 2

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	363.6667	19	5
2	2	3	-	-	-
3	3	4	358.6667	21.33333	5.614035
4	3	5	359	21	5.526316

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	317	238	-	-	63.6	20.04	79.96
2	2	3	-	-	-	-	-		
BUS 3			P (W)		254		Q (Var)	190	-
3	3	4	-	-	80	56	15.8	16.49	83.51
4	3	5	-	-	132	351	26.1		
total			317.46	238.10	212.00	407.20			

Branch	From Bus	To Bus	To Bow Thruster		PF	π
			P (W)	Q (VAr)		
3	3	4	80	56	0.83	33.90
4	3	5	132	351	0.34	70.12

Variasi 2

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage Drop	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	344.6667	33	8.684211
2	2	3	-	-	-
3	3	4	346.6667	33.33333	8.77193
4	3	5	347	33	8.684211

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses		Eff (%)
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	%	
1	1	3	316	237	-	-	6.3	1.98	98.02
2	2	3	-	-	-	-	-		
BUS 3			P (W)		310		Q (Var)	233	-
3	3	4	-	-	100	58	17.0	14.55	85.45
4	3	5	-	-	165	324	28.1		
total			316.40	237.30	265.00	381.70			

Branch	From Bus	To Bus	To Bow Thruster		PF	π
			P (W)	Q (VAr)		
3	3	4	100	58	0.87	29.54
4	3	5	165	324	0.470	61.97

Skenario 3 75%-75% 1 gen thruster, 1 diesel gen, 2 bow thruster

Vphase DG (V)		Vphase TG 2 (V)		Vline DG (V)		Vline TG (V)		Current DG (A)			Current TG (A)														
Vrn	Vtn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In								
205	206	209	205	205	208	205	375	375	374	378	375	373	1.7	1.63	2.06	1.1	1.04	1.05	2.07						
Vrn		Vsn		Vtn		Vrs		Vst		Vtr		Current DG in Bus 3 (A)			Current TG in Bus 3 (A)										
207		207		205		374		372		373		1.54			1.06			1			2				
Vrn		Vtn		Vsn		Vrs		Vst		Vtr		Current bus 4 (load 1) (A)			Current bus 5 (load 2) (A)										
206		206		206		373		371		372		370		0.31		0.28		0.25		0.77		0.75		0	
Vrn		Vtn		Vsn		Vrs		Vst		Vtr		Current bus 4 (ship) (A)			Current bus 5 (ship) (A)										
214		208		207		372		372		372		372		0.59		0.58		0.22							

Scenario 3 80%-80% 1 gen thruster, 1 diesel gen, 2 bow thruster

Vphase DG (V)		Vphase TG 2 (V)		Vline DG (V)		Vline TG (V)		Current DG (A)			Current TG (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Is	It	In	
204	206	204	204	204	204	374	371	370	373	373	372	2.4	1.7	1.7	2.1	1.08	1.04	1.04	1.9
Vphase in Bus 3		Vphase in Bus 3		Vline in Bus 3		Vline in Bus 3		Current DG in Bus 3 (A)			Current TG in Bus 3 (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Is	It	In				
202	204	202	202	372	372	372	372	370	1.2	1.8	1.71	2.6	1.02	1.1	2				
Vphase bus 4 (load 1) (V)		Vphase bus 5 (load 2) (V)		Vline bus 4 (load 1) (V)		Vline bus 5 (load 2) (V)		Current bus 4 (load 1) (A)			Current bus 5 (load 2) (A)								
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Is	It	In				
202	203	205	204	204	201	372	372	368	370	374	0.29	0.22	0.66	0.68	0.65	0			
Vphase bus 6 (ship) (V)		Vline bus 6 (ship) (V)		Current bus 4 (ship) (A)															
Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In										
214	208	207	372	374	371	0.59	0.6	0.58	0.22										

Pengolahan Skenario 3

Variasi 1

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Load		Losses	%losses	Eff
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	P	
1	1	3	920	690	-	-	17.4	1.89	98.11
2	2	3	684	513	-	-	12.9		
BUS 3			P (W)		1574		Q (Var)	1180	-
3	3	4	-	-	150	84	118.9	44.21	55.79
4	3	5	-	-	248	425	196.5		
5	3	6	-	-	480	192	380.4		
total			1604.1	1203.08	878.00	509.00	695.8		

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage (V)	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	374.67	7.00	1.84
2	2	3	375.33	7.00	1.84
3	3	4	371.67	8.33	2.19
4	3	5	370.67	9.33	2.46
5	3	6	372	8.00	2.11

Branch	From Bus	To Bus	To Bow Thruster		PF	π
			P (W)	Q (VAr)		
3	3	4	150	84	0.87	29.54
4	3	5	248	425	0.46	62.61

Variasi 2

Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Load		Losses	%losses	Eff
			P (W)	Q (VAr)	P (W)	Q (VAr)	P(W)	P	
1	1	3	1017	763	-	-	43.5	4.28	95.72
2	2	3	653	490	-	-	27.9		
BUS 3			P (W)		1599		Q (Var)	1199	-
3	3	4	-	-	160	82	123.0	43.46	56.54
4	3	5	-	-	264	462	202.9		
5	3	6	-	-	480	193	369.0		
total			1670.3	1252.76	904.00	544.00	694.9		

Branch	From Bus	To Bus	Avg Voltage	Voltage (V)	
				Drop (ΔV)	%Drop
1	1	3	371.67	8.67	2.28
2	2	3	372.67	8.67	2.28
3	3	4	370.67	9.33	2.46
4	3	5	371.33	8.67	2.28
5	3	6	372.3333	7.67	2.02

Branch	Variasi	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)	Q kapasitor (Var)	Xc Kapasitor	C (Farad)
3-4	75%-75%	361.0	50.5	12.36	10543.3	2.99E-07
	80%-80%	345.3	49.5	13.18	9045.0	3.56E-07
	85%-85%	341.7	49.5	4.76	24530.4	1.31E-07
	-	-	-	-	-	-
3-5	75%-75%	359.7	50.5	358.59	360.7	8.74E-06
	80%-80%	345.3	49.5	367.93	324.1	9.92E-06
	85%-85%	342.3	49.5	289.56	404.7	7.95E-06
	-	-	-	-	-	-

Skenario 1 Dengan Kapasitor

Skenario 1 60%-75%		2 generator thruster, 2 bow thruster															
leks 1 (A)	leks 2 (A)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	Rpm Gen1	Rpm Gen2												
Vphase Generation 1 (V)																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
214	213	212	214	212	210	376	376	371	376	376	371	376	376	373			
Vine Generation 1 (V)																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
214	213	212	214	212	210	376	376	371	376	376	371	376	376	373			
Vphase in Bus 3																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
213	210	210	210	210	210	373	370	372	373	370	372	373	370	372			
Current Gen 1 in Bus 3 (A)																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
0.28	0.26	0.26	0.24	0.32	0.26	0.24	0.54	0.52	0.46	0.54	0.49	0.24	0.25	0.27			
Current Gen 2 in Bus 3 (A)																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
0.36	0.27	0.27	0.24	0.45	0.49	0.45	0.51	0.49	0.45	0.51	0.49	0.24	0.25	0.27			
Current Bus 4 (load 1) (A)																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
0	0.38	0.38	0.2	0.2	0.2	2	0.79	0.38	0.2	0.79	0.38	0.53	0.45	0.59			
Current Bus 5 (load 2) (A)																	
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr			
0	0.59	0.59	0	0.53	0.59	0	0.53	0.59	0	0.53	0.59	0	0.53	0.59			

leks 1 (A)		leks 2 (A)		f1 (Hz)		f2 (Hz)		Rpm Gen1		Rpm Gen2	
Vphase Generation 1 (V)											
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr
211	209	208	210	208	208	370	370	368	370	371	367
Vline in Bus 3											
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr
209		207		206		366	368	366			
Current Generation 1 (A)											
			Ir	Is	It	In					
			0.3	0.35	0.3	0.57					
Current Generation 2 (A)											
			Ir	Is	It	In					
			0.3	0.35	0.3	0.44					
Vphase bus 5 (load 1) (V)											
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr
207	207	209	208	206	209	365	364	365	366	366	363
Current bus 5 (load 1) (A)											
			Ir	Is	It	In					
			0.73	0.73	0.64	0.83					
Vphase bus 4 (load 2) (V)											
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr
207	207	209	208	206	209	365	364	365	366	366	363
Current bus 4 (load 2) (A)											
			Ir	Is	It	In					
			0.73	0.73	0.64	0.83					
Current Bus 5 (Load 2) (A)											
			Ir	Is	It	In					
			0.73	0.73	0.64	0.83					
			0.64	0.64	0.65	0.59					
			0.31	0.29	0.31	0.38					
			0.38	0.31	0.38	0.38					
			0.38	0.31	0.38	0.38					
			0.38	0.31	0.38	0.38					

Skenario 1.100%-100% 2 generator thruster, 2 bow thruster

leks 1 (A)		f1 (Hz)		Rpm Gen1	Rpm Gen2

Vphase Generation 1 (V)		Vphase Generation 2 (V)		Vline Generation 1 (V)		Vline Generation 2 (V)		Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)					
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vr	Is	It	In	Ir	Is	It	In
208	207	209	208	205	208	365	365	362	363	0.67	0.75	0.57	0.25	0.33	0.25	0.38
Vphase in Bus 3		Vphase in Bus 3		Vline in Bus 3		Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)							
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vr	Is	It	In	Ir	Is	It	In
206	205	205	25	363	363	363	363	362	0.6	0.7	0.7	0.58	0.27	0.26	0.29	0.36
Vphase bus 4 (load 1) (V)		Vphase bus 5 (load 2) (V)		Vline bus 4 (load 1) (V)		Vline bus 5 (load 2) (V)		Current bus 4 (load 1) (A)			Current Bus 5 (Load 2) (A)					
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vr	Is	It	In	Ir	Is	It	In
205	25	207	205	204	207	360	363	363	0.33	0.32	0.86	0.88	0.68	0.71	0.6	0

Skenario 2 dengan kapasitor

Skenario 2 40%-40%												1 generator, thruster, 2 bow thruster							
leks 1 (A)	leks 2 (A)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	Rpm Gen1	Rpm Gen2														
219	220	221	-	-	-														
Vphase Generation 1 (V)						Vline Generation 1 (V)						Current Generation 1 (A)							
Vrn	Vsn	Vtn	Vm	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
	220	221				376	376	376	376	-	-	0.8	0.47	1.1	1.3	-	-	-	-
Vphase in Bus 3						Vline in Bus 3						Current Gen 1 in Bus 3 (A)							
Vrn	Vsn	Vtn				Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
215	220	220				374	375	373				0.7	0.53	1	1.4	-	-	-	-
Vphase bus 4 (load 1) (V)						Vline bus 4 (load 1) (V)						Current bus 4 (load 1) (A)							
Vrn	Vsn	Vtn	Vm	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
220	217	213	217	218	218	371	371	372	372	372	372	0.74	0.14	0.22	1.46	1.2	0.5	0.66	0
Vphase bus 5 (load 2) (V)						Vline bus 5 (load 2) (V)						Current Bus 5 (Load 2) (A)							
Vrn	Vsn	Vtn	Vm	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
220	217	213	217	218	218	371	371	372	372	372	372	0.74	0.14	0.22	1.46	1.2	0.5	0.66	0

Skenario 2, 60%-60%										1 generator thruster, 2 bow thruster									
Ieks 1 (A)	Ieks 2 (A)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	Rpm Gen1	Rpm Gen2														
Vphase Generation 1 (V)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
212	218	218	-	-	-	368	376	372	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vphase in Bus 3																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
211	215	215	210	210	210	367	370	374	370	370	374	370	370	374	370	370	374	370	370
Vphase bus 4 (load 1) (V)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Vphase bus 5 (load 2) (V)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Vphase bus 5 (load 1) (A)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Current Generation 1 (A)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Current Generation 2 (A)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Current Gen 1 in Bus 3 (A)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Current Gen 2 in Bus 3 (A)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366
Current Bus 5 (load 2) (A)																			
Vrn	Vsn	Vtn	Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst
217	215	210	217	216	211	367	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	363	363	366

Skenario 3 dengan kapasitor

Skenario 3 75%-75%		1 gen thruster, 1 diesel gen, 2 bow thruster																				
Ie1s 1 (A)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	Rpm Gen1 Rpm Gen2																			
210	210	210	Vsn	Vtn	Vrn	Vphase Generation 1 (V)			Vline Generation 1 (V)			Vline Generation 2 (V)			Current Generation 1 (A)			Current Generation 2 (A)				
			Vsn	Vtn	Vrn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
			210	210	210	380	382	378	380	377	383	380	377	383	2.26	1.61	1.83	3.9	1.26	1.35	1.52	3.84
			Vphase in Bus 3			Vline in Bus 3									Current Gen 1 in Bus 3 (A)			Current Gen 2 in Bus 3 (A)				
			Vrn	Vsn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
			209	209	208	380	380	381	380	379	379	381	379	379	1.63	1.68	1.68	3.5	1.19	1.33	1.48	3.3
			Vphase bus 4 (load 1) (V)			Vline bus 4 (load 1) (V)			Vline bus 5 (load 2) (V)			Current bus 4 (load 1) (A)			Current bus 5 (load 2) (A)							
			Vrn	Vtn	Vrn	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In	Ir	Is	It	In
			206	208	209	380	378	380	380	379	380	380	379	380	0.25	0.3	0.3	1.19	0.76	0.86	0.76	0
			Vphase bus 6 (ship) (V)			Vline bus 6 (ship) (V)			Current bus 4 (ship) (A)													
			Vrn	Vtn	Vrs	Vst	Vtr	Ir	Is	It	In											
			214	208	207	379	384	383	0.59	0.6	0.58	0.22										

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Bandung pada tanggal 1 Februari 1998 dengan nama Raden Catur Rizaldi Fitriawan dan merupakan anak keempat dari empat bersaudara pasangan Gandy Hermawan dan Maqdhesy Zawawi. Penulis menempuh pendidikan mulai dari SD Rajamandala 1, Kabupaten Bandung (2003-2009), SMPN 40 Bandung (2010-2012), dan SMA Negeri 2 Bandung (2013-2015), setelah lulus dari bangku SMA, penulis memutuskan untuk kuliah di luar kota dan diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Mandiri dan Kemitraan. Selama menempuh masa studi penulis aktif di kepanitiaan kegiatan jurusan. Diantaranya menjadi staff dari Closing Event Marine Icon 2017, Koordinator Closing Event Marine Icon 2018, anggota aktif HIMASISKAL FTK-ITS, member Marine Electrical and Automation System Laboratory, dan aktif sebagai asisten laboratorium MEAS. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Lamongan Marine Industry, dan PT. Dirgantara Indonesia (Persero).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”