



TUGAS AKHIR – ME 184834

**SIMULASI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL
DYNAMIC POSITIONING MENGGUNAKAN MATLAB**

Ranndy Zakaria Ar-Razy
NRP 0421134000046

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

Dosen Pembimbing 2
Juniarko Prananda, ST., MT.

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



TUGAS AKHIR – ME 144834

SIMULASI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL DYNAMIC POSITIONING MENGGUNAKAN MATLAB

Randy Zakaria Ar-Razy
NRP 0421134000046

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

Dosen Pembimbing 2
Juniarko Prananda, ST., MT.

.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS – ME 144834

***SIMULATION OF POWER FLOW IN DYNAMIC POSITIONING SHIP
ELECTRICAL SYSTEM USING MATLAB***

Randy Zakaria Ar-Razy
NRP. 0421134000046

Supervisor 1 :
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Supervisor 2 :
Juniarko Prananda, ST., MT.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL
DYNAMIC POSITIONING MENGGUNAKAN MATLAB**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

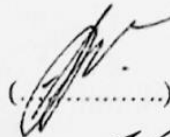
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Randy Zakaria Ar-Razy
NRP. 0421134000046

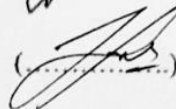
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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



(.....)

Juniarko Prananda, ST. MT.
NIP. 1990 0605 2015 04 1001



(.....)

SURABAYA
JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL
DYNAMIC POSITIONING MENGGUNAKAN MATLAB**

SKRIPSI

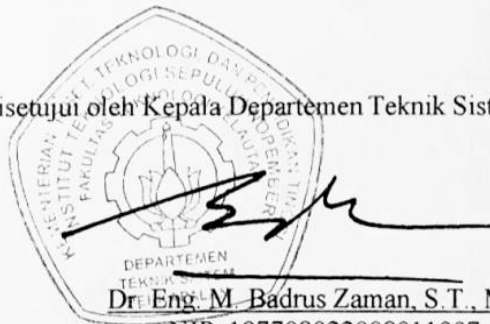
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

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

Oleh :

Ranndy Zakaria Ar-Razy
NRP. 0421134000046

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SIMULASI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL DYNAMIC POSITIONING MENGGUNAKAN MATLAB

Nama Mahasiswa : Ranndy Zakaria Ar-Razy
NRP. : 0421134000046
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing I : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Dosen Pembimbing II : Juniarko Prananda, ST. MT.

ABSTRAK

Dynamic Position merupakan sistem pengendalian yang dapat mengatur posisi kapal secara otomatis dengan menggunakan mekanisme baling-baling, thruster, sensor posisi yang dikombinasikan dengan sensor angin dan sensor gerak yang memberikan informasi pada komputer yang berhubungan langsung dengan posisi kapal. Pada Penelitian ini dilakukan simulasi aliran daya sistem kelistrikan tertutup pada kapal *dynamic positioning* menggunakan software matlab yang bertujuan untuk mengetahui aliran daya listrik yang ditransfer dari generator ke beban yang berupa nilai daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada generator ataupun beban, mengetahui nilai rugi daya yang ada pada sistem kelistrikan apakah memenuhi batas-batas yang telah ditentukan, dan mendapatkan solusi pada permasalahan yang timbul. Setelah dilakukan simulasi pada software matlab pada Skenario ke satu (dengan variasi beban 60% dan 75%) diketahui daya generator yang harus dikeluarkan untuk menyuplai beban adalah 362 kW dan 165 kVar sementara pada sisi beban (bow thruster) dengan variasi diketahui 309 kW dan 141 kVar untuk beban 60%, 385 kW dan 175 kVar untuk beban 75%. Diketahui nilai rugi daya pada jalur bus 1-3 7,54 kW (P) dan 3,43 kVAr (Q) dan *drop voltage* sebesar 4,39% untuk *bow thruster* 2. Metode perbaikan dilakukan dengan metode pergantian kabel. Kabel diubah, dari keadaan awal kabel dengan diameter 70 mm² dengan $Z = 0,325 \Omega/\text{km}$ diubah menjadi 95 mm² untuk diameternya dan $Z = 0,248 \Omega/\text{km}$. Upaya tersebut meminimalkan rugi daya (*losses*) yang terjadi pada skenario satu dengan variasi beban 100%, yang awalnya 17,09 kW (P) menjadi 9,03 kW (P). Perbaikan juga dilakukan dengan penambahan kapasitor, daya kapasitor yang dibutuhkan 65,405 kVar. Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapasitor, nilai *losses* daya sebesar 4,87% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Kata kunci : *Dynamic Positioning System, Load Flow Analysis, Losses*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SIMULATION OF POWER FLOW IN DYNAMIC POSITIONING SHIP ELECTRICAL SYSTEM USING MATLAB

Name : **Ranndy Zakaria Ar-Razy**
NRP. : **0421134000046**
Department : **Marine Engineering**
Supervisor I : **Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**
Supervisor II : **Juniarko Prananda, ST. MT.**

Abstract

Dynamic Position is a control system that can regulate the position of the ship automatically using a propeller mechanism, thruster, position sensor combined with wind sensors and motion sensors that provide information on a computer that is directly related to the position of the ship. In this research, the simulation of closed electrical system power flow on dynamic positioning vessels using Matlab software which aims to determine the electric power flow transferred from the generator to the load in the form of active power values (P) and reactive power (Q) on the generator or load, knowing the value of power losses that exist in the electricity system does meet the prescribed limits, and get a solution to the problems that arise. After simulating the Matlab software in the first scenario (with load variations 60% and 75%), it is known that the generator power to be supplied to supply the load is 362 kW and 165 kVar while on the load side (bow thruster) with variations known to 309 kW and 141 kVar for loads of 60%, 385 kW and 175 kVar for loads of 75%. It is known that the power loss value on bus lines 1-3 is 7.54 kW (P) and 3.43 kVAr (Q) and drop voltage is 4.39% for bow thruster 2. The method of repair is done by the cable switching method. The cable is changed, from the initial state the cable with a diameter of 70 mm² with Z = 0.325 Ω / km is changed to 95 mm² for its diameter and Z = 0.248 Ω / km. These efforts minimize power losses (losses) that occur in scenario one with a load variation of 100%, which initially is 17.09 kW (P) to 9.03 kW (P). Improvements are also made by adding capacitors, the required capacitor power is 65.405 kVar. From the results of the analysis of power flow after the addition of capacitors, the power losses value is 4.87% and is still within the limits according to the IEEE standard, namely power losses $\geq 30\%$. And it can be said that power efficiency in this loading variation reaches 95% and is still within the limits according to the IEEE standard of $\geq 50\%$.

Keywords: Dynamic Positioning System, Load Flow Analysis, Losses

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah – Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Aliran Daya Pada Sistem Kelistrikan Kapal Dynamic Positioning Menggunakan Matlab” dengan baik dalam rangka memenuhi syarat pada Mata Kuliah Skripsi (ME144834) Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya Mama dan Ayah, beserta kakek dan adik yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral dan material kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Semin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala dan Sekretaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Bapak Prof. Semin, ST, MT, P.hd selaku dosen wali yang terus memotivasi dan memberikan masukan kepada penulis selama melaksanakan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak masukan selama proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Juniarko Prananda, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak masukan selama proses penyusunan skripsi.
6. Seluruh teknisi, member dan grader Laboraturium Marine Electrical and Automation System (MEAS) yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
7. Kepada **Pak Agus** (Teknisi Lab MEAS), **Pak Heru** (Teknisi Lab MEAS), **Abdil Jabar** (elektro 2012), **Ichsan** (elektro 2012), **Ilham Wijaya Putra** (2013), **Nova Alfian** (2013), **Candra Hasan** (2013), **Yetty Dwi Setiyarti** (2012), **Shela Januarti** (2013), teman-teman **HIMANDHES**, dan teman-teman **SUKSES ITS**, terima kasih atas kerjasama dan hiburanya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan.
8. Seluruh teman-teman **BARAKUDA 13** (Barisan Arek Siskal Ulet Disiplin dan Amanah) yang telah 4 tahun lebih ini berbagi suka cita bersama. Semoga sukses mengejar impiannya masing-masing.
9. Kepada semua pihak yang berkontribusi terhadap selesainya Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap kritik dan saran yang bersifat membangun demi penelitian terkait di waktu mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca.

Surabaya, 30 Juli 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
4.1. Latar Belakang.....	1
4.2. Perumusan Masalah.....	2
4.3. Batasan Masalah.....	2
4.4. Tujuan.....	2
4.5. Manfaat.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Kapal AHTS BNI CASTOR.....	3
2.2. <i>Dynamic Positioning</i>	4
2.2.1. Element umum pada <i>dynamic positioning system</i>	6
2.2.2. Mode operasi pada <i>dynamic positioning system</i>	8
2.2.3. Klasifikasi <i>dynamic positioning system</i>	8
2.2.4. Sistem thruster dengan <i>dynamic positioning system</i>	10
2.3. Sistem kelistrikan kapal.....	10
2.3.1. Motor Listrik.....	11
2.3.2. Prinsip kerja motor induksi 3 phase.....	12
2.4. Load flow analysis.....	12
2.4.1. Standar tegangan jatuh.....	14
2.4.2. Perbaikan tegangan jatuh.....	15
2.5. Software simulasi matlab (matrix laboratory).....	16
BAB III.....	17
METODOLOGI.....	17
3.1. Identifikasi Masalah.....	17
3.2. Studi Literatur.....	17
3.3. Pengumpulan Data.....	17
3.4. Proses.....	17
3.5. Hasil dan Pembahasan.....	17
3.6. Kesimpulan dan Saran.....	18
3.7. Jadwal Pelaksanaan.....	18
BAB IV.....	21
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Pengumpulan Data.....	21
4.2. Data utama kapal.....	21
4.2.1. Spesifikasi komponen.....	22
4.3. Single line diagram kapal AHTS BNI CASTOR.....	23

4.4. Perencanaan skenario konfigurasi suplai daya menuju beban listrik Kapal AHTS BNI Castor.....	24
4.5. Simulasi <i>software matlab</i>	28
4.6. Analisa Hasil Simulasi <i>Software Matlab</i>	30
4.7. Perhitungan Manual <i>Loadflow Analysis</i>	62
4.8. Perbaikan	66
4.8.1 Perbaikan pergantian kabel	66
4.8.2. Perbaikan penambahan kapasitor	68
BAB V	91
KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1. Kesimpulan	91
5.2. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93
LAMPIRAN	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal AHTS BNI CASTOR.....	3
Gambar 2.2 Derajat Kebebasan Pada Kapal.....	5
Gambar 2.3 Diagram Skematik dari Sistem <i>Dynamic Positioning</i> (1).....	6
Gambar 2.4 Diagram Skematik dari Sistem <i>Dynamic Positioning</i> (2).....	7
Gambar 2.5 Layout Thruster Kapal Dengan DP System	10
Gambar 2.6 Diagram Klasifikasi Jenis – jenis Motor Listrik.....	11
Gambar 2.7 Standar <i>Drop Voltage IEC</i>	14
Gambar 2.8 Standar Tegangan Jatuh Berdasarkan BKI.....	14
Gambar 2.9 Perbaikan factor daya	15
Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian	17
Gambar 4.1 Kapal BNI CASTOR.....	21
Gambar 4.2 <i>Electrical schematic digram</i> Kapal AHTS BNI Castor.....	24
Gambar 4.3 <i>Flowchart</i> pengerjaan matlab	28
Gambar 4.4 Grafik rugi daya pada skenario 1.....	35
Gambar 4.5 Grafik <i>drop voltage</i> pada skenario 1	36
Gambar 4.6 Grafik rugi daya pada skenario 2.....	40
Gambar 4.7 Grafik <i>drop voltage</i> pada skenario 2	41
Gambar 4.8 Grafik rugi daya pada skenario 3.....	48
Gambar 4.9 Grafik <i>drop voltage</i> pada skenario 3	48
Gambar 4.10 Grafik rugi daya pada skenario 4.....	55
Gambar 4.11 Grafik <i>drop voltage</i> pada skenario 4	56
Gambar 4.12 Grafik rugi daya pada skenario 5.....	61
Gambar 4.13 Grafik <i>drop voltage</i> pada skenario 5	61
Gambar 4.14 <i>Diagram Loadflow Analysisi Skenario 1 (Iterasi 1)</i>	63
Gambar 4.15 Hasil <i>Loadflow Analysisi Skenario 1 (Iterasi 1)</i>	66
Gambar 4.16 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 1	76
Gambar 4.17 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT1 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 1	76
Gambar 4.18 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT2 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 1	77
Gambar 4.19 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 2.....	79
Gambar 4.20 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 2	80
Gambar 4.21 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 3.....	82
Gambar 4.22 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT1 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 3	83
Gambar 4.23 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT2 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 3	83
Gambar 4.24 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 4.....	85

Gambar 4.25 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT1 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 4.....	86
Gambar 4.26 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT2 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 4.....	86
Gambar 4.27 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 5.....	88
Gambar 4.28 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 5	89

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Variasi Beban pada skenario 1	25
Tabel 4.2 Variasi Beban pada skenario 2	25
Tabel 4.3 Variasi Beban pada skenario 3	26
Tabel 4.4 Variasi Beban pada skenario 4	26
Tabel 4.5 Variasi Beban pada skenario 5	27
Tabel 4.6 Penjelasan Suplai dan Beban per Skenario	27
Tabel 4.7 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 60%-75%.....	30
Tabel 4.8 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 100%-80%.....	32
Tabel 4.9 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 100%-100%.....	33
Tabel 4.10 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 110%-110%.....	34
Tabel 4.11 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 1	35
Tabel 4.12 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 2 variasi 40%-40%.....	37
Tabel 4.13 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 2 variasi 50%-50%.....	38
Tabel 4.14 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 2 variasi 60%-60%.....	39
Tabel 4.15 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 2	40
Tabel 4.16 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 60%-75%.....	42
Tabel 4.17 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 100%-80%.....	43
Tabel 4.18 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 100%-100%.....	44
Tabel 4.19 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 110%-110%.....	45
Tabel 4.20 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 3	47
Tabel 4.21 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 60%-75%.....	49
Tabel 4.22 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 100%-80%.....	50
Tabel 4.23 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 100%-100%.....	52
Tabel 4.24 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 110%-110%.....	53
Tabel 4.25 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 4	54
Tabel 4.26 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 5 variasi 75%-75%.....	57
Tabel 4.27 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 5 variasi 80%-80%.....	58
Tabel 4.28 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 5 variasi 85%-85%.....	59
Tabel 4.29 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 5	60
Tabel 4.30 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 100%-100%	67
Tabel 4.31 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 100%-100% Setelah Perbaikan Pergantian Kabel	68
Tabel 4.32 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 100%-100% Sebelum dan Setelah Perbaikan Pergantian Kabel	68
Tabel 4.33 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 60%-75% setelah perbaikan penambahan kapasitor	71
Tabel 4.34 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 100%-80% setelah perbaikan penambahan kapasitor	73
Tabel 4.35 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 100%-100% setelah perbaikan penambahan kapasitor	74
Tabel 4.36 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 1 Variasi 110%-110% setelah perbaikan penambahan kapasitor	75
Tabel 4.37 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 2 Variasi 60%-60% setelah perbaikan penambahan kapasitor	78

Tabel 4.38 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 3 Variasi 60%-75% setelah perbaikan penambahan kapasitor	81
Tabel 4.39 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 4 Variasi 100%-100% setelah perbaikan penambahan kapasitor	84
Tabel 4.40 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya Skenario 5 Variasi 85%-85% setelah perbaikan penambahan kapasitor	87

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara maritim terbesar di kawasan Asia Tenggara. Hampir semua kegiatan ekspor dan impor menggunakan media transportasi laut. Saat ini kebutuhan listrik di kapal sangat tinggi, karena hampir semua aktivitas di kapal membutuhkan listrik. Kapal sendiri memiliki beberapa kondisi yaitu berlayar (sailing), bermanuver (maneuvering), bongkar muat (cargo handling) dan lego jangkar (anchoring) semua membutuhkan konsumsi listrik yang besar, terutama pada saat kapal dalam kondisi bermanuver (maneuvering) dan bongkar muat (cargo handling).

Dynamic Positioning (DP) System merupakan teknologi terbaru di dunia maritime, dewasa ini yang dipergunakan untuk mendukung pekerjaan kapal yang melayani kegiatan pengeboran minyak dan gas dilaut lepas. Setiap kegiatan pengeboran minyak dilepas pantai tidak terlepas dari peranan kapal-kapal yang melayaninya, seperti Offshore Support Vessel (OSV). Dimana antara satu OSV dengan yang lain mempunyai tugas yang berbeda beda sesuai dengan konstruksinya. Misalnya AHTS (Anchor Handling Towing Supply Vessel), PSV (Platform Support Vessel), DSV (Diving Support Vessel), Survey Vessel dan Crew Boat. Selain dari kelima jenis OSV tersebut, masih ada yang lain yang bertugas untuk melayani kebutuhan Rig baik yang dioperasikan secara konvensional maupun juga yang dioperasikan dengan menggunakan teknologi Dynamic Positioning System. Semua jenis OSV tersebut dituntut untuk dapat berolah gerak dengan baik.

Dynamic Position pada sebuah kapal merupakan sistem pengendalian komputer yang dapat mengatur posisi kapal secara otomatis dengan menggunakan mekanisme baling-baling, thruster, sensor posisi yang dikombinasikan dengan sensor angin dan sensor gerak yang memberikan informasi pada komputer yang berhubungan langsung dengan posisi kapal dan keadaan cuaca yang mempengaruhinya. Dengan adanya peralatan Dynamic Positioning di kapal, membuat kapal mampu mempertahankan posisi secara otomatis sehingga mampu bertahan di posisi yang sama sedekat mungkin dengan segala fasilitas pengeboran atau produksi minyak & gas di lepas pantai. Hal tersebut akan membuat operasi bongkar muat menjadi lebih aman untuk kru dan efisien dalam hal waktu karena seorang nakhoda tidak perlu lagi berjam-jam manuver saat proses bongkar muat atau dalam kegiatan operasi lepas pantai.

Oleh karena itu, dibutuhkan aliran daya yang baik agar tidak terjadi kerusakan pada komponen listrik khususnya motor listrik sebagai komponen inti *dynamic positioning system*. Analisis Aliran Daya Listrik (Load Flow) adalah suatu studi untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik, mengetahui aliran daya listrik yang ditransfer dari generator kepada beban-beban listrik yang melewati grid system dengan stabil, keandalan penuh, dan ekonomis. Dalam perkembangannya, industri membutuhkan tenaga listrik yang besar dan menggunakan peralatan listrik sebagai alat produksi. Manfaat dari adanya analisis aliran daya listrik adalah untuk mengetahui besarnya daya dalam sistem tenaga listrik apakah masih memenuhi batas-batas yang telah ditentukan, serta untuk mengetahui besar Losses yang ada.

Metode komputasi yang sering dipakai untuk menyelesaikan perhitungan aliran beban antara lain metode Newton Raphson, Fast Decoupled, dan Gauss Seidel. Metode Newton-Raphson secara matematis lebih baik dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel, karena memiliki sifat kovergensi kuadratik. Untuk sistem yang besar, metode Newton Raphson jauh lebih efisien dan lebih praktis. Banyaknya iterasi yang diperlukan dengan metode Newton-Raphson yang menggunakan admitansi bus, praktis tidak tergantung pada banyaknya bus.

I.2. Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka rumusan masalah dari tugas akhir ini yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

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

I.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah perlu dilakukan agar penelitian ini tidak menyimpang dari tujuan utamanya. Adapun batasan masalah yang peneliti tetapkan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- 1.3.1. Pengelolaan menggunakan software matlab, tidak membahas secara fisik
- 1.3.2. Pembahasan hanya pada kapal Anchor Handling Tug Supply BNI Castor
- 1.3.3. Metode yang sudah ditentukan hanya digunakan semata untuk kebutuhan penelitian, tidak akan mengubah yang sudah ada dilapangan.

I.4. Tujuan

Adapun penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

- I.4.1. Mengetahui nilai daya aktif, daya reaktif pada operasional *dynamic positioning* pada kapal AHTS
- I.4.2. Mengetahui nilai rugi daya (losses) dan drop tegangan yang ada pada operasional *dynamic positioning* pada kapal AHTS
- I.4.3. Mendapatkan solusi pada permasalahan yang timbul pada operasional *dynamic positioning* pada kapal AHTS

I.5. Manfaat

Dengan dilaksanakannya studi atau kajian standarisasi ini, diharapkan:

- 1.5.1. Dapat mengetahui nilai daya aktif, daya reaktif pada operasional *dynamic positioning* pada kapal AHTS
- 1.5.2. Mengetahui nilai rugi daya (losses) dan drop tegangan yang ada pada operasional *dynamic positioning*
- 1.5.3. Mendapatkan solusi pada permasalahan yang timbul pada operasional *dynamic positioning* pada kapal AHTS
- 1.5.4. Dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi dalam penulisan tugas akhir selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kapal AHTS BNI CASTOR



Gambar 2.1 *Kapal AHTS*
(sumber:<https://janutaka.wordpress.com/2015/04/10/25/>)

AHTS merupakan sebuah kapal yang didesain secara khusus untuk menunjang operasional pada sistem bangunan lepas pantai. Kapal ini memiliki karakteristik yang sangat spesifik, terlebih lagi harus bisa beroperasi di lingkungan yang sangat ekstrim. Oleh karena itu performa dari kapal sangat dipertimbangkan dalam proses perancangan.

Desain dari kapal AHTS sangat bervariasi, tergantung track record dari Ship Builder dan area operasi dari kapal AHTS itu sendiri. Secara umum kapal AHTS dapat dikategorikan sebagai berikut : North European Anchor Handling Tug, American Anchor Handling Tug dan Anchor Handling Tug and Supply Vessel. Meskipun desain dari AHTS sangat bervariasi tergantung akan kebutuhan, namun secara umum fungsi, sistem dan peralatan pada kapal hampir sama pada sebagian besar kapal. Berikut adalah kriteria operasional sebuah kapal AHTS:

- Desain lambung kapal yang memberikan cargo deck area pada bagian belakang, hal ini memungkinkan untuk membawa muatan/ peralatan dari suatu platform atau menuju platform serta area yang terbuka pada bagian belakang untuk operasional anchore handling.

Bentuk Hull yang meminta perhatian lebih guna menjaga maneuverability saat kapal pada operasional slow speed atau keadaan diam (statis). Tingginya luas area yang terkena terpaan angin merupakan kekurangan tersendiri bagi kapal AHTS saat melakukan penyebaran dan pengambilan jangkar ataupun ketika pengoperasian towing.

II.2 DYNAMIC POSITIONING

Dynamic Positioning (DP) System merupakan teknologi terbaru didunia maritim dewasa ini yang dipergunakan untuk mendukung pekerjaan kapal kapal yang melayani kegiatan pengeboran minyak dan gas dilaut lepas. Setiap kegiatan pengeboran minyak dilepas pantai tidak terlepas dari peranan kapal-kapal yang melayaninya, seperti *Offshore Support Vessel* (OSV). Dimana antara satu OSV dengan yang lain mempunyai tugas yang berbeda beda sesuai dengan konstruksinya. Misalnya AHTS (*Anchor Handling Towing Supply Vessel*), PSV (*Platform Support Vessel*), DSV (*Diving Support Vessel*), *Survey Vessel* dan *Crew Boat*. Selain dari kelima jenis OSV tersebut, masih ada yang lain yang bertugas untuk melayani kebutuhan Rig baik yang dioperasikan secara konvensional maupun juga yang dioperasikan dengan menggunakan teknologi Dynamic Positioning System. Semua jenis OSV tersebut dituntut untuk dapat berolah gerak dengan baik.

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

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

Dynamic Positioning (DP System) adalah suatu sistem yang terdiri dari peralatan serta sistem kerja yang bekerja bersama dalam upaya untuk mencapai suatu kemampuan menjaga posisi (*position keeping*) yang sesuai dan andal. DP system pada umumnya terdiri dari power system, thruster sistem (pendorong) dan sistem pengendali (DP control syatem). Dengan DP system, suatu unit atau kapal akan mempunyai kemampuan untuk menjaga posisinya tetap stabil pada suatu titik tertentu (*fixed or predetermined location*) dengan peralatan pengendali daya dorong (*control thrust*).

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

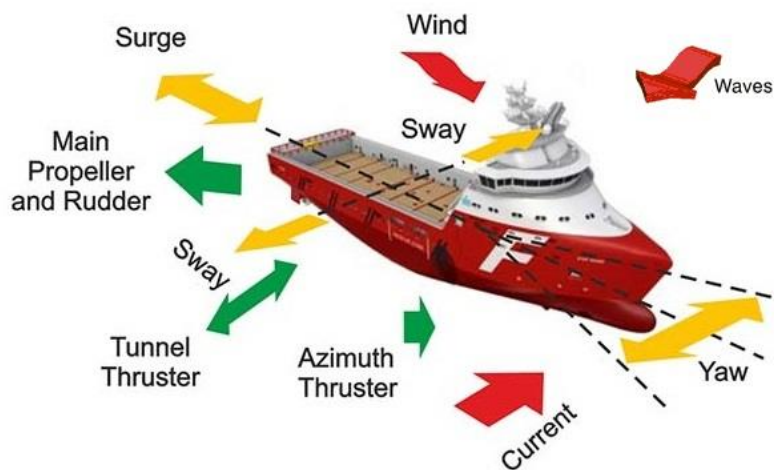
Terdapat gaya internal maupun eksternal yang bekerja pada kapal, yang membuat kapal memiliki 6 derajat kebebasan di laut, suatu kapal dapat bergerak ke 6 sumbu gerak, antara lain ; tiga gerakan secara translasi, diilustrasikan pada gambar dibawah.

- *surge(forward/astern)*
- *sway (starboard/port)*
- *heave (up/down)*

serta tiga gerakan secara rotasi :

- *roll* (rotation about surge axis)
- *pitch* (rotation about sway axis)
- *yaw* (rotation about heave axis)

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



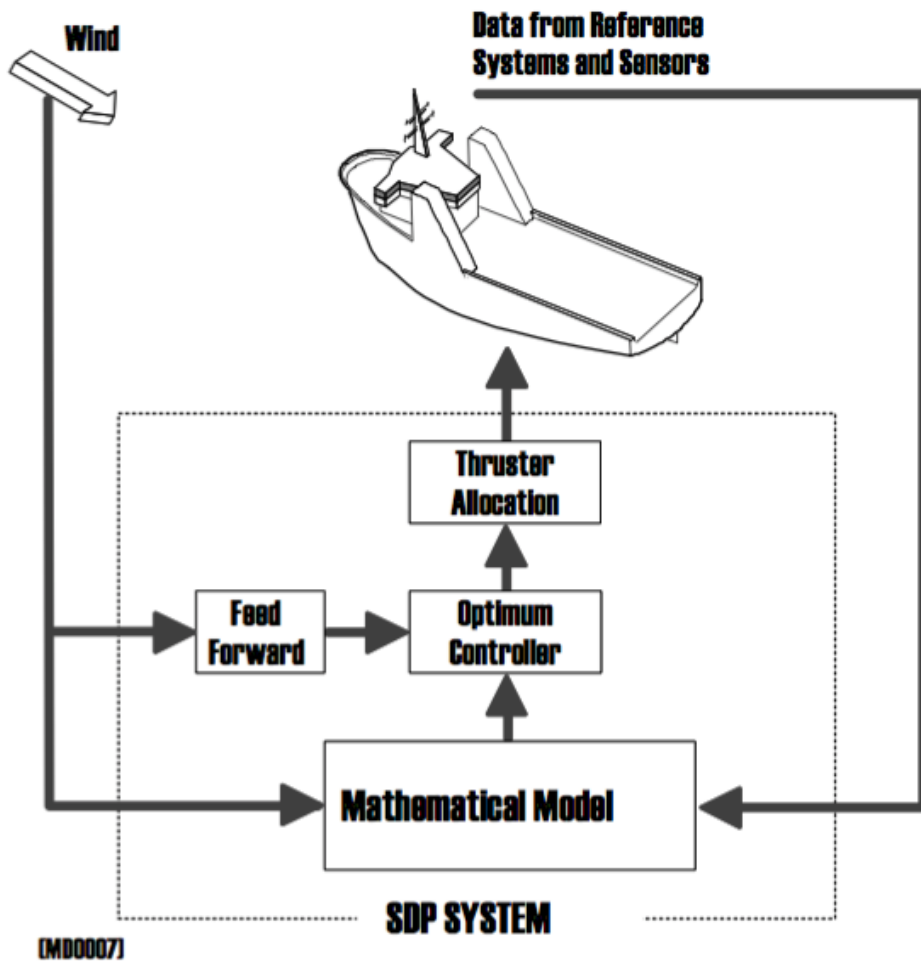
Gambar 2.2 Derajat Kebebasan Pada Kapal

(sumber: <http://www.google.com/dynamic+positioning>)

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

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

Sistem DP memiliki suatu program komputer yang membuat pergerakan *surge*, *sway* and *yaw* dapat dengan otomatis di kontrol, untuk menjaga posisi kapal atau bangunan laut lainnya. Komputer tersebut akan mendapatkan data dari *references and sensors* dan membandingkan dengan *pre-set data*. Lalu sistem kontrol DP akan mengontrol sistem propulsi untuk mengeliminasi error-error diantara posisi aktualnya dan *heading* data dan *pre-set data* (Li, 2013). Prosedur pekerjaan sistem DP secara simple diilustrasikan pada gambar dibawah



Gambar 2.3 Diagram skematik dari sistem dynamic positioning (1)

(sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_positioning)

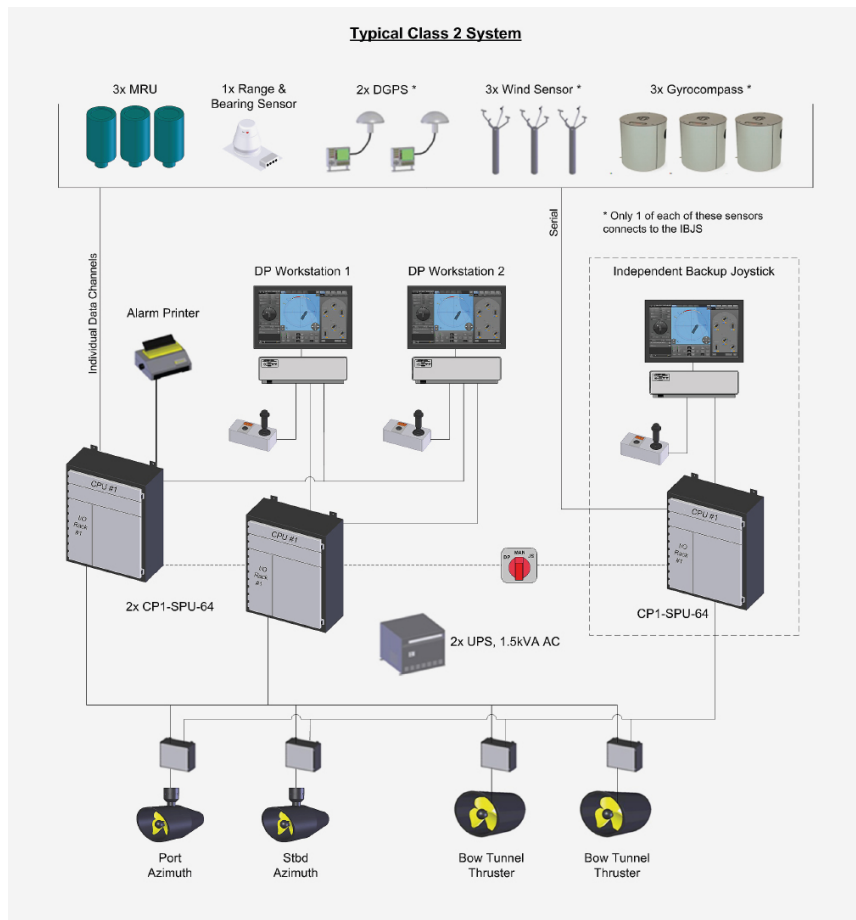
II.2.1 Elemen umum pada *dynamic positioning*

Dynamic positioning system terdiri dari 3 bagian utama yaitu ;

- *DP control system* : terdiri dari beberapa sub system yaitu : control system *dynamic positioning*; sistem sensor-sensor; *display system*; *associated cabling* dan *positioning refrence system*.
 - ✓ *Positioning refrence system*, system ini menyediakan seluruh data referensi system DP, seperti system DGPS, *taut wire position refrence system*, dan *acoustic position refrence systems*.
- *Power systems*: seluruh komponen dan system yang penting untuk menyuplai daya menuju system DP. System power terdiri dari : *prime*

movers dengan system pendukung yang penting lainnya; generator; *switchboards*; *uninterruptable power supplies* dan baterai; system distribusi; *power management system*(Lloyd rules).

- *Thruster System* : umumnya, terdapat dua buah jenis yang biasa digunakan pada kapal dengan system DP : *tunnel thruster* dan *azimuth thruster*. Sebuah *azimuth thruster* dapat memberikan gaya pada 360 derajat pergerakan. Disamping *thruster* sendiri, *thruster system* juga termasuk *control part* dan *power supply part* (Li, 2013).



Gambar 2.4 Diagram skematik dari sistem dynamic positioning (2)

(Sumber : https://www.youtube.com/watch?v=_RD_dehNnp0&t=42s)

1. Seorang operator DP (STC OOW Minimum)
2. Sebuah DP controller computer
3. Man machine interface or DP desk
4. Power generation system & switchboard
5. Thrsters and motors (station keeping)
6. 2 refrence systems for position (PRS) (surge,sway)

7. *Gyrocompass for heading (yaw)*
8. *Motion Reference Units (MRU) (heave, pitch, roll)*
9. *Sensor lingkungan (i.e. wind sensors)*
10. *Feedback to the controller (The model)*
11. *Backup Uninterruptable Power Supply (UPS)*
12. *Communications system*
13. *System alarms dan alarmed printer*
14. *Alerting or alarm system traffic lights.*

II.2.2 Mode Operasi pada *Dynamic Positioning System*

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

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

II.2.3. Klasifikasi *Dynamic Positioning System*

Berdasarkan publikasi IMO (*International Maritime Organization*) 645, Perhimpunan Klasifikasi telah mengeluarkan peraturan untuk *Dynamic Positioned Ships* yang dideskripsikan sebagai Kelas 1, Kelas 2 dan Kelas 3. Pengklasifikasian ini didasarkan kepada redundansi, dengan 3 unsur utama konsep redundansi, yaitu:

- Performance
- Protection
- Detection

Kelas Peralatan (EC) 1 tidak memiliki redundansi. Hilangnya posisi dapat terjadi jika terjadi kesalahan tunggal.

Peralatan Kelas 2 memiliki redundansi sehingga tidak ada kesalahan tunggal pada sistem yang aktif yang akan menyebabkan sistem gagal. Kehilangan posisi tidak boleh terjadi dari kesalahan tunggal komponen atau sistem aktif seperti generator, *thruster*, *switchboards*, katup pengontrol jarak jauh, dsb. Tetapi mungkin terjadi setelah kegagalan komponen statis seperti kabel, pipa, katup manual, dll. Peralatan Kelas 3, yang juga harus tahan api atau banjir di salah satu kompartemen tanpa sistem gagal. Hilangnya posisi tidak boleh terjadi dari kegagalan apapun termasuk bagian yang terpisah di kompartemen berbeda.

IMO mengeluarkan keputusan dimana *Class* berlaku untuk jenis operasi apa terhadap operator kapal DP dan kliennya, Norwegian Maritime Directorate (NMD) telah menentukan Kelas apa yang harus digunakan sehubungan dengan risiko sebuah operasi. Dalam Panduan NMD dan Catatan No. 28, telah menentukan empat klasifikasi

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

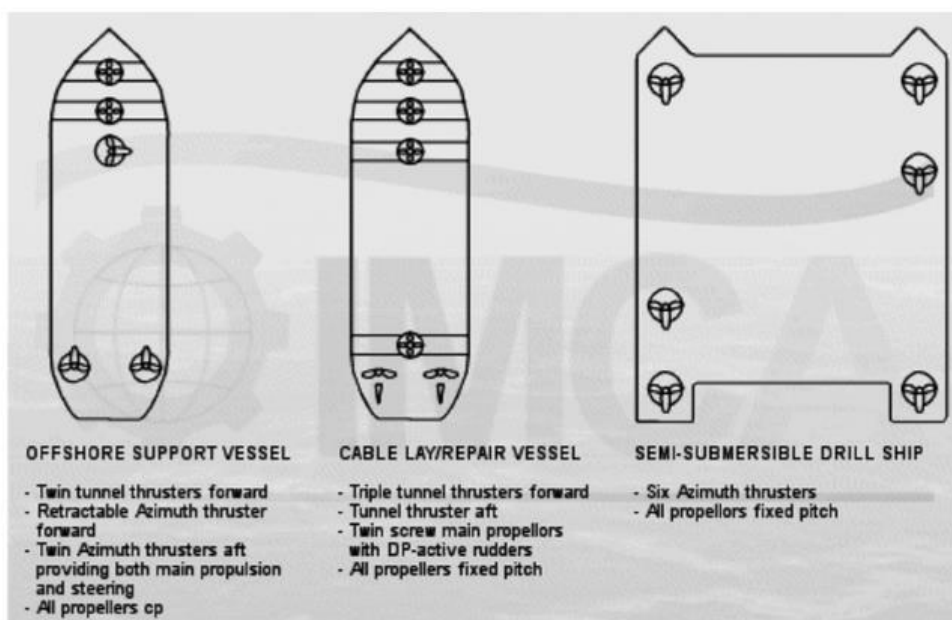
Sedangkan untuk pengklasifikasian *dynamic positioning system* berdasarkan jenis pekerjaan dan risiko yang dapat ditimbulkan adalah sebagai berikut,

- Kelas 1: Unit DP dengan kelas peralatan 1 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi tidak dianggap membahayakan jiwa manusia, menyebabkan kerusakan signifikan atau menyebabkan polusi lebih dari sedikit.
- Kelas 2: Unit DP dengan kelas peralatan 2 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi dapat menyebabkan cedera personil, polusi atau kerusakan dengan konsekuensi ekonomi yang besar.
- Kelas 3: Unit DP dengan kelas peralatan 3 harus digunakan selama operasi dimana kehilangan posisi dapat menyebabkan kecelakaan fatal, polusi berat atau kerusakan dengan konsekuensi ekonomi yang bersifat fatal.
- Sistem kelas 2 atau 3 harus mencakup fungsi "*consequences analysis*" yang terus-menerus memverifikasi bahwa kapal akan tetap berada pada posisi meskipun terjadi kegagalan tunggal yang terburuk.

II.2.4. Sistem *thruster* dengan *dynamic positioning system*

Kemampuan penggerak sebuah kapal berasal dari *propeller* dan *thruster* yang dimilikinya. Sistem propulsi memiliki peran yang sangat penting dalam fungsi *station keeping* pada sistem DP. Secara umum, kapal yang dipasang DP memiliki 3 jenis pendorong, yaitu *main propeller*, *tunnel thruster (bow thruster)*, dan *azimuth thruster* yang dipasang sesuai dengan kebutuhannya.

Umumnya pada kapal OSV (*Offshore Supply Vessel*), sistem propulsinya terdiri dari 2 propeller dikarenakan kebutuhan daya dan manuver. Selain itu OSV dilengkapi dengan *thruster* yang diletakkan di bagian *bow* ataupun *stern* tergantung dari kebutuhannya. *Thruster* yang diletakkan di bagian *bow* biasanya berjenis *tunnel thruster* atau *azimuth thruster*. Perbedaan dari dua jenis *thruster* ini adalah kemampuan manuvernya, *azimuth thruster* memberikan gaya gerak yang lebih leluasa yaitu sebanyak 360o. (Ritchie, 2008).



Gambar 2.5 Layout Thruster Kapal dengan DP System

(Sumber : Introduction to Ship Dynamic Positioning Systems, 2008.)

II.3 SISTEM KELISTRIKAN KAPAL

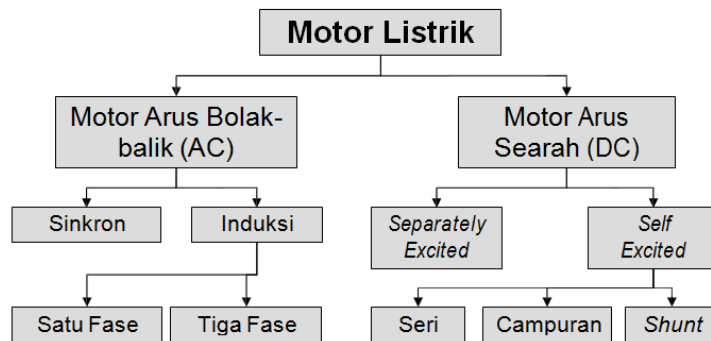
Salah satu sistem yang berperan vital dalam kelangsungan operasional sebuah kapal adalah sistem kelistrikan. Suatu sistem kelistrikan terdiri dari tiga bagian, yaitu pembangkitan, distribusi, dan beban. Semua bagian ini bekerja sama dalam suatu sistem kelistrikan dengan tujuan untuk menggerakkan motor bagi berbagai mesin bantu, penerangan dan juga peralatan yang ada di kapal seperti peralatan pendingin dan sistem ventilasi di kapal.

Komponen yang dimaksud dalam pembangkitan adalah komponen yang dapat menghasilkan tenaga listrik yang biasa dikenal dengan nama generator. Setiap

kapal memiliki generator yang berbeda dari segi penggerakannya, baik itu digerakkan dengan mesin diesel, turbin uap, ataupun shaft generator. Generator yang ada di kapal harus mampu menyediakan listrik secara kontinyu kepada beban yang ada di kapal dan juga harus mencukupi semua daya yang dibutuhkan, (Sarwito, 1995). Prinsip kerja dari generator diatas kapal yaitu rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub-kutub magnetnya sehingga menimbulkan perbedaan teggan dan menghasilkan arus listrik. Dalam merencanakan sistem kelistrikannya perlu diperhatikan kebutuhan daya maksimum dan minimum pada interval waktu tertentu selama peralatan di kapal bekerja dalam berbagai kondisi seperti di pelabuhan, berlayar, manuver, dan berlabuh. Selain itu daya cadangan juga harus dimasukkan ke dalam perhitungan untuk dapat mengakomodir beban puncak pada periode singkat ketika motor-motor yang berdaya besar dinyalakan. Pada umumnya daya cadangan genertator adalah sebesar 15% lebih tinggi dari kebutuhan daya di kapal. Pemilihan penggerak genrator berdasarkan kepada alasan ekonomi dari setiap perusahaan.

II.3.1. Motor Listrik

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



Gambar 2.6 Diagram klasifikasi jenis-jenis motor listrik

(Sumber : Laporan praktikum listrik perkapalan)

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

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

dalam tiga kelompok:

- Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsi tidak bervariasi.

Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.

- Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

II.3.2. Prinsip kerja Motor Induksi 3 Fasa

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

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

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

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

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

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

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

II.4 LOAD FLOW ANALYSIS

Analisis Aliran Daya Listrik (Load Flow) adalah suatu studi untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik. Dalam perkembangannya, industri membutuhkan tenaga listrik yang besar dan menggunakan peralatan listrik sebagai alat produksi.

Percobaan load flow atau aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi

transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban. Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima) (Multa and Prima A, 2013).

Manfaat dari adanya analisis aliran daya listrik adalah untuk mengetahui besarnya daya dalam sistem tenaga listrik apakah masih memenuhi batas-batas yang telah ditentukan, serta untuk mengetahui besar Losses yang ada, dan untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru. Studi analisis aliran beban ini mengambil contoh pada implementasi sistem kelistrikan pada kapal Anchor Handling Tug Supply. Analisis aliran daya diawali menghitung daya aktif dan daya reaktif pada setiap simpul (bus) terpasang, nilai rugi daya (Losses), jatuh tegangan sistem, dan aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik terpasang.

Metode komputasi yang sering dipakai untuk menyelesaikan perhitungan aliran beban antara lain metode Newton Raphson, Fast Decoupled, dan Gauss Seidel. Metode Newton-Raphson secara matematis lebih baik dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel, karena memiliki sifat kovergensi kuadrat. Untuk sistem yang besar, metode Newton Raphson jauh lebih efisien dan lebih praktis. Banyaknya iterasi yang diperlukan dengan metode Newton-Raphson yang menggunakan admitansi bus, praktis tidak tergantung pada banyaknya bus. Waktu yang diperlukan untuk metode Gauss-Seidel (admitansi bus) meningkat hampir sebanding dengan banyaknya bus. Sebaliknya, penghitungan matriks Jacobian pada metode NewtonRaphson akan memakan waktu yang cukup lama, sedangkan waktu yang diperlukan untuk tiap iterasi pada metode Newton-Raphson adalah lebih singkat. Waktu yang singkat untuk suatu penyelesaian dengan ketelitian yang sama, menyebabkan bahwa metode Newton-Raphson lebih banyak dipilih untuk semua sistem, seperti pada sistem distribusi (Muksin Aksin Jaelani, 2008:28).

Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

- a. Impedansi di saluran transmisi. Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.
- b. Tipe beban yang tersambung jalur. Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi P.F. sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.

II.4.1. Standard tegangan jatuh (*Drop Voltage*) Berdasarkan IEC

Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*) merupakan permasalahan yang biasa muncul akibat dari pembebanan yang dilakukan pada rangkaian sistem kelistrikan. Jatuhnya tegangan memiliki standart tertentu. Standard yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui apakah drop tegangan dapat diterima / tidak dalam penelitian ini adalah IEC (*International Electrotechnical Commission*). Standard IEC telah mengatur banyak hal yang berhubungan dengan instalasi listrik seperti persyaratan yang harus di desain / diterapkan pada instalasi berkaitan dengan efisiensi listrik. IEC tidak hanya mengatur tentang persyaratan instalasi listrik tetapi juga memberikan sebuah / saran pada proses perbaikan instalasi listrik agar mendapatkan efisiensi yang lebih baik. Salah satu bagian yang diatur oleh IEC adalah kualitas tegangan pada sebuah instalasi listrik.

BKI juga mengeluarkan standar tegangan untuk instalasi listrik pada kapal dimana tegangan jatuh di nilai diantara busbar. Tingkat tegangan memiliki pengaruh yang cukup besar pada operasional peralatan dan juga berdampak pada efisiensi energy listrik dari instalasi tersebut, oleh sebab itu mengapa kualitas tegangan diatur dalam standard IEC. Berikut merupakan standard drop voltage / tegangan jatuh yang telah ditetapkan / diatur oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan BKI :

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

^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 Standar drop voltage IEC

2. Rating on the basis of voltage drop

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

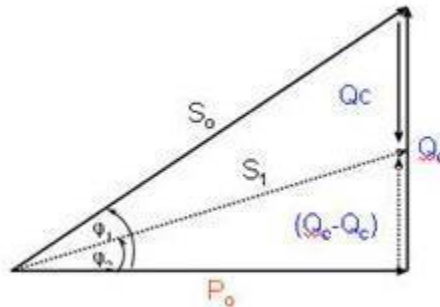
Gambar 2.8 Standar tegangan jatuh berdasarkan BKI

(Sumber : BKI *Volume.4 Section.4*)

Pada tabel 2.7 menurut IEC 60364-8-1 maksimum tegangan jatuh pada instalasi sistem distribusi listrik di segmen *industry* yang diijinkan adalah sebesar 5% untuk beban kelistrikan, prosentase tersebut disesuaikan dengan berapa besarnya tegangan yang diberikan dari sumber tegangan. Kemudian pada gambar 2.8 di berikan nilai standar tegangan jatuh oleh BKI untuk seluruh peralatan elektronik tidak melebihi 6% dan 10% jika di suplai oleh batrai untuk beban 50 Volt kebwa. Pada penelitian ini di gunakan standar terkecilnya yaitu IEC 5%

II.4.2. Perbaikan Untuk Permasalahan Yang Ada

Masalah kualitas tegangan adalah persoalan perubahan tegangan atau arus yang bisa menyebabkan kegagalan atau tidak berfungsinya suatu peralatan dikarenakan bisa menurunkan efisiensi / keandalan dari peralatan tersebut dan hal ini tidak hanya berlaku didarat namun juga di marine (kapal) . Karena begitu pentingnya kualitas tegangan dapat dikatakan sebagai salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan dalam pengelolaan energi listrik. Metode dalam upaya perbaikan tegangan jatuh pada dasarnya banyak, namun yang umum digunakan pada sistem distribusi menengah adalah dengan menggunakan metode penambahan kapasitor. Penambahan kapasitor umumnya digunakan untuk perbaikan factor daya. Kapasitor dapat menghasilkan daya reaktif pada jaringan listrik. Jika terdapat rangkaian listrik yang bersifat induktif, saat rangkaian di sambungkan dengan kapasitor maka beban akan mendapatkan suplai daya reaktif dengan begitu mengurangi daya reaktif yang harus di berikan oleh sumber sebesar $Q_{koreksi}$ (daya reaktif yang berasal dari kapasitor), Sehingga tegangan jatuh dapat di kurangi.



2.9 Perbaikan Faktor Daya

(Sumber : <https://www.pembangkitlistrik.com>)

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

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \quad (2.4)$$

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

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

Sehingga :

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

$$= [P \times \tan(\arccos \phi_{old})] - [P \times \tan(\arccos \phi_{new})] \quad (2.7)$$

$$= P \times [\tan(\arccos \phi_{ama}) - \tan(\arccos \phi_{new})] \quad (2.8)$$

II.5. SOFTWARE SIMULASI MATLAB (Matrix Laboratory)

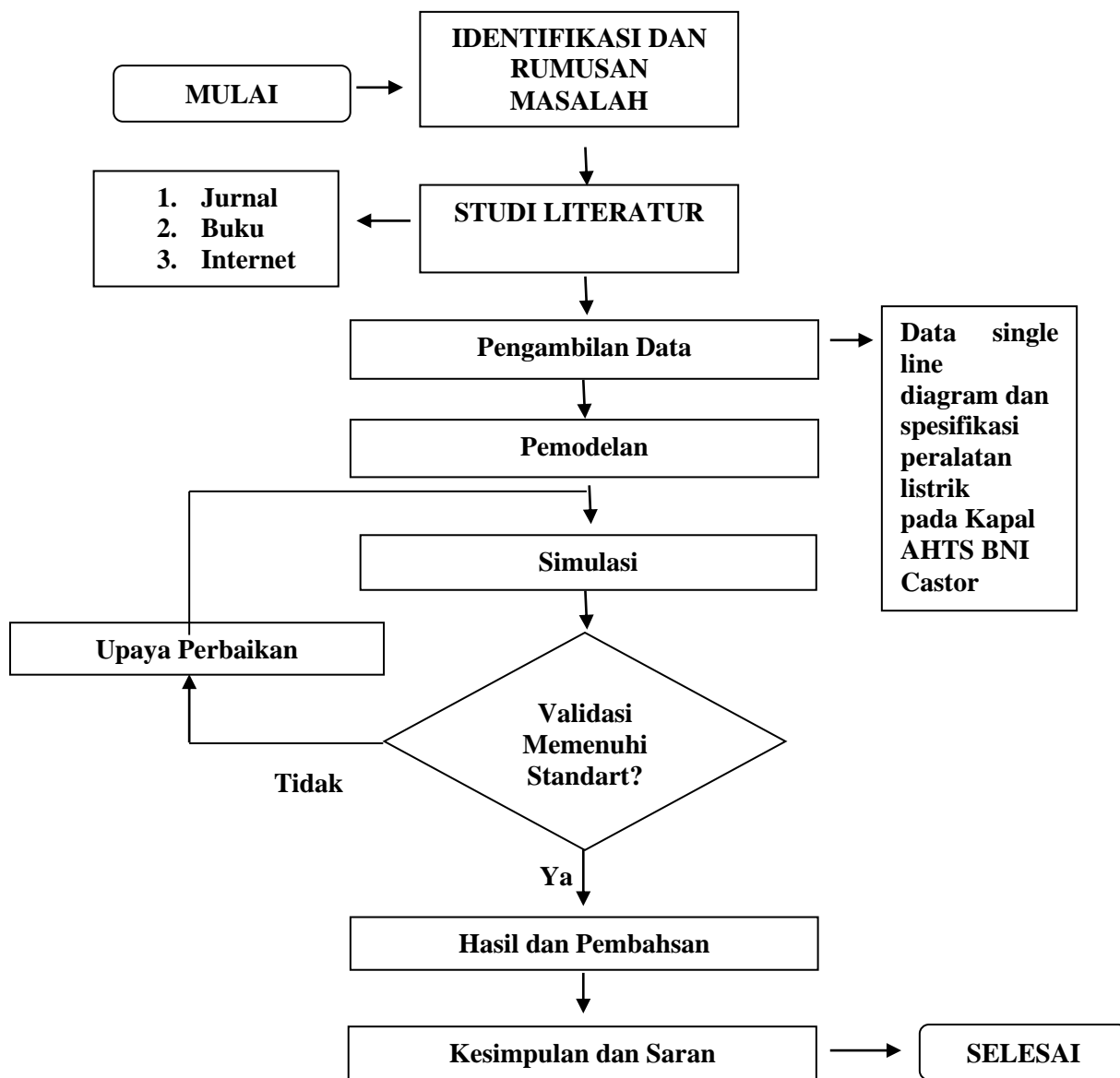
Matlab merupakan suatu software pemrograman perhitungan dan analisis yang banyak digunakan dalam semua area penerapan matematika baik bidang pendidikan maupun penelitian pada universitas dan industri. Dengan matlab, maka perhitungan matematis yang rumit dapat diimplementasikan dalam program dengan lebih mudah.

Matlab merupakan singkatan dari MATriks LABoratory dan berarti software ini dibuat berdasarkan vektor-vektor dan matrik-matrik. Hal ini mengakibatkan software ini pada awalnya banyak digunakan pada studi aljabar linier, serta juga merupakan perangkat yang tepat untuk menyelesaikan persamaan aljabar dan diferensial dan juga untuk integrasi numerik.

Matlab memiliki perangkat grafik yang powerful dan dapat membuat gambar-gambar dalam 2D dan 3D. Dalam hal pemrograman, Matlab serupa dengan bahasa C dan bahkan salah satu dari bahasa pemrograman termudah dalam hal penulisan program matematik. Matlab juga memiliki beberapa toolbox yang berguna untuk pengolahan sinyal (signal processing), pengolahan gambar (image processing), dan lain-lain.

BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 *Flow Chart* Metodologi Penelitian

III.2 Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir Deskripsi Tahapan Penelitian

III.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Langkah ini merupakan langkah awal dari penelitian, yaitu dengan mencari masukan terhadap masalah yang diteliti melalui observasi. Peneliti merumuskan masalah mengenai studi analisa aliran daya berbasis matlab : studi kasus bow thruster pada kapal Anchor Handling Tug Supply

III.2.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian yang sesuai dengan permasalahan yang dibahas dengan cara mempelajari teori-teori yang relevan dengan topic kajian. Adapun beberapa macam teori-teori yang dapat mendukung dalam penelitian ini adalah jurnal, buku, internet, dsb.

Untuk pencarian berbagai referensi dan literatur dapat dilakukan di beberapa tempat, antara lain :

- 1) Laboratorium Marine Electrical and Automation System, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
- 2) Laboratorium Elektro FTI - ITS
- 3) Perpustakaan ITS
- 4) Ruang Baca FTK

III.2.3. Pengumpulan Data

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

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

III.2.4. Proses

Dalam tahap ini ada beberapa proses yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini.

Langkah awal adalah dilakukan perhitungan manual *Load Flow Analysis* disesuaikan dengan pengambilan data teknis thruster yang digunakan oleh sistem *dynamic positioning* kapal.

Langkah selanjutnya adalah Validasi Hasil menunjukan kevalidan dari data dan juga hasil analisa menggunakan *software* matlab serta perhitungan manual sesuai dengan metode yang digunakan.

III.2.5. Hasil dan Pembahasan

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Pengumpulan Data

Langkah awal yang harus dilakukan dalam pembahasan penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data primer kelistrikan Kapal AHTS dengan sistem dynamic positioning yang diperoleh dari perusahaan PT.Bahtera Niaga Internasional, yang bergerak dalam bidang penyewaan kapal offshore supply vessel. Adapun data-data primer yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

IV.2 Data Utama Kapal

Pada penelitian ini analisis aliran daya dilakukan pada Kapal AHTS BNI Castor, berikut data utama dan dimensi kapal tersebut :

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



Gambar 4.1 Kapal BNI Castor

(sumber: <https://www.marinetraffic.com>)

IV.2.1 Spesifikasi Komponen

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

Generator

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

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

Berikut adalah spesifikasi dari generator *thruster*:

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

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

Berikut adalah spesifikasi dari Generator utama :

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

Motor elektrik *bow thruster*,

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

Berikut merupakan spesifikasi motor listrik untuk penggerak *bow thruster* :

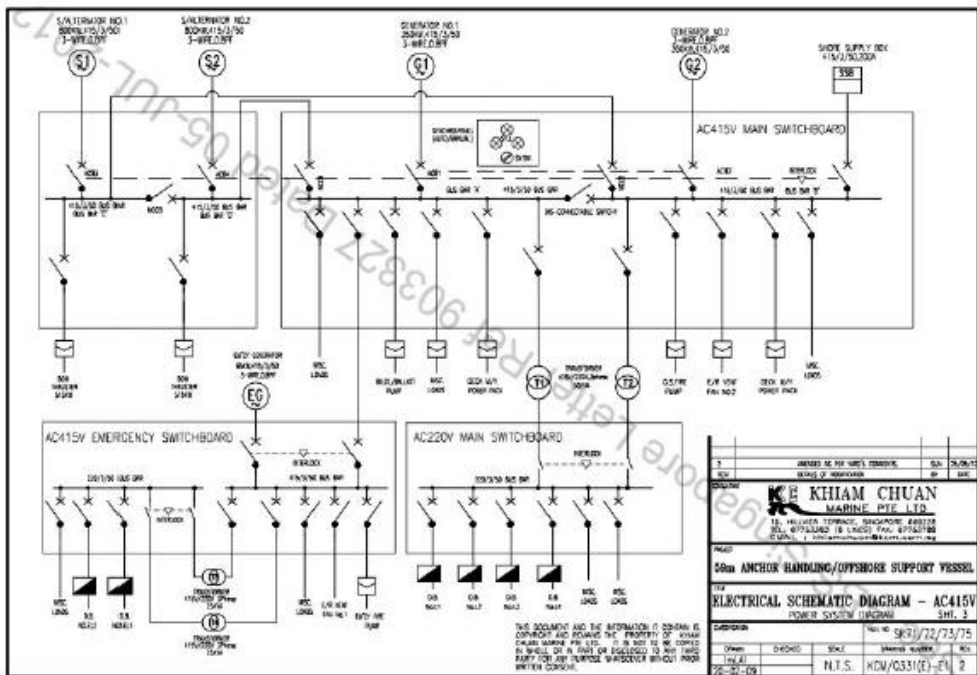
Merek	: ABB Shanghai Motors co.,ltd
Tipe	: KT-72B3
Jenis	: Three phase Induction motor
Propeller speed	: 475 rpm
Input Shaft Speed	: 1450 rpm
Rated Power	: 515 kw
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan	: 415 Volt
Fase	: 3 Phase

Spesifikasi beban listrik lainnya

Terdapat beberapa beban listrik yang terbagi dalam dua bus utama yang terdiri dari beban listrik 3 fase maupun beban listrik satu fase. data beban listrik lain pada kapal AHTS BNI Castor ditampilkan dalam dokumen wiring pada lampiran.

IV.3 Single Line Diagram Kapal AHTS BNI CASTOR

Pada penelitian ini nilai daya aktif, reaktif, serta losses yang ada pada sistem kelistrikan kapal didapat dengan cara mensimulasikan aliran daya yang terjadi di sistem distribusi listrik mulai dari sumber suplai daya hingga ke seluruh beban listrik pada kapal AHTS BNI Castor menggunakan sebuah software simulasi Matlab. Proses simulasi tersebut dibagi menjadi beberapa scenario konfigurasi suplai daya listrik menuju 4 bus utama. Pada *software simulasi*, penulis melakukan *re-drawing single line diagram* dari kapal AHTS BNI Castor.



Gambar 4.2 *Electrical schematic digram* Kapal AHTS BNI Castor
(Sumber : PT. Bahtera Niaga Internasional)

Dari gambar diatas dapat dilihat terdapat 5 suplai daya menuju 4 bus utama, 5 suplai daya tersebut antara lain dua buah *generator thruster*, dua buah *diesel generator*, dan satu buah saluran daya dari *shore connection*..:

IV.4 Perencanaan skenario konfigurasi suplai daya menuju beban listrik Kapal AHTS BNI Castor

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

IV.4.1. Skenario 1, konfigurasi *closed bus* (2 *generator thruster*, 2 *Bow Thruster*)

Pada skenario 1, Analisis aliran daya dilakukan pada konfigurasi *closed bus* dimana dua buah *generator thruster* digunakan untuk suplai daya dua buah *bow thrusters*. Pada kondisi ini daya dari kedua sumber energi listrik disalurkan menuju satu bus utama kemudian disalurkan ke *bow thruster* 1 dan 2.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai aliran daya dan nilai losses yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut pada tabel 4.1 dibawah ini merupakan variasi pembebanan pada skenario 1:

Tabel 4.1 Variasi Beban pada skenario 1

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

IV.4.2. Skenario 2, konfigurasi *Split Plan* (1 generator *thruster*, 2 *Bow Thruster*)

Pada skenario kedua, sistem kelistrikan dikondisikan dalam konfigurasi *split plant* antara busbar peyuplai *bow thruster* dan beban listrik di kapal. Penyusunan dengan konfigurasi bertujuan untuk menghemat 1 generator dan untuk mengetahui batas tertinggi dari pembebanan *bow thruster* jika disuplai dengan hanya 1 generator *thruster*.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai aliran daya dan nilai losses yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut pada tabel 4.2 dibawah ini merupakan variasi pembebanan pada skenario 2:

Tabel 4.2 Variasi Beban pada skenario 2

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

IV.4.3. Skenario 3, Konfigurasi *Closed bus* (2 Generator *Thruster*, 1 Diesel Generator, 2 *Bow Thruster*, Semua beban kapal)

Pada skenario ketiga, sistem kelistrikan dikondisikan dalam konfigurasi *closed bus* antara semua beban listrik di kapal. Pada kondisi ini digunakan dua generator *thruster* dan satu diesel generator untuk menyuplai daya menuju ke *bow thruster* dan semua beban dikapal.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai aliran daya dan nilai losses yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut pada tabel 4.3 dibawah ini merupakan variasi pembebanan pada skenario 3:

Tabel 4.3 Variasi Beban pada skenario 3

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

IV.4.4. Skenario 4, Konfigurasi *Closed bus* (2 Generator Thruster, 2 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, Semua beban kapal)

Pada skenario keempat, sistem kelistrikan dikondisikan dalam konfigurasi *closed bus* antara semua beban listrik di kapal. Pada kondisi ini digunakan dua generator *thruster* dan dua diesel generator untuk menyuplai daya menuju ke *bow thruster* dan semua beban dikapal.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai aliran daya dan nilai losses yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut pada tabel 4.4 dibawah ini merupakan variasi pembebanan pada skenario 4:

Tabel 4.4 Variasi Beban pada skenario 4

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

IV.4.5. Skenario 5, Konfigurasi *Closed bus* (1 Generator Thruster, 2 Diesel Generator, 2 Bow Thruster, semua beban kapal)

Pada skenario kelima, sistem kelistrikan dikondisikan dalam konfigurasi *closed bus* antara semua beban listrik di kapal. Kondisi ini menggunakan 1 generator *thruster* dan 2 diesel generator untuk menyuplai dua *bow thruster* dan semua beban di kapal.

Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai aliran daya dan nilai losses yang terjadi akibat pengoperasian beban listrik dalam hal ini motor listrik *bow thruster* pada beberapa variasi beban. Berikut pada tabel 4.5 dibawah ini merupakan variasi pembebanan pada skenario 5:

Tabel 4.5 Variasi Beban pada skenario 5

Variasi Beban Skenario 5		
No	Bow Thruster 1	Bow Thruster 2
1	75%	75%
2	80%	80%
3	85%	85%

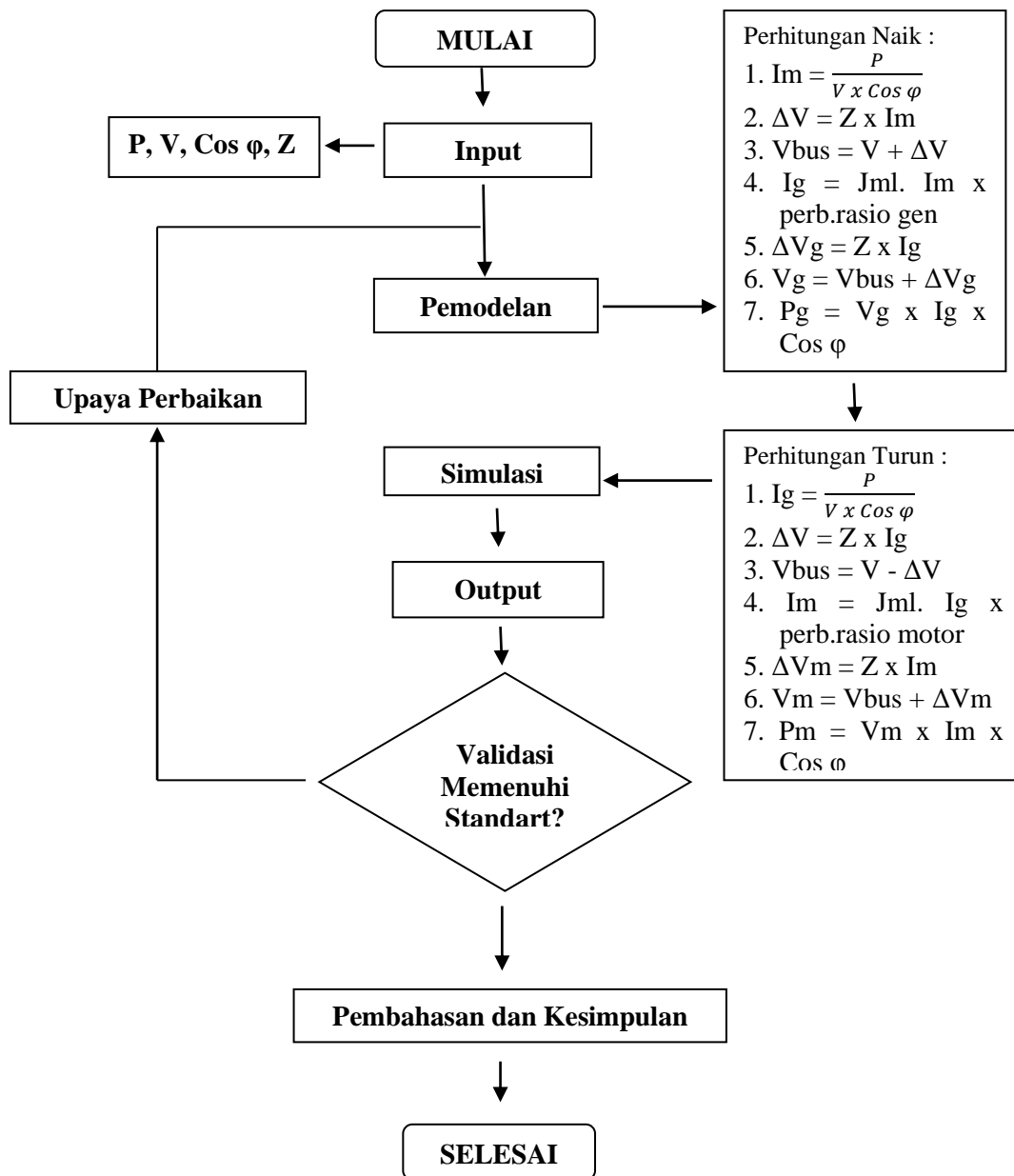
Untuk melihat lebih jelas perbedaan dari masing-masing skenario, berikut tabel yang menjelaskan perbedaannya:

Tabel 4.6 Penjelasan Suplai dan Beban per Skenario

Skenario	Suplai Daya	Beban Listrik	Variasi Daya
1	2 Generator Thruster (Closed Bus)	2 Bow Thruster	60% - 75% 100% - 80% 100% - 100% 110% - 110%
2	1 Generator Thruster (Split Plant)	2 Bow Thruster	40% - 40% 50% - 50% 60% - 60%
3	2 Generator Thruster, 1 Diesel Generator (closed Bus)	2 Bow Thruster & Semua Beban di Kapal	60% - 75% 100% - 80% 100% - 100% 110% - 110%
4	2 Generator Thruster, 2 Diesel Generator (Closed Bus)	2 Bow Thruster & Semua Beban di Kapal	60% - 75% 100% - 80% 100% - 100% 110% - 110%
5	1 Generator Thruster, 2 Diesel Generator (Closed Bus)	2 Bow Thruster & Semua Beban di Kapal	75% - 75% 80% - 80% 85% - 85%

IV.5 Simulasi *software* Matlab

Langkah awal yang dilakukan dalam simulasi aliran daya pada *software* matlab adalah menyusun input-an, pemodelan sistem aliran daya, dan yang terakhir adalah output-an. Berikut dibawah ini adalah pembuatan input-an sebagai data awal yang akan diolah untuk analisa aliran daya pada *software* matlab :



Gambar 4.3 Flow Chart Pengerjaan Matlab

```

clear;clc;
format shortG;
%% S rating = ... kVA
%%
Z_kabel = 0.009; %ohm

Generator = [
% [ Daya, Voltage, cos pi, presentase pemakaian (%)
[ 800000, 415, 0.91, 100], % input generator pertama
[ 800000, 415, 0.91, 100], % input generator kedua
[ 0, 0, 0, 0], % input generator ketiga
[ 0, 0, 0, 0], % input generator keempat
[ 0, 0, 0, 0], % input generator kelima

Motor = [
% [ Daya, Voltage, cos pi, presentase pemakaian (%)
[ 515000, 415, 0.91, 60], % input generator pertama
[ 515000, 415, 0.91, 75], % input generator pertama
[ 0, 0, 0, 0], % input motor 3
[0,0,0,0], % input motor 4
[0,0,0,0], % input motor 5
[0,0,0,0], % input motor 6
[0,0,0,0], % input motor 7
[0,0,0,0], % input motor 8
[0,0,0,0], % input motor 9
[0.0.0.01], % input motor 10

```

Setelah dilakukan pembuatan input-an, tahap selanjutnya adalah pemodelan sistem aliran daya untuk mengolah data input-an sesuai skenario yang sudah direncanakan. Berikut dibawah ini adalah pemodelan sistem aliran daya sistem kelistrikan kapal *dynamic positioning* pada aplikasi matlab :

```

%% Perhitungan dari Beban ke Generator
I_motor = Motor(:,1) .* (Motor(:,4) .* 0.01) ./
(Motor(:,2) .* Motor(:,3));
DV_motor = I_motor .* R_kabel_mot;
V_bus = max(Motor(:,2) + DV_motor, [], 'omitnan');
I_bus = sum(I_motor, 'omitnan');

% bagi beban
I_gen = I_bus .* rasio_gen;
DV_gen = I_gen .* R_kabel_gen;
V_gen = (V_bus + DV_gen) .* ~(DV_gen==0);

P_gen = V_gen .* I_gen .* Generator(:,3);

```

```

%% Perhitungan dari Generator ke Beban
Q_gen = V_gen.*I_gen.*sin(acos(Generator(:,3)));
I_gen = P_gen ./ (Generator(:,2) .* Generator(:,3));
DV_gen = I_gen .* R_kabel_gen;

V_bus = min(Generator(:,2) - DV_gen, [], 'omitnan');
I_motor = sum(I_gen,'omitnan').*rasio_mot;
DV_motor = I_motor .* R_kabel_mot;

V_motor = (V_bus - DV_motor) .* ~(DV_motor==0);
P_motor = V_motor .* I_motor .* Motor(:,3);

%% Losses
I_gen = max(0, I_gen);
loses_pgen = I_gen.^2 .* R_kabel_gen .* Generator(:,3) ./
1000;
loses_qgen = I_gen.^2 .* R_kabel_gen .*
sin(acos(Generator(:,3))) ./ 1000;
loses_pmot = I_motor.^2 .* R_kabel_mot .*Motor(:,3)
/1000;
loses_qmot = I_motor.^2 .* R_kabel_mot .*
sin(acos(Motor(:,3)))/1000;
droptegangan = (1-V_motor ./ Generator(1,2)).*100;

```

IV.6 Analisa Hasil Simulasi *software* Matlab

Berikut dibawah ini merupakan data hasil Simulasi Menggunakan *software* matlab yang telah di ambil sesuai skenario yang telah ditentukan:

IV.6.1. Skenario 1(dua generator *thruster*, dua *bow thruster*)

Pada Skenario pertama, dua generator *thruster* dihubungkan dengan dua *bow thruster*. Dilakukan percobaan *bow thruster* dengan empat variasi pembebanan diantaranya, 60%-75%, 100%-80%, 100%-100%, dan 110%-110%. Berikut dibawah ini adalah hasil dari uji coba dan analisis pada skenario 1:

A. Variasi pembebanan 60% - 75%

Tabel 4.7 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 60% - 75%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	959	362.0	165.0	-	-	0.91	-	-
2	415	959	362.0	165.0	-	-	0.91	-	-
3	406	1841	-	-	-	-	-	-	-
4	399	853	-	-	309	141	0.91	3.93	-
5	397	1066	-	-	385	175	0.91	4.39	-

Branch Data							
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator	To Bow Thruster	Losses		
			S (kVA)	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	
1	1	3	414.88	-	7.54	3.43	
2	2	3	414.88	-	7.54	3.43	
3	3	4	-	339.96	5.95	2.71	
4	3	5	-	422.91	9.30	4.24	

Pada skenario satu variasi pembebanan 60%-75% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 60% - 75% adalah 362 kW (P) dan 172 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.7 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) dan generator thruster 2 (bus 2) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-3 7,54 kW (P) dan 3,43 kVAr (Q) sedangkan pada jalur 2-3 didapat 7,54 kW (P) dan 3,43 kVAr (Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 309 kW (P) dan 141 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1, 385 kW (P) dan 175 (Q) untuk *bow thruster* 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 3-4 5,95 kW (P) dan 2,71 kVAr (Q) sedangkan pada jalur 3-5 9,3 kW (P) dan 4,24 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 8,06% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 90% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario satu variasi pembebanan 60% - 75% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 60% mencapai 3,93% dan variasi 75% mencapai 4,39%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario satu variasi 60% - 75% memenuhi standard, dan bias dikatakan aman.

B. Variasi pembebanan 100% - 80%

Tabel 4.8 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 100% - 80%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1296	490.0	223.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1296	490.0	223.0	-	-	0.91	-	-
3	403	2455	-	-	-	-	-	-	-
4	390	1440	-	-	512	233	0.91	5.93	-
5	393	1152	-	-	412	188	0.91	5.31	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)	Q (kVAr)	S (kVA)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	3	568.19	-	-	-	13.76	6.27
2	2	3	568.19	-	-	-	13.76	6.27
3	3	4	-	-	562.26	-	16.99	7.74
4	3	5	-	-	452.80	-	10.87	4.95

Pada skenario satu variasi pembebanan 100% - 80% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 100% - 80% adalah 490 kW (P) dan 236 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.8 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) dan generator thruster 2 (bus 2) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-3 13,76 kW (P) dan 6,27 kVAr (Q) sedangkan pada jalur 2-3 didapat 13,76 kW (P) dan 6,27 kVAr (Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 512 kW (P) dan 233 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1, 412 kW (P) dan 188 (Q) untuk *bow thruster* 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 3-4 16,99 kW (P) dan 7,74 kVAr (Q) sedangkan pada jalur 3-5 10,87 kW (P) dan 4,95 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 10,67 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 92% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario satu variasi pembebanan 100% - 80% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 100% mencapai 5,93% dan variasi 80% mencapai 5,31%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan

jatuh pada skenario satu variasi 100% - 80% tidak memenuhi standard, maka dari itu perlu dilakukan perbaikan.

C. Variasi pembebanan 100% - 100%

Tabel 4.9 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 100% - 100%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1444	545.0	249.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1444	545.0	249.0	-	-	0.91	-	-
3	402	2727	-	-	-	-	-	-	-
4	389	1444	-	-	511	233	0.91	6.26	-
5	389	1444	-	-	511	233	0.91	6.26	-

Branch Data							
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses		
					P (kW)	Q (kVar)	
1	1	3	634.86	-	17.09	7.78	
2	2	3	634.86	-	17.09	7.78	
3	3	4	-	561.86	17.09	7.78	
4	3	5	-	561.86	17.09	7.78	

Pada skenario satu variasi pembebanan 100% - 100% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 100% - 100% adalah 545 kW (P) dan 263 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.9 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) dan generator thruster 2 (bus 2) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-3 17,09 kW (P) dan 7,78 kVAr (Q) sedangkan pada jalur 2-3 didapat nilai yang sama yaitu 17,09 kW (P) dan 7,78 kVAr (Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 511 kW (P) dan 233 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 3-4 17,09 kW (P) dan 7,78 kVAr (Q) dan pada jalur 3-5 17,09 kW (P) dan 7,09 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 11,49% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario satu variasi pembebanan 100% - 100% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 100% mencapai 6,26%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah

$\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario satu variasi 100% - 100% tidak memenuhi standard, maka dari itu perlu dilakukan perbaikan.

D. Variasi pembebanan 110% - 110%

Tabel 4.10 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 1 variasi 110% - 110%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1598	603.0	275.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1598	603.0	275.0	-	-	0.91	-	-
3	401	3000	-	-	-	-	-	-	-
4	386	1598	-	-	562	256	0.91	6.93	-
5	386	1598	-	-	562	256	0.91	6.93	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses		P (kW)	Q (kVar)
1	1	3	706.17	-	20.91	9.52		
2	2	3	706.17	-	20.91	9.52		
3	3	4	-	617.09	20.91	9.52		
4	3	5	-	617.09	20.91	9.52		

Pada skenario satu variasi pembebanan 110% - 110% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 110% - 110% adalah 603 kW (P) dan 293 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.10 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) dan generator thruster 2 (bus 2) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-3 20,91 kW (P) dan 9,52 kVAr (Q) sedangkan pada jalur 2-3 didapat nilai yang sama yaitu 20,91 kW (P) dan 9,52 kVAr (Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 562 kW (P) dan 256 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 3-4 20,91 kW (P) dan 9,52 kVAr (Q) dan pada jalur 3-5 20,91 kW (P) dan 9,52 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai losses daya sebesar 12,61% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

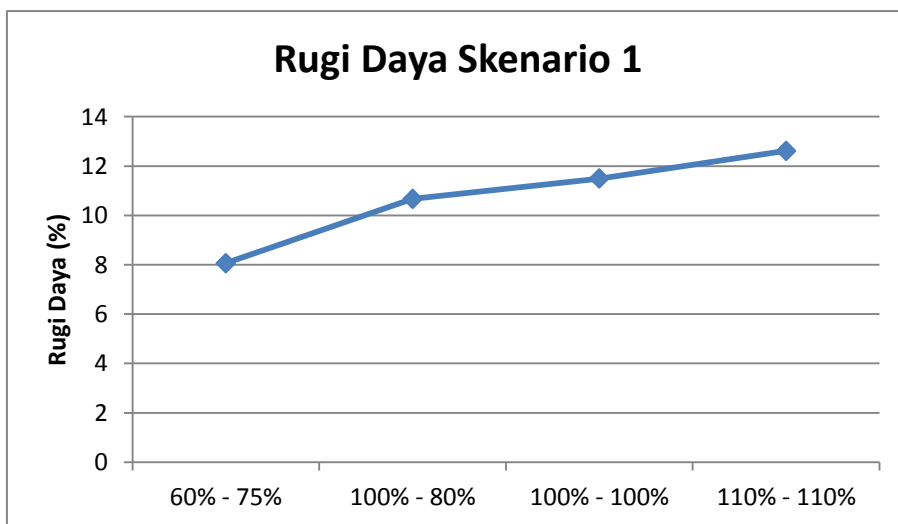
Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya pada skenario satu variasi pembebanan 110% - 110% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 110% mencapai 6,93%. Sesuai

standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario satu variasi 110% - 110% tidak memenuhi standard, maka dari itu perlu dilakukan perbaikan.

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

Tabel 4.11 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 1

Variasi	Branch	Drop Voltage		Losses Daya		
		V	%	P (kW)	Q (kVar)	(%)
60% - 75%	1 - 3	8.63	-	7.54	3.43	8.06
	2 - 3	8.63	-	7.54	3.43	
	3 - 4	7.67	3.93	5.95	2.71	
	3 - 5	9.59	4.39	9.3	4.24	
100% - 80%	1 - 3	11.66	-	13.76	6.27	10.67
	2 - 3	11.66	-	13.76	6.27	
	3 - 4	12.96	5.93	16.99	7.74	
	3 - 5	10.37	5.31	10.87	4.95	
100% - 100%	1 - 3	12.99	-	17.09	7.78	11.49
	2 - 3	12.99	-	17.09	7.78	
	3 - 4	12.99	6.26	17.09	7.78	
	3 - 5	12.99	6.26	17.09	7.78	
110% - 110%	1 - 3	14.37	-	20.91	9.52	12.61
	2 - 3	14.37	-	20.91	9.52	
	3 - 4	14.37	6.93	20.91	9.52	
	3 - 5	14.37	6.93	20.91	9.52	



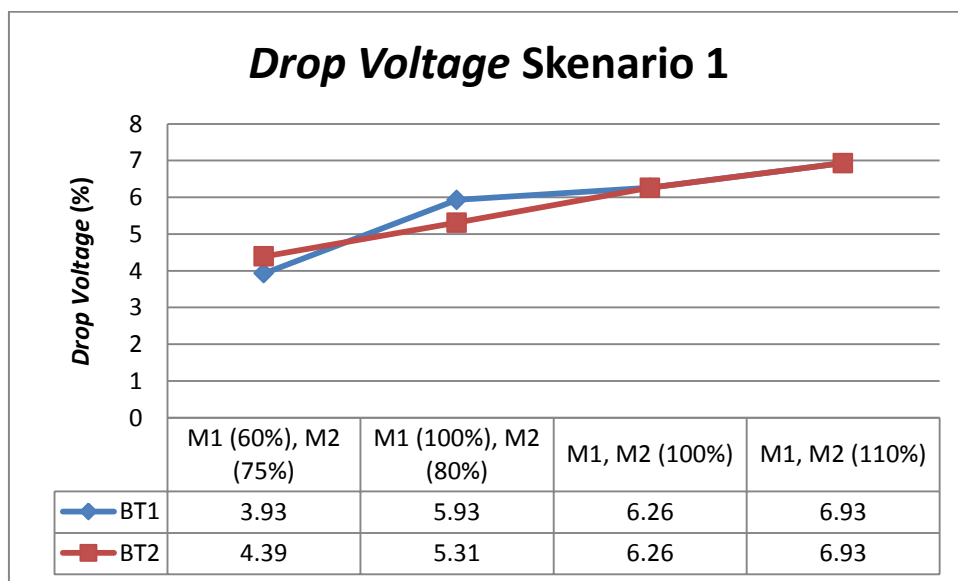
Gambar 4.4 Grafik rugi daya pada skenario 1

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pembebanan yang dilakukan semakin tinggi losses daya yang terjadi, namun untuk skenario 1 masih bisa dikatakan aman karena masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Disimpulkan bahwa semakin besar variasi pembebanan maka arus (I) yang mengalir juga sangat tinggi,

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Semakin besar arus (I) maka semakin besar juga losses daya yang terjadi. Hal itu berbanding lurus dengan teori yang ada yaitu,

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



Gambar 4.5 Grafik *drop voltage* pada skenario 1

Dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa nilai tegangan jatuh pada masing-masing variasi pembebanan mengalami kenaikan searah dengan semakin besarnya pembebanan dilakukan. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dari gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa untuk skenario 1 tidak memenuhi standard dan perlu dilakukan perbaikan hingga nilai tegangan bisa memenuhi standar.

IV.6.2. Skenario 2 (satu generator *thruster*, dua *bow thruster*)

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

A. Variasi pembebanan 40% - 40%

Tabel 4.12 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 2 variasi 40% - 40%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1130	427.0	194.0	-	-	0.91	-	-
2	405	1091	-	-	-	-	-	-	-
3	400	565	-	-	205	94	0.91	3.67	
4	400	565	-	-	205	94	0.91	3.67	

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)		S (kVA)		P (kW)	Q (kVar)
1	1	2	485.45		-		10.45	4.76
2	2	3	-		225.79		2.61	1.19
3	2	4	-		225.79		2.61	1.19

Pada skenario dua variasi pembebanan 40% - 40% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 40% - 40% adalah 427 kW (P) dan 201 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.12 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) yang mempunyai nilai yaitu pada jalur bus 1-2 10,45 kW (P) dan 4,76 kVAr (Q). Sementara pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 205 kW (P) dan 94 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 2-3 dan 2-4 sebesar 2,61 kW (P) dan 1,19 kVar (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 6,97% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 94% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario dua variasi pembebanan 40% - 40% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 40% mencapai 3,67%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario dua variasi 40% - 40% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

B. Variasi pembebanan 50% - 50%

Tabel 4.13 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 2 variasi 50% - 50%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I(A)	Generator		Load		Cos pi	Drop	
			P(kW)	Q(kVAr)	P(kW)	Q(kVAr)		Tegangan (%)	
1	415	1424	538.0	245.0	-	-	0.91	-	
2	402	1364	-	-	-	-	-	-	
3	396	712	-	-	256	117	0.91	4.63	
4	396	712	-	-	256	117	0.91	4.63	

Branch Data								
Branch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)	Q (kVAr)	S (kVA)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	2	617.26	-	-	-	16.61	7.57
2	2	3	-	-	281.83	-	4.15	1.89
3	2	4	-	-	281.83	-	4.15	1.89

Pada skenario dua variasi pembebanan 50% - 50% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 50% - 50% adalah 538 kW (P) dan 256 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.13 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) yang mempunyai nilai yaitu pada jalur bus 1-2 16,61 kW (P) dan 7,57 kVAr (Q). Sementara pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 256 kW (P) dan 117 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 2-3 dan 2-4 sebesar 4,15 kW (P) dan 1,89 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 8,68% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 94% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario dua variasi pembebanan 50% - 50% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 50% mencapai 4,63%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario dua variasi 50% - 50% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

C. Variasi pembebanan 60% - 60%

Tabel 4.14 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 2 variasi 60% - 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)		Tegangan (%)	
1	415	1724	651.0	297.0	-	-	0.91	-	
2	399	1636	-	-	-	-	-	-	
3	392	862	-	-	307	140	0.91	5.61	
4	392	862	-	-	307	140	0.91	5.61	

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)	Q (kVAr)	S (kVA)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	2	753.35	-	-	-	24.33	11.08
2	2	3	-	-	337.58	-	6.08	2.77
3	2	4	-	-	337.58	-	6.08	2.77

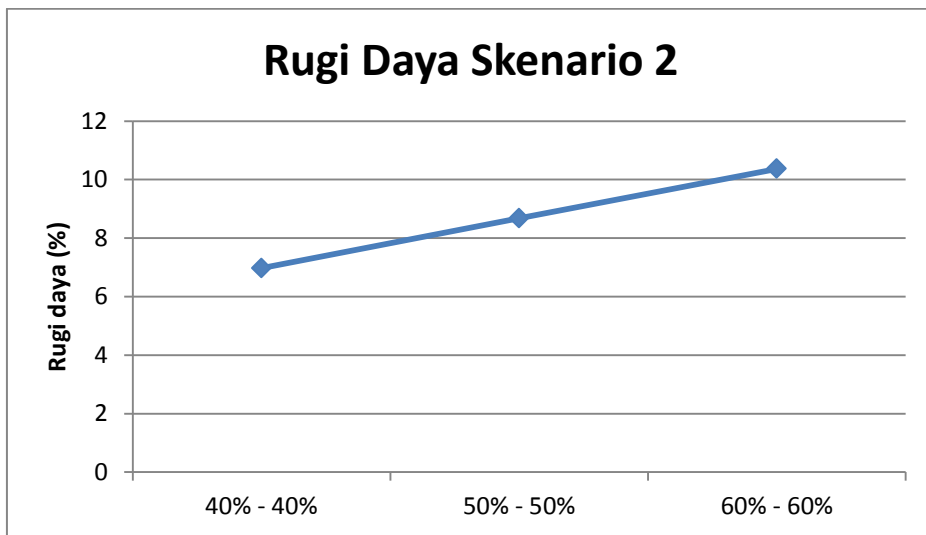
Pada skenario dua variasi pembebanan 60% - 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 60% - 60% adalah 651 kW (P) dan 312 kVAr (Q). Dengan melihat tabel 4.14 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1) yang mempunyai nilai yaitu pada jalur bus 1-2 24,33 kW (P) dan 11,08 kVAr (Q). Sementara pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 307 kW (P) dan 140 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 2-3 dan 2-4 sebesar 6,08 kW (P) dan 2,77 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 10,37% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario dua variasi pembebanan 60% - 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 60% mencapai 5,61%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario dua variasi 60% - 60% tidak memenuhi standard, maka dari itu perlu dilakukan perbaikan.

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

Tabel 4.15 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 2

Branch	Variasi	Losses Daya		
		P (kW)	Q (kVar)	(%)
1-2	40% - 40%	10.45	4.76	6.97
	50% - 50%	16.61	7.57	
	60% - 60%	24.33	11.08	
2-3	40% - 40%	2.61	1.19	8.68
	50% - 50%	4.15	1.89	
	60% - 60%	6.08	2.77	
2-4	40% - 40%	2.61	1.19	10.37
	50% - 50%	4.15	1.89	
	60% - 60%	6.08	2.77	



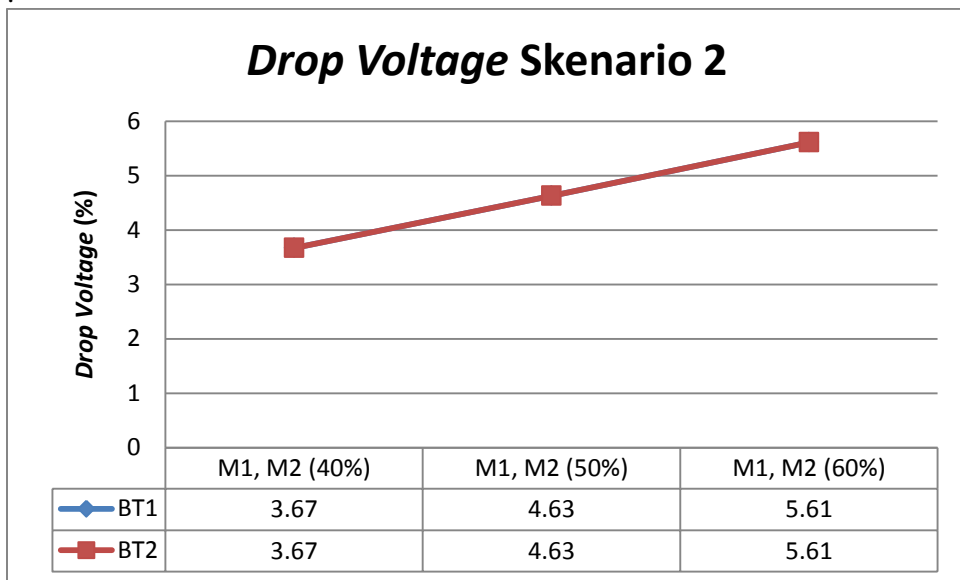
Gambar 4.6 Grafik rugi daya pada skenario 2

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pembebanan yang dilakukan semakin tinggi losses daya yang terjadi, namun untuk skenario 2 masih bisa dikatakan aman karena masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi pembebanan maka arus (I) yang mengalir juga sangat tinggi,

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

Semakin besar arus (I) maka semakin besar juga losses daya yang terjadi. Hal itu berbanding lurus dengan teori yang ada yaitu,

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



Gambar 4.7 Grafik *drop voltage* pada skenario 2

Dapat dilihat pada gambar 4.7 bahwa nilai tegangan jatuh pada masing-masing variasi pembebanan mengalami kenaikan searah dengan semakin besarnya pembebanan dilakukan. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dari gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa untuk skenario 2 tidak memenuhi standard dan perlu dilakukan perbaikan hingga nilai tegangan bisa memenuhi standar.

IV.6.3. Skenario 3 (dua generator *thruster*, satu *diesel generator*, dua *bow thruster*, semua beban kapal)

Pada Skenario ketiga, dua generator *thruster* dan satu *diesel generator* dihubungkan dengan dua *bow thruster* dan semua beban kapal. Dilakukan percobaan *bow thruster* dan beban kapal dengan empat variasi pembebanan diantaranya, 60%-70%; 60%, 100%-75%; 60%, 100%-100%; 60%, 110%-110%; 60%. Berikut dibawah ini adalah hasil dari uji coba dan analisis pada skenario 3:

A. Variasi pembebanan 60% - 75%; 60%

Tabel 4.16 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 60% - 75%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)		P	Q
1	415	988	373.0	170.0	-	-	0.91	-	-
2	415	988	373.0	170.0	-	-	0.91	-	-
3	415	427	161.0	74.0	-	-	0.91	-	-
4	406	2403	-	-	-	-	-	-	-
5	398	851	-	-	309	141	0.91	3.99	-
6	397	1064	-	-	384	175	0.91	4.45	-
7	402	488	-	-	178	81	0.91	3.20	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)	Q (kVAr)	S (kVA)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	4	427.53	-	-	-	7.99	3.64
2	2	4	427.53	-	-	-	7.99	3.64
3	3	4	182.92	-	-	-	1.50	0.68
4	4	5	-	-	339.27	-	5.94	2.71
5	4	6	-	-	422.05	-	9.28	4.23
6	4	7	-	-	195.87	-	1.95	0.89

Pada skenario tiga variasi pembebanan 60%-75%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 60% - 75%; 60% adalah 373 kW (P) dan 170 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sementara 160 kW (P) dan 74 kVAr (Q) untuk diesel generator. Dengan melihat tabel 4.16 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 7,99 kW (P) dan 3,64 kVAr (Q), pada jalur 2-4 didapat 7,99 kW (P) dan 3,64 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 3-4 didapat 1.5 kW (P) dan 0.68 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 309 kW (P) dan 141 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1, 385 kW (P) dan 175 (Q) untuk *bow thruster* 2, dan 178 kW (P) dan 81 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 4-5 5,94 kW (P) dan 2,71 kVAr (Q), pada jalur 4-6 9,28 kW (P) dan 4,23 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 4-7 1.95 kW (P) dan 0.89 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 7,78 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 88% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya pada skenario tiga variasi pembebanan 60% - 75%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 60% mencapai 3,99%; variasi 75% mencapai 4,45% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 3,2%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario tiga variasi 60% - 75%; 60% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

B. Variasi pembebanan 100% - 80%; 60%

Tabel 4.17 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 100% - 80%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1266	478.0	218.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1266	478.0	218.0	-	-	0.91	-	-
3	415	546	206.0	94.0	-	-	0.91	-	-
4	404	3078	-	-	-	-	-	-	-
5	391	1436	-	-	510	233	0.91	5.86	-
6	393	1149	-	-	411	187	0.91	5.24	-
7	399	493	-	-	179	82	0.91	3.82	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses			
					P (kW)	Q (kVar)		
1	1	4	554.56	-	13.12	5.98	-	
2	2	4	554.56	-	13.12	5.98	-	
3	3	4	235.94	-	2.44	1.11	-	
4	4	5	-	560.99	16.89	7.69	-	
5	4	6	-	451.76	10.81	4.92	-	
6	4	7	-	196.93	1.99	0.91	-	

Pada skenario tiga variasi pembebanan 100%-80%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 100% - 80%; 60% adalah 478 kW (P) dan 218 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sementara 206 kW (P) dan 94 kVAr (Q) untuk diesel generator. Dengan melihat tabel 4.17 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 13,12 kW (P) dan 5,98 kVAr (Q), pada jalur 2-4 didapat 13,12 kW (P) dan 5,98 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 3-4 didapat 2.44 kW (P) dan 1.11 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang

diterima dari sisi pembangkitan yaitu 510 kW (P) dan 233 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1, 411 kW (P) dan 187 (Q) untuk *bow thruster* 2, dan 179 kW (P) dan 82 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 4-5 16,89 kW (P) dan 7,69 kVAr (Q), pada jalur 4-6 10,81 kW (P) dan 4,92 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 4-7 1.99 kW (P) dan 0.91 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 10,06 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 91% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario tiga variasi pembebanan 100% - 80%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 100% mencapai 5,86%; variasi 80% mencapai 5,24% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 3,82%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario tiga variasi 100% - 80% tidak memenuhi standart dan maka dari itu perlu dilakukan perbaikan. Sementara untuk semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

C. Variasi pembebanan 100% - 100%; 60%

Tabel 4.18 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 100% - 100%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)		Tegangan (%)	
1	415	1387	524.0	239.0	-	-	0.91	-	
2	415	1387	524.0	239.0	-	-	0.91	-	
3	415	598	226.0	103.0	-	-	0.91	-	
4	403	3372	-	-	-	-	-	-	
5	390	1439	-	-	510	232	0.91	6.13	
6	390	1439	-	-	510	232	0.91	6.13	
7	398	494	-	-	179	82	0.91	4.08	

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)		S (kVA)		P (kW)	Q (kVar)
1	1	4	609.09		-		15.76	7.18
2	2	4	609.09		-		15.76	7.18
3	3	4	258.48		-		2.93	1.33
4	4	5	-		560.54		16.96	7.73
5	4	6	-		560.54		16.96	7.73
6	4	7	-		196.79		2.00	0.91

Pada skenario tiga variasi pembebanan 100%-100%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 100% - 100%; 60% adalah 524 kW (P) dan 239 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sedangkan 226 kW (P) dan 103 kVAr (Q) untuk diesel generator. Dengan melihat tabel 4.18 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 dan 2-4 15,76 kW (P) dan 7,18 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 3-4 didapat 2.93 kW (P) dan 1.33 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 510 kW (P) dan 232 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, sedangkan 179 kW (P) dan 82 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 4-5 dan 4-6 16,96 kW (P) dan 7,73 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 4-7 2 kW (P) dan 0.91 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 10,75 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 94% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario tiga variasi pembebanan 100% - 100%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 100% mencapai 6,13%; dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 4,08%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario tiga variasi 100% - 100% tidak memenuhi standart dan maka dari itu perlu dilakukan perbaikan. Sementara untuk semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

D. Variasi pembebanan 110% - 110%; 60%

Tabel 4.19 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 3 variasi 110% - 110%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)		Tegangan (%)	
1	415	1513	571.0	260.0	-	-	0.91	-	
2	415	1513	571.0	260.0	-	-	0.91	-	
3	415	651	246.0	112.0	-	-	0.91	-	
4	401	3678	-	-	-	-	-	-	
5	387	1590	-	-	560	255	0.91	6.73	
6	387	1590	-	-	560	255	0.91	6.73	
7	397	497	-	-	179	82	0.91	4.36	

Branch Data							
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator	To Bow Thruster	Losses		
			S (kVA)	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	
1	1	4	667.81	-	18.75	8.54	
2	2	4	667.81	-	18.75	8.54	
3	3	4	282.71	-	3.47	1.58	
4	4	5	-	615.62	20.72	9.44	
5	4	6	-	615.62	20.72	9.44	
6	4	7	-	197.18	2.02	0.92	

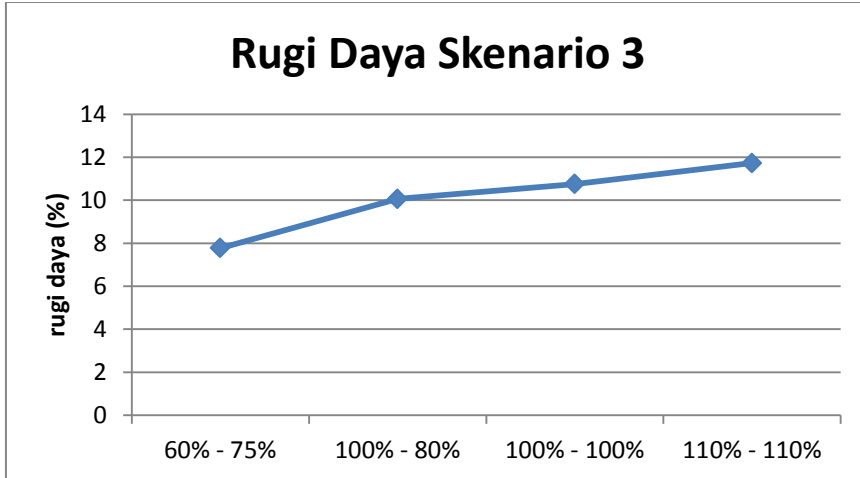
Pada skenario tiga variasi pembebanan 110%-110%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 110% - 110%; 60% adalah 571 kW (P) dan 260 kVA (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sedangkan 246 kW (P) dan 112 kVar (Q) untuk diesel generator. Dengan melihat tabel 4.19 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 dan 2-4 18,75 kW (P) dan 8,54 kVA (Q), sedangkan pada jalur 3-4 didapat 3,47 kW (P) dan 1,58 kVar(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 560 kW (P) dan 255 kVA (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, sedangkan 179 kW (P) dan 82 kVar (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 4-5 dan 4-6 20,72 kW (P) dan 9,44 kVar (Q), sedangkan pada jalur 4-7 2,02 kW (P) dan 0.92 kVar (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 11,73 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario tiga variasi pembebanan 110% - 110%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 110% mencapai 6,73%; dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 4,36%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario tiga variasi 110% - 110% tidak memenuhi standart dan maka dari itu perlu dilakukan perbaikan. Sementara untuk semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

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

Tabel 4.20 Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 3

Variasi	Branch	Drop Voltage		Losses Daya		
		V	%	P (kw)	Q (kVar)	(%)
60%-75%; 60%	1 - 4	8.89	-	7.99	3.64	7.78
	2 - 4	8.89	-	7.99	3.64	
	3 - 4	3.84	-	1.5	0.68	
	4 - 5	7.66	3.99	5.94	2.71	
	4 - 6	9.57	4.45	9.28	4.23	
	4 - 7	4.38	3.2	1.95	0.89	
100%-80%; 60%	1 - 4	11.39	-	13.12	5.98	10.06
	2 - 4	11.39	-	13.12	5.98	
	3 - 4	4.91	-	2.44	1.11	
	4 - 5	12.92	5.86	16.89	7.69	
	4 - 6	10.33	5.24	10.81	4.92	
	4 - 7	4.44	3.82	1.99	0.91	
100%-100%; 60%	1 - 4	12.48	-	15.76	7.18	10.75
	2 - 4	12.48	-	15.76	7.18	
	3 - 4	5.37	-	2.93	1.33	
	4 - 5	12.95	6.13	16.96	7.73	
	4 - 6	12.95	6.13	16.96	7.73	
	4 - 7	4.44	4.08	2	0.91	
110%-110%; 60%	1 - 4	13.61	-	18.75	8.54	11.73
	2 - 4	13.61	-	18.75	8.54	
	3 - 4	5.86	-	3.47	1.58	
	4 - 5	14.31	6.73	20.72	9.44	
	4 - 6	14.31	6.73	20.72	9.44	
	4 - 7	4.47	2.02	2.02	0.92	



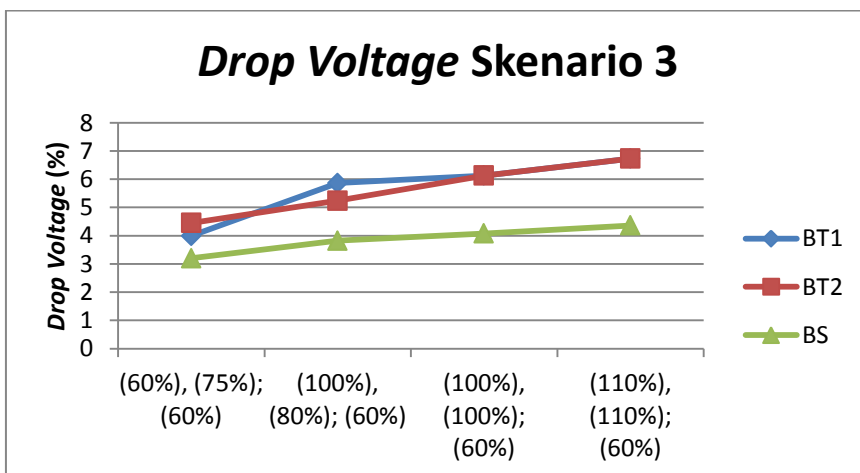
Gambar 4.8 Grafik rugi daya pada skenario 3

Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pembebanan yang dilakukan semakin tinggi losses daya yang terjadi, namun untuk skenario 3 masih bisa dikatakan aman karena masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi pembebanan maka arus (I) yang mengalir juga sangat tinggi,

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

Semakin besar arus (I) maka semakin besar juga losses daya yang terjadi. Hal itu berbanding lurus dengan teori yang ada yaitu,

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



Gambar 4.9 Grafik drop voltage pada skenario 3

Dapat dilihat pada gambar 4.9 bahwa nilai tegangan jatuh pada masing-masing variasi pembebanan mengalami kenaikan searah dengan semakin besarnya pembebanan dilakukan. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dari gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa untuk skenario 3 tidak memenuhi standard dan perlu dilakukan perbaikan hingga nilai tegangan bisa memenuhi standar.

IV.6.4. Skenario 4 (dua generator thruster, dua diesel generator, dua bow thruster, semua beban kapal)

Pada Skenario keempat, dua generator thruster dan dua diesel generator dihubungkan dengan dua bow thruster dan semua beban kapal. Dilakukan percobaan *bow thruster* dan beban kapal dengan empat variasi pembebanan diantaranya, 60%-75%; 60%, 100%-80%; 60%, 100%-100%; 60%, 110%-110%; 60%. Berikut dibawah ini adalah hasil dari uji coba dan analisis pada skenario 4:

A. Variasi pembebanan 60% - 75%; 60%

Tabel 4.21 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 60% - 75%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	835	315.0	144.0	-	-	0.91	-	-
2	415	835	315.0	144.0	-	-	0.91	-	-
3	415	362	137.0	62.0	-	-	0.91	-	-
4	415	362	137.0	62.0	-	-	0.91	-	-
5	407	2394	-	-	-	-	-	-	-
6	400	848	-	-	309	141	0.91	3.65	-
7	398	1060	-	-	384	175	0.91	4.11	-
8	403	486	-	-	178	81	0.91	2.86	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses		P (kW)	Q (kVar)
1	1	5	360.30	-			5.71	2.60
2	2	5	360.30	-			5.71	2.60
3	3	5	154.67	-			1.07	0.49
4	4	5	154.67	-			1.07	0.49
5	5	6	-	339.15			5.89	2.68
6	5	7	-	421.91			9.21	4.19
7	5	8	-	195.79			1.93	0.88

Pada skenario empat variasi pembebanan 60%-75%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 60% - 75%; 60% adalah 315 kW (P) dan 144 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2

sementara 137 kW (P) dan 62 kVar (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.21 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-5 dan 2-5 5,71 kW (P) dan 2,6 kVar (Q), sedangkan pada jalur 3-5 dan 4-5 didapat 1,07 kW (P) dan 0,49 kVar(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 309 kW (P) dan 141 kVar (Q) untuk *bow thruster* 1, 385 kW (P) dan 175 (Q) untuk *bow thruster* 2, dan 178 kW (P) dan 81 kVar (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 5-6 5,89 kW (P) dan 2,68 kVar (Q), pada jalur 5-7 9,21 kW (P) dan 4,19 kVar (Q), sedangkan pada jalur 5-8 1,93 kW (P) dan 0,88 kVar (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 7,09 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 90% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario empat variasi pembebanan 60% - 75%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 60% mencapai 3,65%; variasi 75% mencapai 4,11% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 2,86%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario empat variasi 60% - 75%; 60% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

B. Variasi pembebanan 100% - 80%; 60%

Tabel 4.22 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 100% - 80%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1069	404.0	184.0	-	-	0.91	-	
2	415	1069	404.0	184.0	-	-	0.91	-	
3	415	462	175.0	80.0	-	-	0.91	-	
4	415	462	175.0	80.0	-	-	0.91	-	
5	405	3063	-	-	-	-	-	-	
6	393	1429	-	-	510	233	0.91	5.42	
7	395	1143	-	-	411	187	0.91	4.80	
8	401	491	-	-	179	82	0.91	3.38	

Branch Data							
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator	To Bow Thruster	Losses		
			S (kVA)	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	
1	1	5	466.65	-	9.36	4.27	
2	2	5	466.65	-	9.36	4.27	
3	3	5	199.37	-	1.75	0.80	
4	4	5	199.37	-	1.75	0.80	
5	5	6	-	560.89	16.72	7.62	
6	5	7	-	451.65	10.70	4.88	
7	5	8	-	196.85	1.97	0.90	

Pada skenario empat variasi pembebanan 100%-80%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 100% - 80%; 60% adalah 404 kW (P) dan 184 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sementara 175 kW (P) dan 80 kVAr (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.22 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-5 dan 2-5 9,36 kW (P) dan 4,27 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 3-5 dan 4-5 didapat 1,75 kW (P) dan 0,8 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 510 kW (P) dan 233 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1, 411 kW (P) dan 187 (Q) untuk *bow thruster* 2, dan 179 kW (P) dan 82 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 5-6 16,72 kW (P) dan 7,62 kVAr (Q), pada jalur 5-7 10,7 kW (P) dan 4,88 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 5-8 1,97 kW (P) dan 0,9 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 9,2 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 92% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario empat variasi pembebanan 100% - 80%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 100% mencapai 5,42%; variasi 80% mencapai 4,8% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 3,38%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada *bow thruster* skenario empat variasi 80% dan semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, sementara nilai tegangan jatuh pada *bow thruster* variasi 100% tidak memenuhi standart dan perlu dilakukan perbaikan.

C. Variasi pembebanan 100% - 100%; 60%

Tabel 4.23 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 100% - 100%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1171	442.0	202.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1171	442.0	202.0	-	-	0.91	-	-
3	415	506	191.0	87.0	-	-	0.91	-	-
4	415	506	191.0	87.0	-	-	0.91	-	-
5	404	3354	-	-	-	-	-	-	-
6	392	1431	-	-	510	232	0.91	5.64	-
7	392	1431	-	-	510	232	0.91	5.64	-
8	400	492	-	-	179	82	0.91	3.61	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)		S (kVA)		P (kW)	Q (kVar)
1	1	5	512.18		-		11.24	5.12
2	2	5	512.18		-		11.24	5.12
3	3	5	218.35		-		2.10	0.95
4	4	5	218.35		-		2.10	0.95
5	5	6	-		560.45		16.78	7.64
6	5	7	-		560.45		16.78	7.64
7	5	8	-		196.72		1.98	0.90

Pada skenario empat variasi pembebanan 100%-100%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 100% - 100%; 60% adalah 442 kW (P) dan 202 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sementara 191 kW (P) dan 87 kVAr (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.23 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-5 dan 2-5 11,24 kW (P) dan 5,12 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 3-5 dan 4-5 didapat 2,1 kW (P) dan 0,95 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 510 kW (P) dan 232 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, dan 179 kW (P) dan 82 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 5-6 dan 5-7 16,78 kW (P) dan 7,64 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 5-8 1,98 kW (P) dan 0,9 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 9,81% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 94% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya pada skenario empat variasi pembebanan 100% - 100%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 100% mencapai 5,64% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 3,61%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada bow thruster 1 dan 2 skenario empat variasi 100% tidak memenuhi standart dan perlu dilakukan perbaikan. Sementara nilai tegangan jatuh pada semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bias dikatakan aman.

D. Variasi pembebanan 110% - 110%; 60%

Tabel 4.24 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 4 variasi 110% - 110%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1277	482.0	220.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1277	482.0	220.0	-	-	0.91	-	-
3	415	551	208.0	95.0	-	-	0.91	-	-
4	415	551	208.0	95.0	-	-	0.91	-	-
5	404	3657	-	-	-	-	-	-	-
6	389	1581	-	-	560	255	0.91	6.20	-
7	389	1581	-	-	560	255	0.91	6.20	-
8	399	494	-	-	179	82	0.91	3.84	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)		S (kVA)		P (kW)	Q (kVar)
1	1	5	561.20		-		13.36	6.09
2	2	5	561.20		-		13.36	6.09
3	3	5	238.75		-		2.49	1.13
4	4	5	238.75		-		2.49	1.13
5	5	6	-		615.59		20.48	9.33
6	5	7	-		615.59		20.48	9.33
7	5	8	-		197.11		2.00	0.91

Pada skenario empat variasi pembebanan 110%-110%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 110% - 110%; 60% adalah 482 kW (P) dan 220 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 dan 2 sementara 208 kW (P) dan 95 kVar (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.24 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang

dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-5 dan 2-5 13,36 kW (P) dan 6,09 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 3-5 dan 4-5 didapat 2,49 kW (P) dan 1,13 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 560 kW (P) dan 255 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, dan 179 kW (P) dan 82 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 5-6 dan 5-7 20,48 kW (P) dan 9,33 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 5-8 2 kW (P) dan 0,91 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 10,32 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

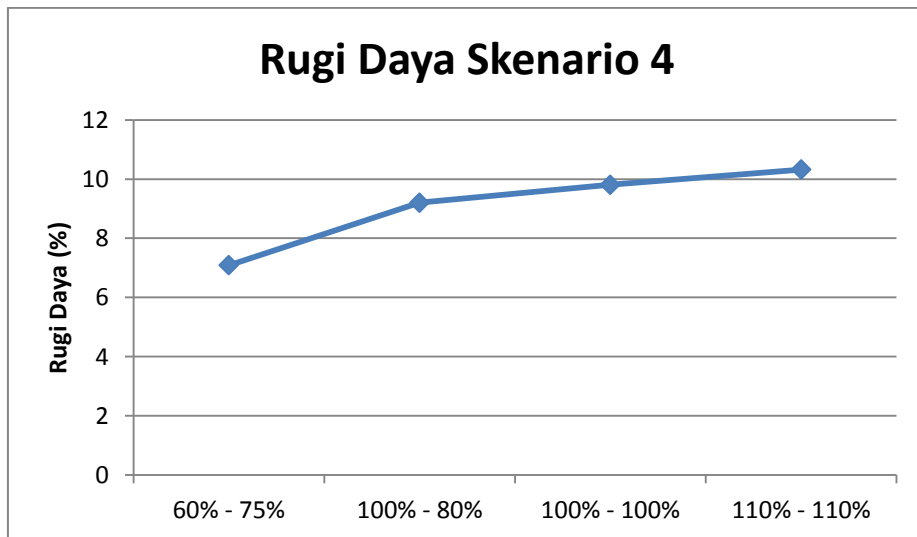
Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario empat variasi pembebanan 110% - 110%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 110% mencapai 6,2% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 3,84%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada *bow thruster* 1 dan 2 skenario empat variasi 110% tidak memenuhi standart dan perlu dilakukan perbaikan. Sementara nilai tegangan jatuh pada semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bias dikatakan aman.

Dari hasil analisis setiap variasi pembebanan dalam skenario 4 dapat disimpulkan bahwa:

Tabel 4.25 Nilai drop tegangan dan *losses* daya skenario 4

Variasi	Branch	Drop Voltage		Losses Daya		
		V	%	P (kW)	Q (kVar)	(%)
60% - 75%; 60%	1 - 5	7.51	-	5.71	2.6	7.09
	2 - 5	7.51	-	5.71	2.6	
	3 - 5	3.25	-	1.07	0.49	
	4 - 5	3.25	-	1.07	0.49	
	5 - 6	7.63	3.65	5.89	2.68	
	5 - 7	9.54	4.11	9.21	4.19	
	5 - 8	4.37	2.86	1.93	0.88	
100% - 80%; 60%	1 - 5	9.62	-	9.36	4.27	9.2
	2 - 5	9.62	-	9.36	4.27	
	3 - 5	4.16	-	1.75	0.8	
	4 - 5	4.16	-	1.75	0.8	
	5 - 6	12.86	5.42	16.72	7.62	
	5 - 7	10.28	4.8	10.7	4.88	
	5 - 8	4.41	3.38	1.97	0.9	

100% - 100%; 60%	1 - 5	10.54	-	11.24	5.12	9.81
	2 - 5	10.54	-	11.24	5.12	
	3 - 5	4.55	-	2.1	0.95	
	4 - 5	4.55	-	2.1	0.95	
	5 - 6	12.88	5.64	16.78	7.64	
	5 - 7	12.88	5.64	16.78	7.64	
	5 - 8	4.42	3.61	1.98	0.9	
110% - 110%; 60%	1 - 5	11.49	-	13.36	6.09	10.32
	2 - 5	11.49	-	13.36	6.09	
	3 - 5	4.95	-	2.49	1.13	
	4 - 5	4.95	-	2.49	1.13	
	5 - 6	14.23	6.2	20.48	9.33	
	5 - 7	14.23	6.2	20.48	9.33	
	5 - 8	4.44	3.84	2	0.91	



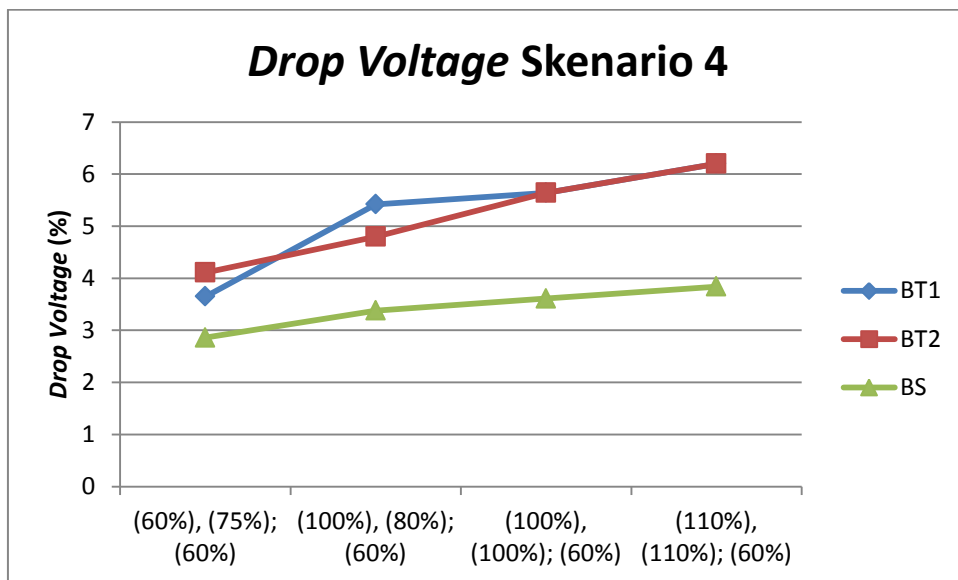
Gambar 4.10 Grafik rugi daya pada skenario 4

Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pembebanan yang dilakukan semakin tinggi losses daya yang terjadi, namun untuk skenario 4 masih bisa dikatakan aman karena masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi pembebanan maka arus (I) yang mengalir juga sangat tinggi,

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

Semakin besar arus (I) maka semakin besar juga losses daya yang terjadi. Hal itu berbanding lurus dengan teori yang ada yaitu,

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



Gambar 4.11 Grafik *drop voltage* pada skenario 4

Dapat dilihat pada gambar 4.11 bahwa nilai tegangan jatuh pada masing-masing variasi pembebanan mengalami kenaikan searah dengan semakin besarnya pembebanan dilakukan. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dari gambar 4.11 dapat disimpulkan bahwa untuk skenario 4 tidak memenuhi standar dan perlu dilakukan perbaikan hingga nilai tegangan bisa memenuhi standar.

IV.6.5. Skenario 5 (satu generator *thruster*, dua *diesel generator*, dua *bow thruster*, semua beban kapal)

Pada Skenario keempat, dua generator *thruster* dan dua *diesel generator* dihubungkan dengan dua *bow thruster* dan semua beban kapal. Dilakukan percobaan *bow thruster* dan beban kapal dengan empat variasi pembebanan diantaranya, 75%-75%; 60%, 80%-80%; 60%, 85%-85%; 60%. Berikut dibawah ini adalah hasil dari uji coba dan analisis pada skenario 5:

A. Variasi pembebanan 75% - 75%; 60%

Tabel 4.26 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 5 variasi 75% - 75%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (V)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1410	532.0	243.0	-	-	0.91	-	-
2	415	607	229.0	104.0	-	-	0.91	-	-
3	415	607	229.0	104.0	-	-	0.91	-	-
4	402	2624	-	-	-	-	-	-	-
5	393	1067	-	-	381	174	0.91	5.37	-
6	393	1067	-	-	381	174	0.91	5.37	-
7	398	489	-	-	177	81	0.91	4.12	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)	Q (kVAr)	S (kVA)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	4	614.96	-	-	-	16.27	7.41
2	2	4	260.74	-	-	-	3.02	1.38
3	3	4	260.74	-	-	-	3.02	1.38
4	4	5	-	-	419.17	-	9.33	4.25
5	4	6	-	-	419.17	-	9.33	4.25
6	4	7	-	-	194.57	-	1.96	0.89

Pada skenario lima variasi pembebanan 75%-75%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 75% - 75%; 60% adalah 532 kW (P) dan 243 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 sementara 229 kW (P) dan 104 kVAr (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.26 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 16,27 kW (P) dan 7,41 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 2-4 dan 3-4 didapat 3,02 kW (P) dan 1,38 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 381 kW (P) dan 174 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, dan 177 kW (P) dan 81 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 4-5 dan 4-6 9,33 kW (P) dan 4,25 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 4-7 1,96 kW (P) dan 0,89 kVAr (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 9,11 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 93% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario lima variasi pembebanan 75% - 75%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan

mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 75% mencapai 5,37% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 4,12%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada bow thruster 1 dan 2 skenario lima variasi 75% tidak memenuhi standart dan perlu dilakukan perbaikan. Sementara nilai tegangan jatuh pada semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bias dikatakan aman.

B. Variasi pembebanan 80% - 80%; 60%

Tabel 4.27 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 5 variasi 80% - 80%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1490	563.0	256.0	-	-	0.91	-	-
2	415	641	242.0	110.0	-	-	0.91	-	-
3	415	641	242.0	110.0	-	-	0.91	-	-
4	402	2773	-	-	-	-	-	-	-
5	391	1141	-	-	406	185	0.91	5.71	-
6	391	1141	-	-	406	185	0.91	5.71	-
7	397	490	-	-	177	81	0.91	4.30	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)	Q (kVAr)	S (kVA)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	4	652.09	-	-	-	18.19	8.29
2	2	4	276.03	-	-	-	3.37	1.53
3	3	4	276.03	-	-	-	3.37	1.53
4	4	5	-	-	446.66	-	10.67	4.86
5	4	6	-	-	446.66	-	10.67	4.86
6	4	7	-	-	194.70	-	1.97	0.90

Pada skenario lima variasi pembebanan 80%-80%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 80% - 80%; 60% adalah 563 kW (P) dan 256 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 sementara 242 kW (P) dan 110 kVAr (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.27 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 18,19 kW (P) dan 8,29 kVAr (Q), sedangkan pada jalur 2-4 dan 3-4 didapat 3,37 kW (P) dan 1,53 kVAr(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 406 kW (P) dan 185 kVAr (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, dan 177 kW (P) dan 81 kVAr (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi

pada bus 4-5 dan 4-6 10,67 kW (P) dan 4,86 kVar (Q), sedangkan pada jalur 4-7 1,97 kW (P) dan 0,9 kVar (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai losses daya sebesar 9,6 % dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya pada skenario lima variasi pembebanan 80% - 80%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster variasi 80% mencapai 5,71% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 4,3%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada bow thruster 1 dan 2 skenario lima variasi 80% tidak memenuhi standart dan perlu dilakukan perbaikan. Sementara nilai tegangan jatuh pada semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bias dikatakan aman.

C. Variasi pembebanan 85% - 85%; 60%

Tabel 4.28 Nilai daya, rugi daya, dan drop voltage skenario 5 variasi 85% - 85%; 60%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1572	594.0	270.0	-	-	0.91	-	-
2	415	676	255.0	116.0	-	-	0.91	-	-
3	415	676	255.0	116.0	-	-	0.91	-	-
4	401	2923	-	-	-	-	-	-	-
5	390	1216	-	-	431	197	0.91	6.04	-
6	390	1216	-	-	431	197	0.91	6.04	-
7	396	491	-	-	177	81	0.91	4.47	-

Branch Data							
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses		
					P (kW)	Q (kVar)	
1	1	4	689.62	-	20.23	9.22	
2	2	4	291.45	-	3.74	1.70	
3	3	4	291.45	-	3.74	1.70	
4	4	5	-	474.07	12.11	5.52	
5	4	6	-	474.07	12.11	5.52	
6	4	7	-	194.83	1.98	0.90	

Pada skenario lima variasi pembebanan 85%-85%; 60% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 85% - 85%; 60% adalah 594 kW (P) dan 270 kVAr (Q) untuk generator thruster 1 sementara

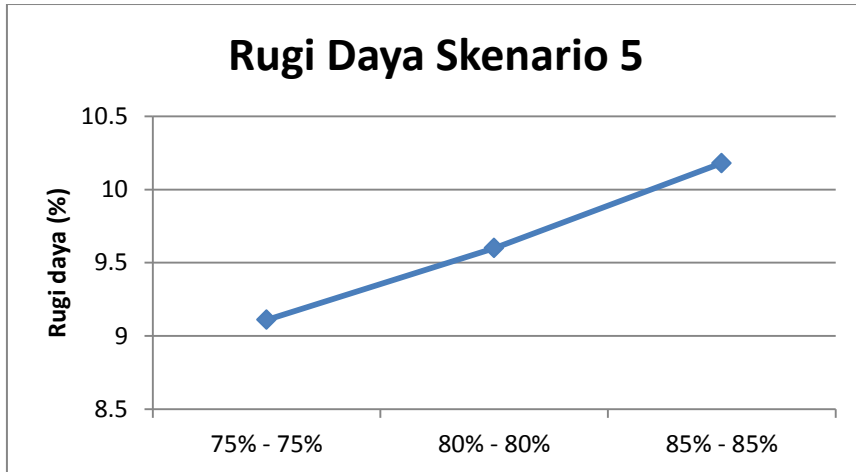
255 kW (P) dan 116 kVar (Q) untuk diesel generator 1 dan 2. Dengan melihat tabel 4.28 maka dapat disimpulkan terjadi *losses* pada daya yang dibangkitkan generator thruster 1 (bus 1), generator thruster 2 (bus 2), dan diesel generator (bus 3) yang masing-masing nilainya yaitu pada jalur bus 1-4 20,23 kW (P) dan 9,22 kVar (Q), sedangkan pada jalur 2-4 dan 3-4 didapat 3,74 kW (P) dan 1,7 kVar(Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 431 kW (P) dan 197 kVar (Q) untuk *bow thruster* 1 dan 2, dan 177 kW (P) dan 81 kVar (Q) untuk semua beban kapal. Maka dapat disimpulkan pula terjadi *losses* pada jalur transmisi pada bus 4-5 dan 4-6 12,11kW (P) dan 5,52 kVar (Q), sedangkan pada jalur 4-7 1,98 kW (P) dan 0,9 kVar (Q). Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 10,18% dan masih dalam batas standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$ atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 96% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario lima variasi pembebanan 85% - 85%; 60% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 85% mencapai 6,04% dan semua beban kapal variasi 60% mencapai 4,47%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada *bow thruster* 1 dan 2 skenario lima variasi 85% tidak memenuhi standart dan perlu dilakukan perbaikan. Sementara nilai tegangan jatuh pada semua beban kapal variasi 60% memenuhi standard, dan bias dikatakan aman.

Dari hasil analisis setiap variasi pembebanan dalam skenario 5 dapat disimpulkan bahwa:

Tabel 4.29 Nilai drop tegangan dan *losses* daya skenario 5

Variasi	Branch	Drop Voltage		Losses Daya		
		V	%	P (kW)	Q (kVar)	(%)
75% - 75%	1 - 4	12.68	-	16.27	7.41	9.11
	2 - 4	5.46	-	3.02	1.38	
	3 - 4	5.46	-	3.02	1.38	
	4 - 5	9.6	5.37	9.33	4.25	
	4 - 6	9.6	5.37	9.33	4.25	
	4 - 7	4.4	4.12	1.96	0.89	
80% - 80%	1 - 4	13.41	-	18.19	8.29	9.6
	2 - 4	5.77	-	3.37	1.53	
	3 - 4	5.77	-	3.37	1.53	
	4 - 5	10.27	5.71	10.67	4.86	
	4 - 6	10.27	5.71	10.67	4.86	
	4 - 7	4.41	4.3	1.97	0.9	
85% - 85%	1 - 4	14.14	-	20.23	9.22	10.18
	2 - 4	6.08	-	3.74	1.7	
	3 - 4	6.08	-	3.74	1.7	
	4 - 5	10.94	6.04	12.11	5.52	
	4 - 6	10.94	6.04	12.11	5.52	
	4 - 7	4.42	4.47	1.98	0.9	



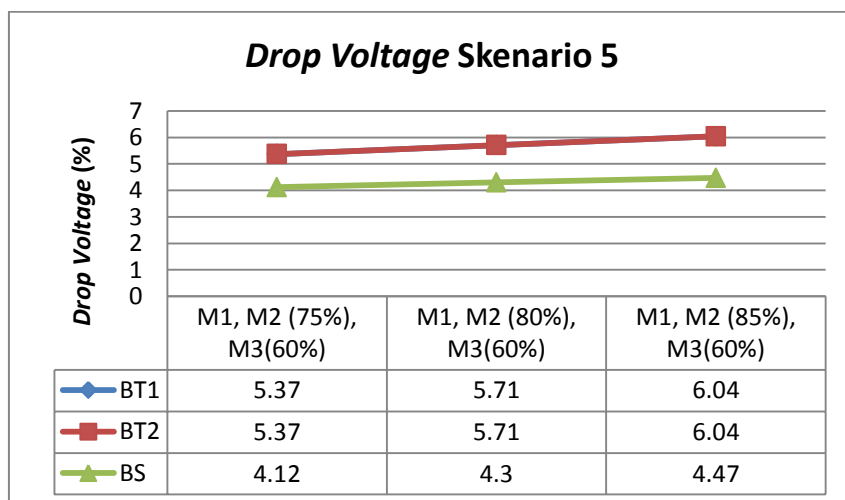
Gambar 4.12 Grafik rugi daya pada skenario 5

Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pembebanan yang dilakukan semakin tinggi losses daya yang terjadi, namun untuk skenario 4 masih bisa dikatakan aman karena masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi pembebanan maka arus (I) yang mengalir juga sangat tinggi,

$$P = V \times I \times \text{Cos}\phi$$

Semakin besar arus (I) maka semakin besar juga losses daya yang terjadi. Hal itu berbanding lurus dengan teori yang ada yaitu,

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



Gambar 4.13 Grafik drop voltage pada skenario 5

Dapat dilihat pada gambar 4.13 bahwa nilai tegangan jatuh pada masing-masing variasi pembebanan mengalami kenaikan searah dengan semakin besarnya pembebanan dilakukan. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dari gambar 4.13 dapat disimpulkan bahwa untuk skenario 5 tidak memenuhi standard dan perlu dilakukan perbaikan hingga nilai tegangan bisa memenuhi standar.

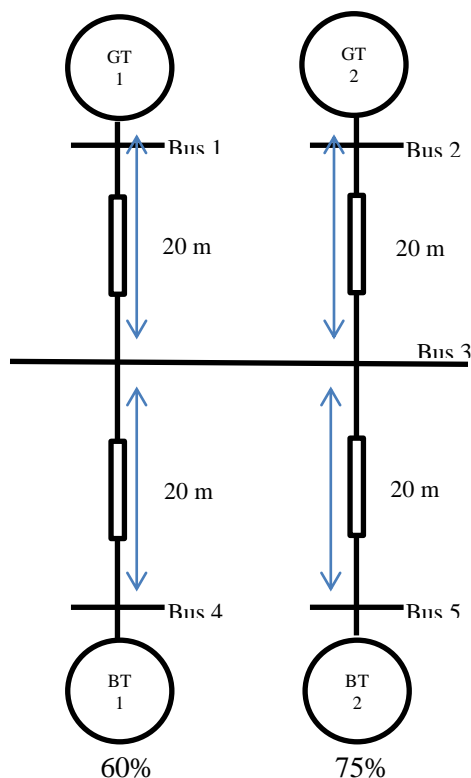
IV.7 Perhitungan manual *Load Flow Analysis*

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan manual. Tujuan dari perhitungan manual ini sendiri adalah untuk mengetahui hasil perhitungan yang nantinya akan divalidasi dengan hasil simulasi pada software matlab. Dari hasil perhitungan pada software matlab nantinya akan dilakukan perbandingan apakah hasil dari kedua perhitungan tersebut mempunyai beda selisih yang cukup jauh atau bahkan mendekati. Berikut adalah contoh perhitungan manual load flow analysis :

- Perhitungan manual *load flow analysis* dibawah ini adalah contoh perhitungan skenario 1 variasi 60% - 75% ,

Skenario 1 :

(2 Generator Thruster, dan 2 Bow Thruster (Beban)). Dengan variasi pembebanan 60% - 75% untuk masing-masing bow thruster.



Gambar 4.14 *Diagram Loadflow Analysisi Skenario 1 variasi 1*

Penyelesaian :

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan aliran daya dari bawah (beban) dalam hal ini adalah 2 buah bow thruster hingga keatas (generator) :

$$\begin{aligned}
 1) \cos \varphi &= \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{(515)^2 + (231)^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{(265.225)^2 + (53.361)^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{(265.225)^2 + (53.361)^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{318.434}}
 \end{aligned}$$

$$\cos \varphi = 0,91$$

$$\begin{aligned}
 2) Z &= 0,445 \Omega/\text{km}, L \text{ (Panjang Kabel)} = 20 \text{ m} \\
 &= 0,009 \Omega/\text{m}
 \end{aligned}$$

$$3) 60\% P = V I \cos \varphi$$

$$I_{BT1} = \frac{60\% P_{BT1}}{V \cos \varphi}$$

$$= \frac{309.000}{415 \times 0,91}$$

$$= 818,217$$

$$\begin{aligned}
 4) \Delta V_{BT1} &= Z \cdot I_{BT1} \\
 &= 0,009 \times 818,217 \\
 &= 7,363
 \end{aligned}$$

$$75\% P = V I \cos \varphi$$

$$I_{BT2} = \frac{75\% P_{BT2}}{V \cos \varphi}$$

$$= \frac{386.250}{415 \times 0,91}$$

$$= 1.022,772$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{BT2} &= Z \cdot I_{BT2} \\
 &= 0,009 \times 1.022,772 \\
 &= 9,204
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5) V_{bus3} &= 415 + \Delta V \\
 &= 415 + 9,204 \\
 &= 424,205
 \end{aligned}$$

$$6) I_g = \frac{(I_1 + I_2)}{2}$$

$$8) V_g = V_{bus3} + \Delta V_g$$

$$= \frac{(818,217+1.022,772)}{2} = 424,205 + 8,284$$

$$= \frac{1.840,989}{2} = 432,489$$

$$= 920,495$$

$$\begin{aligned} 7) \Delta V_g &= Z \cdot I \\ &= 0,009 \times 920,495 \\ &= 8,284 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 9) P_g &= V_g \times I_g \times \cos \phi \\ &= 432,489 \times \\ &\quad 920,495 \times 0,91 \\ &= 362.274,767 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= V_g \times I_g \times \sin \phi \\ &= 165.057 \text{ Var} \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang aliran daya dari atas (generator) dalam hal ini adalah 2 buah generator thruster hingga ke bawah (dua buah bow thruster), dengan menggunakan daya baru generator thruster setelah perhitungan dari beban ke generator:

$$1. P = V I \cos \phi$$

$$I_g = \frac{362.274,767}{415 \times 0,91}$$

$$= \frac{362.273,767}{377,65}$$

$$= 959,288$$

$$\begin{aligned} 2. \Delta V_g &= Z \cdot I \\ &= 0,009 \times \\ &\quad 959,288 \\ &= 8,633 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. V_{bus3} &= V - \Delta V \\ &= 415 - \\ &\quad 8,633 \\ &= 406,366 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. I_{BT1} &= \frac{60}{135} \times (I \times 2) \\ &= \frac{60}{135} \times (1.918,575) \\ &= 852,7002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{BT2} &= \frac{75}{135} \times (I \times 2) \\ &= \frac{75}{135} \times (1.918,575) \\ &= 1.065,875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. \Delta V_{BT1} &= Z \cdot I_1 \\ &= 0,009 \times 852,7002 \\ &= 7,674 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{BT2} &= Z \cdot I_2 \\ &= 0,009 \times 1.065,875 \\ &= 9,592 \end{aligned}$$

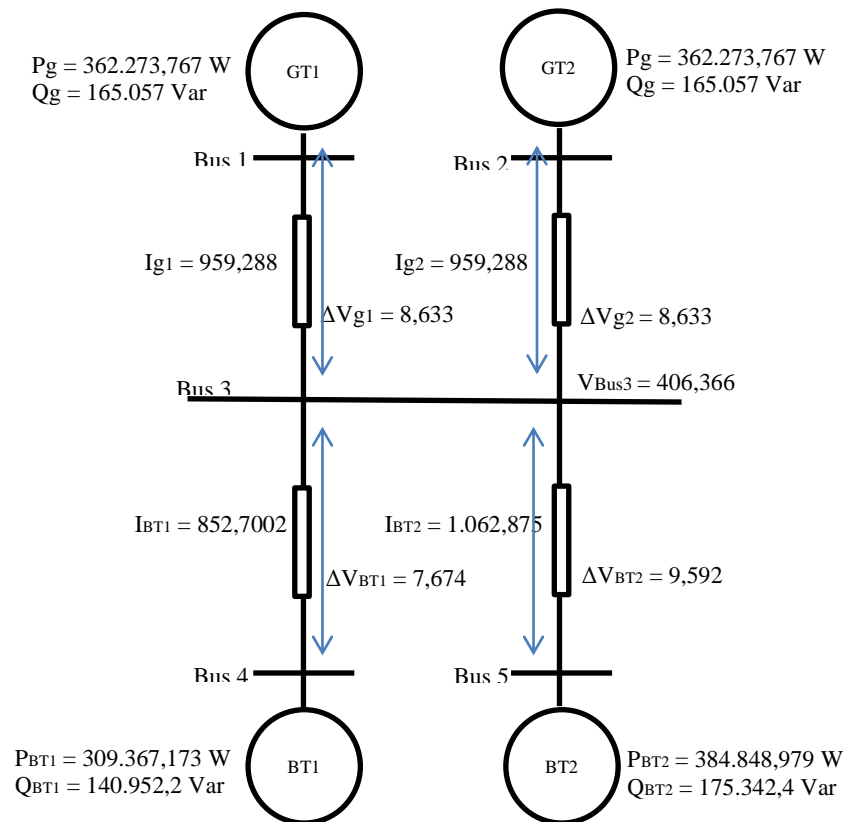
$$6. V_{BT1} = V_{bus3} - \Delta V_{BT1}$$

$$V_{BT2} = V_{bus3} - \Delta V_{BT2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 406,366 - 7,674 \\
 &= 398,692
 \end{aligned}
 \quad \left| \quad
 \begin{aligned}
 &= 406,366 - 9,592 \\
 &= 396,773
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. \quad P_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \cos \varphi \\
 &= 398,692 \times 852,7002 \\
 &\quad \times 0,91 \\
 &= 309.367,173 \text{ watt}
 \end{aligned}
 \quad \left| \quad
 \begin{aligned}
 P_{BT2} &= V_{BT2} \times I_{BT2} \times \cos \varphi \\
 &= 396,773 \times 1.065,875 \\
 &\quad \times 0,91 \\
 &= 384.848,9791 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8. \quad Q_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \\
 &= 140.952,2 \text{ Var}
 \end{aligned}
 \quad \left| \quad
 \begin{aligned}
 Q_{BT2} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \\
 &= 175.342,4 \text{ Var}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.15 Hasil Loadflow Analisis Skenario 1 Variasi 1

Dari perhitungan manual loadflow analysis, didapat selisih nilai antara hasil simulasi matlab dan perhitungan sebesar:

Hasil Simulasi :

$$\begin{aligned}
 P_g &= 362 \text{ kW}, Q_g = 165 \text{ kVar}, \\
 P_{BT1} &= 309 \text{ kW}, Q_{BT1} = 141 \text{ kVar}, \\
 Q_{BT2} &= 385 \text{ kW}, Q_{BT2} = 175 \text{ kVar}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hasil Perhitungan : } P_g &= 362 \text{ kW, } Q_g = 165 \text{ kVar,} \\ P_{BT1} &= 309 \text{ kW, } Q_{BT1} = 140 \text{ kVar,} \\ Q_{BT2} &= 384 \text{ kW, } Q_{BT2} = 175 \text{ kVar} \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan bahwa nilai error masih terbilang kecil dan hasil simulasi dapat dikatakan valid.

IV.8 Perbaikan

Ada 2 cara yang bisa dilakukan untuk mengatasi masalah yang ada, yaitu dengan cara pergantian kabel dan penambahan kapasitor. Berikut dibawah ini adalah pembahasan mengenai perbaikan :

IV.8.1 Perbaikan dengan pergantian kabel

Perbaikan dengan pergantian kabel dapat dilakukan pada penelitian ini yang bertujuan untuk memperbaiki losses yang ada baik itu rugi daya ataupun *drop* tegangan. Data kabel yang awalnya :

$$Z = 0,445 \text{ } \Omega/\text{km, dengan diameter} = 50 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} L \text{ (Panjang Kabel)} &= 20 \text{ m} \\ &= 0,009 \text{ } \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

Diganti menjadi,

$$Z = 0,25 \text{ } \Omega/\text{km, dengan diameter} = 95 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} L \text{ (Panjang Kabel)} &= 20 \text{ m} \\ &= 0,005 \text{ } \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

Perbaikan pergantian kabel ini diambil satu contoh perbaikan, yaitu pada skenario 1 variasi 100% - 100%,

Tabel 4.30 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 1 variasi 100% - 100%

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P (kW)	Q (kVAr)	P (kW)	Q (kVAr)			
1	415	1444	545.0	249.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1444	545.0	249.0	-	-	0.91	-	-
3	402	2727	-	-	-	-	-	-	-
4	389	1444	-	-	511	233	0.91	6.26	-
5	389	1444	-	-	511	233	0.91	6.26	-

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)		S (kVA)		P (kW)	Q (kVar)
1	1	3	634.86		-		17.09	7.78
2	2	3	634.86		-		17.09	7.78
3	3	4	-		561.86		17.09	7.78
4	3	5	-		561.86		17.09	7.78

Tabel 4.31 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 1 variasi 100% - 100% setelah perbaikan pergantian kabel

Bus Data									
Bus #	Voltage (volt)	Current I(A)	Generator		Load		Cos pi	Drop Tegangan (%)	
			P(kW)	Q(kVAr)	P(kW)	Q(kVAr)			
1	415	1409	532.0	242.0	-	-	0.91	-	-
2	415	1409	532.0	242.0	-	-	0.91	-	-
3	408	2817	-	-	-	-	-	-	-
4	401	1409	-	-	514	234	0.91	3.39	
5	401	1409	-	-	514	234	0.91	3.39	

Branch Data								
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator		To Bow Thruster		Losses	
			S (kVA)		S (kVA)		P (kW)	Q (kVar)
1	1	3	603.74		-		9.03	4.11
2	2	3	603.74		-		9.03	4.11
3	3	4	-		564.69		9.03	4.11
4	3	5	-		564.69		9.03	4.11

Tabel 4.32 Perbandingan Nilai drop tegangan dan losses daya skenario 1 variasi 100% - 100% sebelum dan sesudah pergantian kabel

Sebelum Pergantian Kabel					
Variasi	Branch	Drop Voltage		Losses Daya	
		V	%	P (kW)	Q (kVar)
100% - 100%	1 - 3	12.99	-	17.09	7.78
	2 - 3	12.99	-	17.09	7.78
	3 - 4	12.99	6.26	17.09	7.78
	3 - 5	12.99	6.26	17.09	7.78
Setelah Pergantian Kabel					
Variasi	Branch	Drop Voltage		Losses Daya	
		V	%	P (kW)	Q (kVar)
100% - 100%	1 - 3	7.04	-	9.03	4.11
	2 - 3	7.04	-	9.03	4.11
	3 - 4	7.04	3.39	9.03	4.11
	3 - 5	7.04	3.39	9.03	4.11

Pada tabel 4.32 dapat diambil kesimpulan, dengan pergantian kabel dapat mengurangi rugi daya, tidak hanya itu pergantian kabel juga dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi. Dari hasil analisa aliran daya, nilai losses daya sebelum pergantian kabel sebesar 11,49 % atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 88% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$. Sementara setelah pergantian kabel nilai losses daya sebesar 4,87% atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 96% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$

Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya pada skenario satu variasi pembebanan 100% - 100% juga diketahui nilai tegangan dan drop tegangan yang terjadi. Dapat dilihat kondisi tegangan yang dibangkitkan mengalami penurunan ketika dilakukan pembebanan, diketahui *drop* tegangan yang terjadi sebelum pergantian kabel dari generator hingga bow thruster variasi 100% mencapai 6,26%, sementara setelah pergantian kabel dari generator hingga bow thruster variasi 100% mencapai 3,39%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa pergantian kabel dapat menurunkan nilai tegangan jatuh.

IV.8.2 Perbaikan dengan Penambahan kapasitor

Tidak hanya dengan pergantian kabel, Perbaikan juga dapat dilakukan dengan cara menurunkan arus pada beban ataupun dengan meningkatkan nilai faktor daya. 2 faktor tersebut bisa didapatkan dari *load flow analysis*. Selain mengetahui nilai arus dan faktor daya, pada simulasi tersebut bisa didapatkan juga nilai tegangan dan daya. Secara teori nilai rugi daya ataupun tegangan jatuh tidak dapat dihilangkan akan tetapi bisa diminimalkan prosentasinya. Pada *load flow analysis* terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk dapat meminimalkan nilai rugi daya dan tegangan jatuh yaitu dengan memeberikan beban kapasitif

(kapasitor) atau dengan memvariasikan tap transformator yang bekerja menurunkan nilai arus dan menaikkan factor daya sehingga nilai tegangan bisa semakin naik.

Berikut merupakan contoh perhitungan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki nilai factor daya dan menurunkan nilai arus dalam operasi beban *bow thruster*. pada skenario 1 (dua *generator thruster*) untuk suplai dua buah *bow thruster* variasi beban 100% :

Diketahui :

$$P \quad \quad \quad : 515 \text{ kw}$$

$$\text{P.f lama} \quad \quad : 0,91$$

$$\text{P.f diinginkan} \quad : 0,95$$

$$\tan \phi = \frac{Q}{P}$$

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

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

Dimana,

Q = Daya reaktif

P = Daya Nyata

Sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{\text{kompensasi}} &= Q_{\text{lama}} - Q_{\text{baru}} \\ &= [P \times \tan (\text{arc cos } \Phi_{\text{lama}})] - [P \times \tan (\text{arc cos } \Phi_{\text{baru}})] \\ &= P \times [\tan (\text{arc cos } \Phi_{\text{lama}}) - \tan (\text{arc cos } \Phi_{\text{baru}})] \\ &= 515 \times [\tan (\text{arc cos } (0.91)) - \tan (\text{arc cos } (0.95))] \\ &= 515 \times [\tan (24,495) - \tan (18,194)] \\ &= 515 \times [0.455 - 0.328] \\ &= 65,405 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Mencari Nilai Farad dari kapasitor, Diketahui :

$$\text{kVAR} = 65,405 \text{ kVAR}$$

$$V = 415 \text{ Volt}$$

$$F = 50 \text{ Hz}$$

C = kapasitas kapasitor dalam satuan farad

$$C = \frac{\text{kVAR}}{2\pi fV^2}$$

Sehingga,

$$C = 65,405 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (415)^2$$

$$C = 1.209442174 \times 10^{-03} \text{ Farad}$$

setelah penambahan kapasitor sebesar 65,405 kVar nilai factor daya meningkat dari nilai sebelumnya sebesar 91% sehingga menjadi 95%.

Penerapan Perbaikan Penambahan Kapasitor pada matlab :

```
%% Tambahan kapasitor
pi_gen = acos(Generator(1,3));
P_b = V_bus .* I_motor .* cos(pi_gen);
Q_b = V_bus .* I_motor .* sin(pi_gen);
Q_cap = Daya_Kapasitor * 1000;

S_b = sqrt([sum(P_b).^2 + (sum(Q_b)+Q_cap).^2]);
I_b = sum(I_motor, 'omitnan');
V_b = S_b./I_b;
I_m = I_b .* rasio_mot;
V_m = (V_b - DV_motor) .* (Motor(:,2)~=0);
S_m = V_m .* I_m;
pi_motor = acos(0.95);
P_m = S_m .* cos(pi_motor);
Q_m = S_m .* sin(pi_motor);
V_drop_persen = 100-(100 .* V_m ./ 415);
P_m_loss = sum(P_gen) - sum(P_m);
Q_m_loss = sum(Q_gen) - sum(Q_m);
```

Tabel 4.33 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 1 variasi 60% - 75% setelah perbaikan penambahan kapasitor

Bus Data dengan Kapasitor Bank															
Bus #	Capacitor Bank (KVar)	From Bus	To Bus	From Generator S (KVA)	To Bow Thruster S (KVA)	Losses P (kW)	Losses Q (KVar)	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator P (kW)	Generator Q (KVar)	Load P (kW)	Load Q (KVar)	cos pi	Drop Tegangan (\$)
1	-			401.04	-	7.54	3.43	415	959	362.3	165.1	-	-	0.91	-
2	-			401.04	-	7.54	3.43	415	959	362.3	165.1	-	-	0.91	-
3	65.41			-	352.99	6.22	2.04	422	1919	-	-	-	-	-	-
4	-			-	439.19	9.71	3.19	414	853	-	-	335.3	110.2	0.95	0.25
5	-			-	-	-	-	412	1066	-	-	417.2	137.1	0.95	0.71

Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Branch	From Bus	To Bus	From Generator S (KVA)	To Bow Thruster S (KVA)	Losses P (kW)	Losses Q (KVar)							
1	1	3	401.04	-	7.54	3.43							
2	2	3	401.04	-	7.54	3.43							
3	3	4	-	352.99	6.22	2.04							
4	3	5	-	439.19	9.71	3.19							

Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapasitor scenario satu variasi 60%-75%, nilai losses daya yang awalnya 8,06% turun menjadi 1,23% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya setelah penambahan kapasitor pada skenario satu variasi pembebanan 60% - 75% juga diketahui nilai drop tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster turun, yang awalnya 3,93% turun menjadi 0,25% untuk bow thruster 1 dan 4,39% turun menjadi 0,71% untuk bow thruster 2. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$.

Dapat disimpulkan bahwa setelah penambahan kapasitor nilai losses yang ada sudah memenuhi standard, yaitu untuk losses daya $\geq 30\%$ menurut IEEE dan untuk drop tegangan $\leq 5\%$ menurut IEC.

Tabel 4.34 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 1 variasi 100% - 80% setelah perbaikan penambahan kapasitor

Bus Data dengan Kapasitor Bank													
Bus #	Capacitor Bank (kVar)	Voltage (Volt)	Current I (A)	Generator P (kW)	Generator Q (kVar)	Load P (kW)	Load Q (kVar)	cos ϕ	Drop Tegangan (%)				
1	-	415	1296	489.5	223.0	-	-	0.91	-				
2	-	415	1296	489.5	223.0	-	-	0.91	-				
3	65.41	414	2593	-	-	-	-	-	-				
4	-	401	1440	-	-	549.3	180.6	0.95	3.26				
5	-	404	1152	-	-	442.3	145.4	0.95	2.64				

Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Branch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (kVar)							
1	1	3	543.28	-	13.76	6.27							
2	2	3	543.28	-	13.76	6.27							
3	3	4	-	578.24	17.74	5.83							
4	3	5	-	465.58	11.35	3.73							

Tabel 4.35 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 1 variasi 100% - 100% setelah perbaikan penambahan kapasitor

Bus Data dengan Kapasitor Bank													
Bus #	Capacitor Bank (kVar)	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator P (kW)	Generator Q (kVAr)	Load P (kW)	Load Q (kVAr)	cos pi	Drop Tegangan (\$)				
1	-	415	1444	545.5	248.5	-	-	0.91	-				
2	-	415	1444	545.5	248.5	-	-	0.91	-				
3	65.41	412	2889	-	-	-	-	-	-				
4	-	399	1444	-	-	547.4	179.9	0.95	3.88				
5	-	399	1444	-	-	547.4	179.9	0.95	3.88				

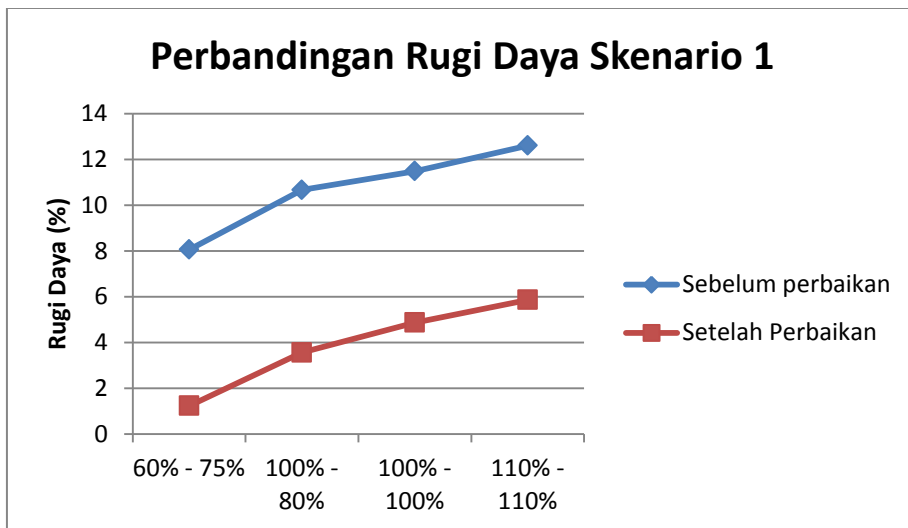
Branch Data dengan Kapasitor Bank									
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (kVAr)			
1	1	3	605.65	-	17.09	7.78			
2	2	3	605.65	-	17.09	7.78			
3	3	4	-	576.16	17.84	5.86			
4	3	5	-	576.16	17.84	5.86			

Tabel 4.36 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 1 variasi 110% - 110% setelah perbaikan penambahan kapasitor

Bus Data dengan Kapasitor Bank															
Bus #	Capacitor Bank (KVar)	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator P (kW)	Generator Q (KVAR)	Load P (kW)	Load Q (KVAR)	cos pi	Drop Tegangan (\$)	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (KVAR)
1	-	415	1598	603.4	274.9	-	-	0.91	-					20.91	9.52
2	-	415	1598	603.4	274.9	-	-	0.91	-					20.91	9.52
3	65.41	410	3195	-	-	-	-	-	-					21.82	7.17
4	-	395	1598	-	-	599.8	197.1	0.95	4.78					21.82	7.17
5	-	395	1598	-	-	599.8	197.1	0.95	4.78					21.82	7.17

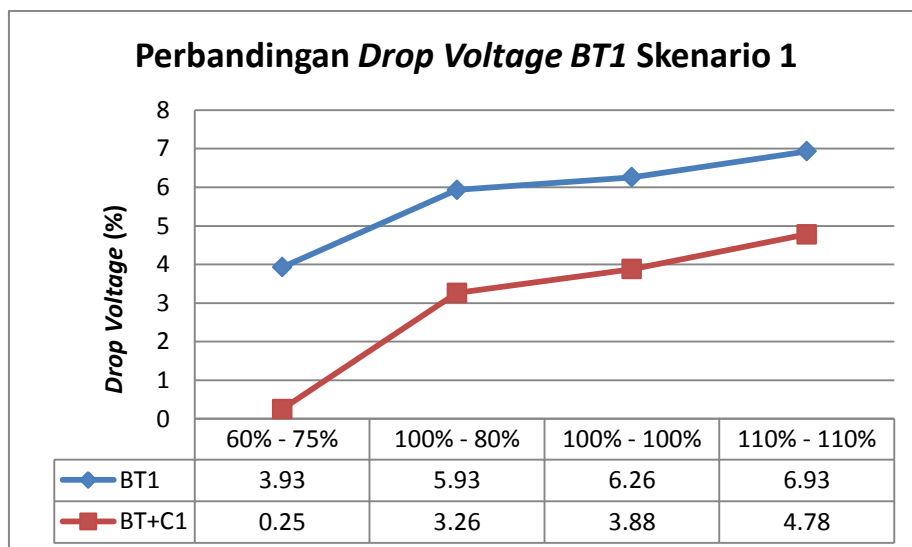
Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Branch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (KVAR)							
1	1	3	670.64	-	20.91	9.52							
2	2	3	670.64	-	20.91	9.52							
3	3	4	-	631.32	21.82	7.17							
4	3	5	-	631.32	21.82	7.17							

Berikut dibawah ini menunjukkan grafik perbandingan nilai rugi daya dan tegangan jatuh skenario 1 sebelum dan setelah dilakukan perbaikan penambahan kapasitor :



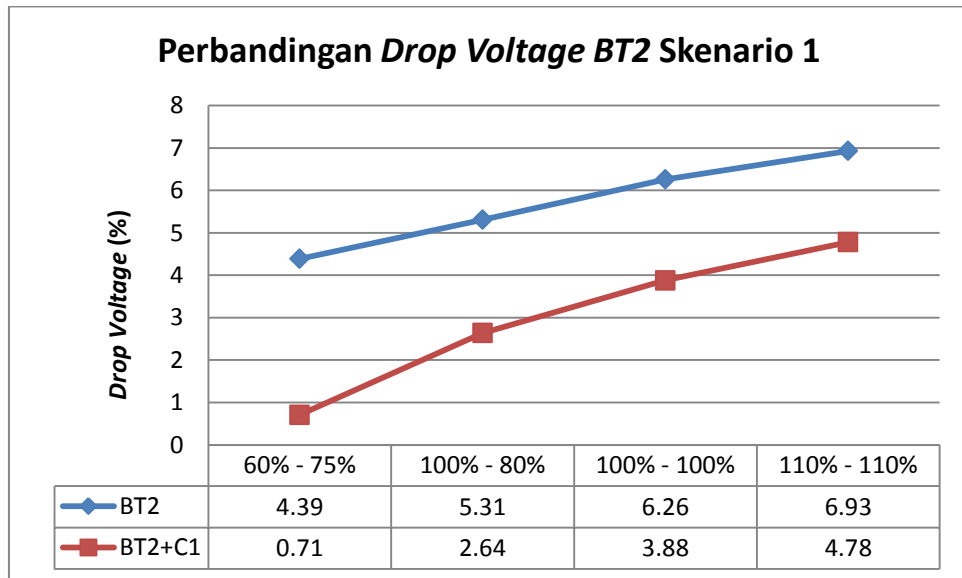
Gambar 4.16 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 1

Dari hasil perbaikan penambahan kapasitor pada gambar 4.16 terjadi penurunan rugi daya dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.



Gambar 4.17 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT1 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 1

Dapat dilihat pada gambar 4.17 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.



Gambar 4.18 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT2 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 1

Dapat dilihat pada gambar 4.18 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.

Tabel 4.37 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 2 variasi 60% - 60% setelah perbaikan penambahan kapasitor

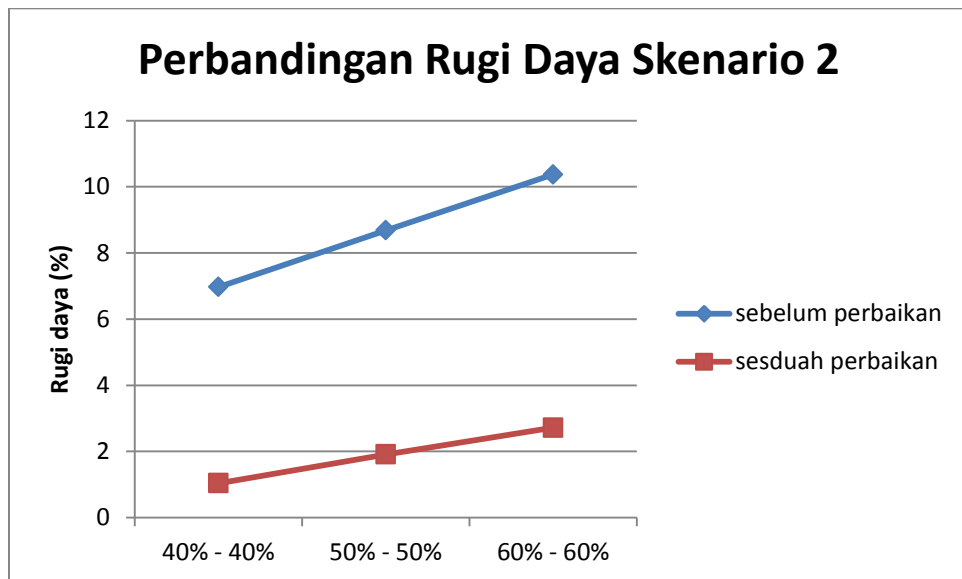
Bus Data dengan Kapasitor Bank													
Bus #	Capacitor Bank (kVar)	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator P (kW)	Generator Q (kVAr)	Load P (kW)	Load Q (kVAr)	cos pi	Drop Tegangan (%)				
1	-	415	1724	650.9	296.6	-	-	0.91	-				
2	65.41	417	1724	-	-	-	-	-	-				
3	-	409	862	-	-	334.8	110.0	0.95	1.47				
4	-	409	862	-	-	334.8	110.0	0.95	1.47				

Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Branch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (kVAr)							
1	1	2	721.96	-	24.33	11.08							
2	2	3	-	352.38	6.35	2.09							
3	2	4	-	352.38	6.35	2.09							

Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapsitor scenario dua variasi 60%-60%, nilai losses daya yang awalnya 10,37% turun menjadi 2,72 % dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

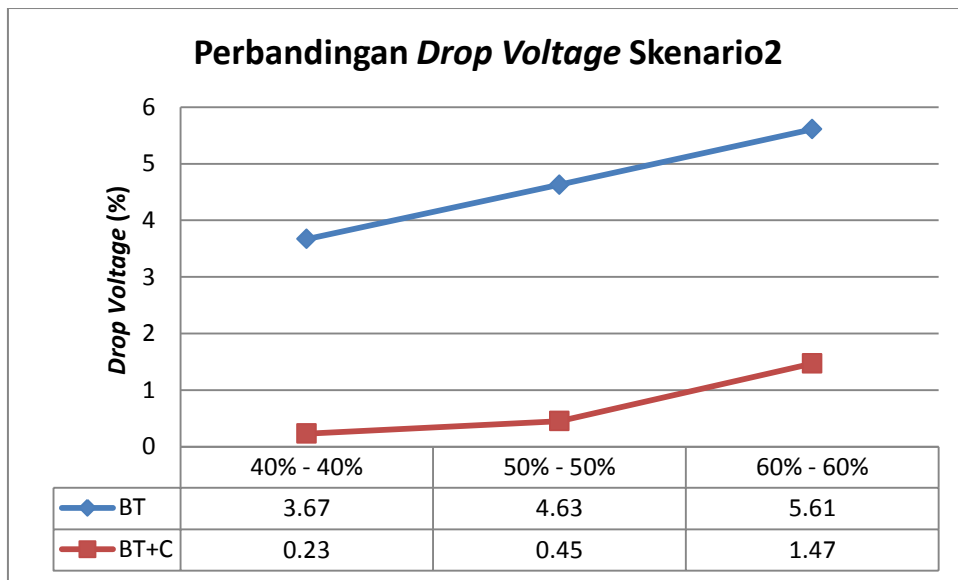
Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya setelah penambahan kapasitor pada skenario satu variasi pembebanan 60% - 75% juga diketahui nilai drop tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster turun, yang awalnya 5,61% turun menjadi 1,47%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$.

Dapat disimpulkan bahwa setelah penambahan kapasitor nilai losses yang ada sudah memenuhi standard, yaitu untuk losses daya $\geq 30\%$ menurut IEEE dan untuk drop tegangan $\leq 5\%$ menurut IEC.



Gambar 4.19 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 2

Dari hasil perbaikan penambahan kapasitor pada gambar 4.20 terjadi penurunan rugi daya dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.



Gambar 4.20 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 2

Dapat dilihat pada gambar 4.21 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.

Tabel 4.38 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 3 variasi 60% - 75% setelah perbaikan penambahan kapasitor

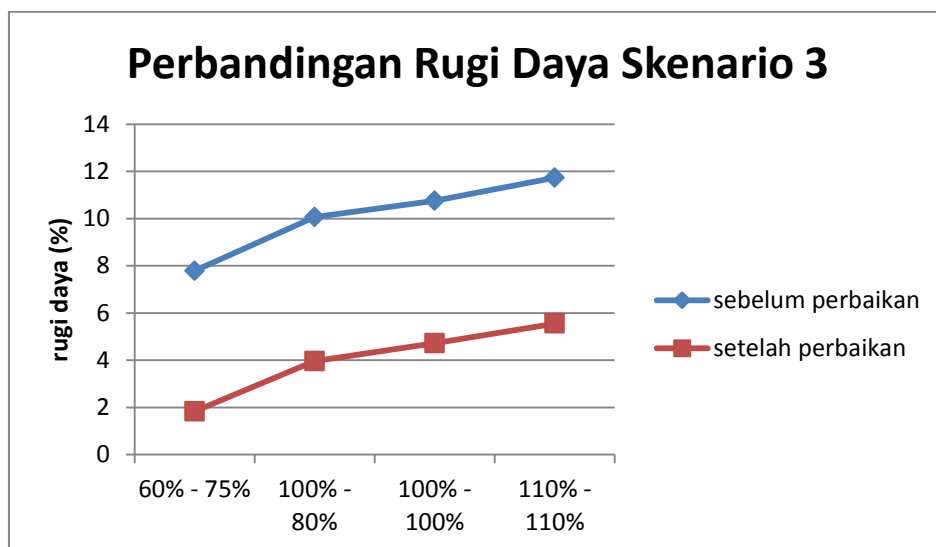
Bus Data dengan Kapasitor Bank													
Bus #	Capacitor Bank (KVar)	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bus	From Generator S (kVA)	Generator P (kW)	Generator Q (KVar)	Load P (kW)	Load Q (KVar)	cos ϕ	Drop Tegangan (\$)	Losses P (kW)	Losses Q (KVar)
1	-	4	413.08		-	7.99	3.64			0.91	-		
2	-	4	413.08		-	7.99	3.64			0.91	-		
3	-	4	178.36		-	1.50	0.68			0.91	-		
4	65.41	5	-		349.50	6.20	2.04			-	-		
5	-	6	-		434.84	9.69	3.18			0.95	1.09		
6	-	7	-		201.73	2.03	0.67			0.95	1.56		
7	-									0.95	0.30		

Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Branch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bus	From Generator S (kVA)	Generator P (kW)	Generator Q (KVar)	Load P (kW)	Load Q (KVar)	cos ϕ	Drop Tegangan (\$)	Losses P (kW)	Losses Q (KVar)
1	1	4	413.08		-	7.99	3.64			0.91	-		
2	2	4	413.08		-	7.99	3.64			0.91	-		
3	3	4	178.36		-	1.50	0.68			0.91	-		
4	4	5	-		349.50	6.20	2.04			-	-		
5	4	6	-		434.84	9.69	3.18			0.95	1.09		
6	4	7	-		201.73	2.03	0.67			0.95	1.56		

Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapsitor scenario tiga variasi 60%-75%; 60%, nilai losses daya yang awalnya 7,78% turun menjadi 1,83% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

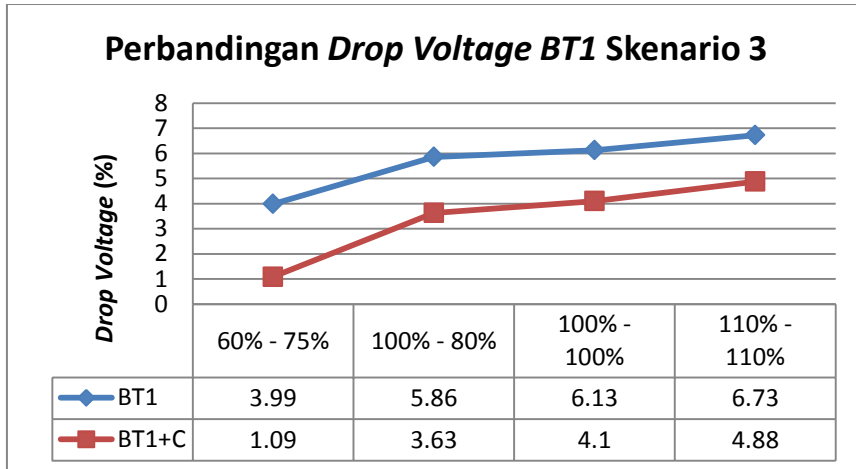
Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya setelah penambahan kapasitor pada skenario satu variasi pembebanan 60% - 75% juga diketahui nilai drop tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster turun, yang awalnya 3,99% turun menjadi 1,09% untuk bow thruster 1 dan 4,45% turun menjadi 1,56% untuk bow thruster 2. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$.

Dapat disimpulkan bahwa setelah penambahan kapasitor nilai losses yang ada sudah memenuhi standard, yaitu untuk losses daya $\geq 30\%$ menurut IEEE dan untuk drop tegangan $\leq 5\%$ menurut IEC.



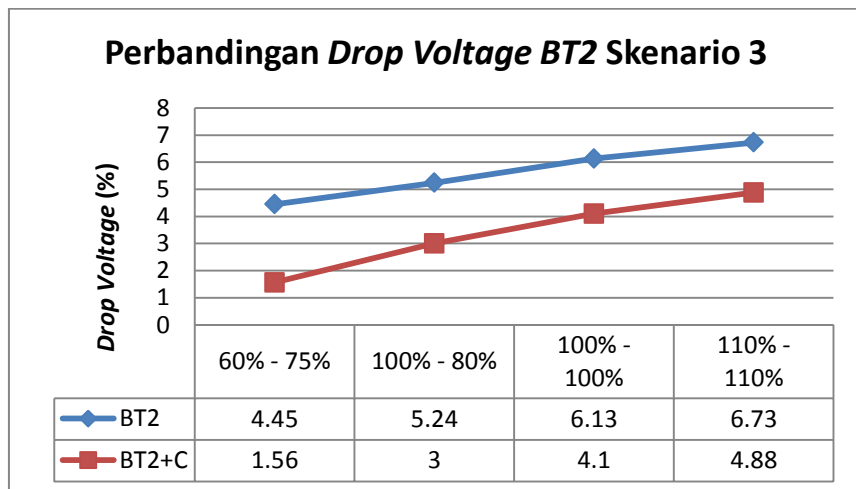
Gambar 4.21 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 3

Dari hasil perbaikan penambahan kapasitor pada gambar 4.22 terjadi penurunan rugi daya dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.



Gambar 4.22 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT1 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 3

Dapat dilihat pada gambar 4.23 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.



Gambar 4.23 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT2 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 3

Dapat dilihat pada gambar 4.24 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.

Tabel 4.39 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 4 variasi 100% - 100% setelah perbaikan penambahan kapasitor

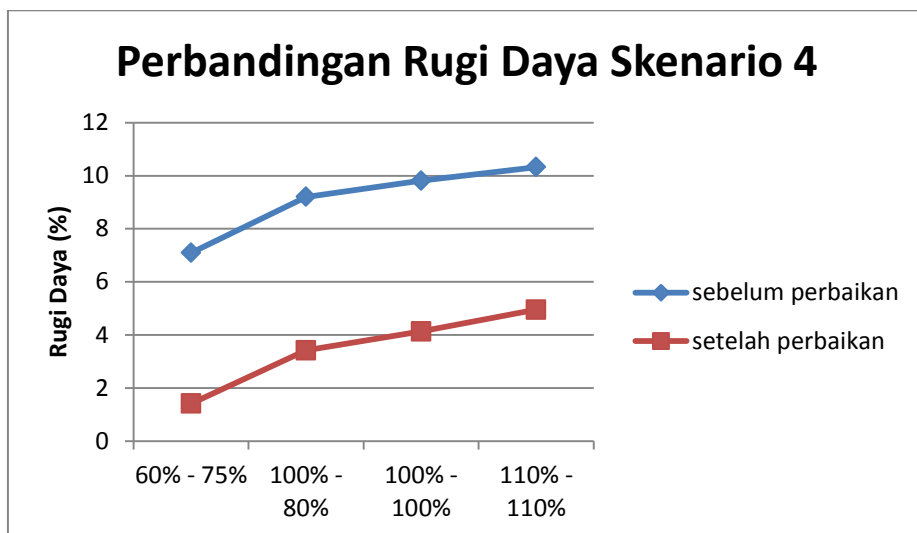
Bus Data dengan Kapasitor Bank													
Bus #	Capacitor Bank (kVar)	Voltage (volt)	Current I (A)	Generator P (kW)	Generator Q (kVar)	Load P (kW)	Load Q (kVar)	cos pi	Drop Tegangan (\$)				
1	-	415	1171	442.3	201.5	-	-	0.91	-				
2	-	415	1171	442.3	201.5	-	-	0.91	-				
3	-	415	506	191.0	87.0	-	-	0.91	-				
4	-	415	506	191.0	87.0	-	-	0.91	-				
5	65.41	413	3354	-	-	-	-	-	-				
6	-	400	1431	-	-	543.9	178.8	0.95	3.60				
7	-	400	1431	-	-	543.9	178.8	0.95	3.60				
8	-	408	492	-	-	190.8	62.7	0.95	1.57				

Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Brnch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (kVar)							
1	1	5	490.67	-	11.24	5.12							
2	2	5	490.67	-	11.24	5.12							
3	3	5	211.40	-	2.10	0.95							
4	4	5	211.40	-	2.10	0.95							
5	5	6	-	572.57	17.52	5.76							
6	5	7	-	572.57	17.52	5.76							
7	5	8	-	200.88	2.07	0.68							

Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapasitor scenario empat variasi 100%-100%, nilai losses daya yang awalnya 9,81% turun menjadi 4,13 % dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

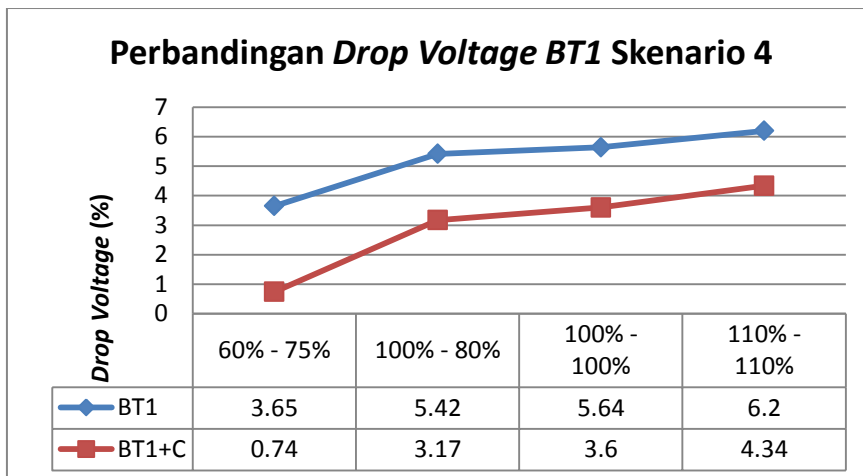
Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya setelah penambahan kapasitor pada skenario empat variasi pembebanan 100% - 100% juga diketahui nilai drop tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster turun, yang awalnya 5,64% turun menjadi 3,6%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$.

Dapat disimpulkan bahwa setelah penambahan kapasitor nilai losses yang ada sudah memenuhi standard, yaitu untuk losses daya $\geq 30\%$ menurut IEEE dan untuk drop tegangan $\leq 5\%$ menurut IEC.



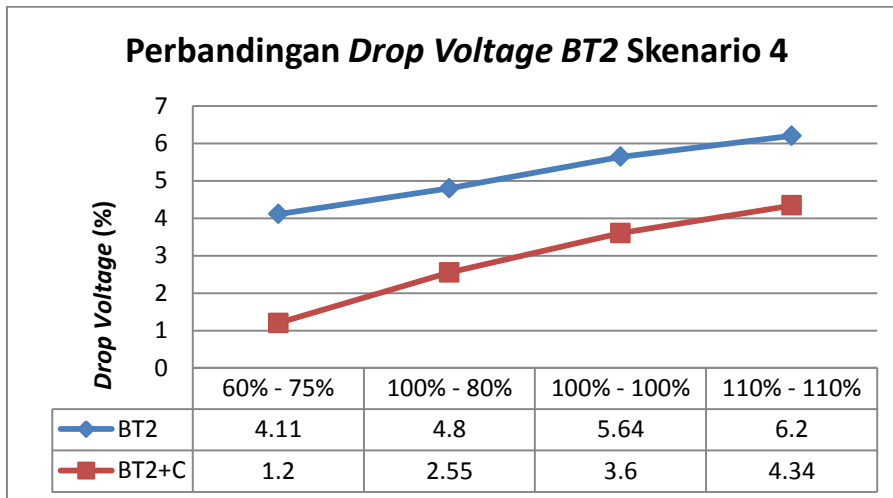
Gambar 4.24 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 4

Dari hasil perbaikan penambahan kapasitor pada gambar 4.25 terjadi penurunan rugi daya dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.



Gambar 4.25 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT1 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 4

Dapat dilihat pada gambar 4.26 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.



Gambar 4.26 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh BT2 sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 4

Dapat dilihat pada gambar 4.27 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.

Tabel 4.40 Hasil Simulasi Analisa Aliran Daya skenario 5 variasi 85% - 85% setelah perbaikan penambahan kapasitor

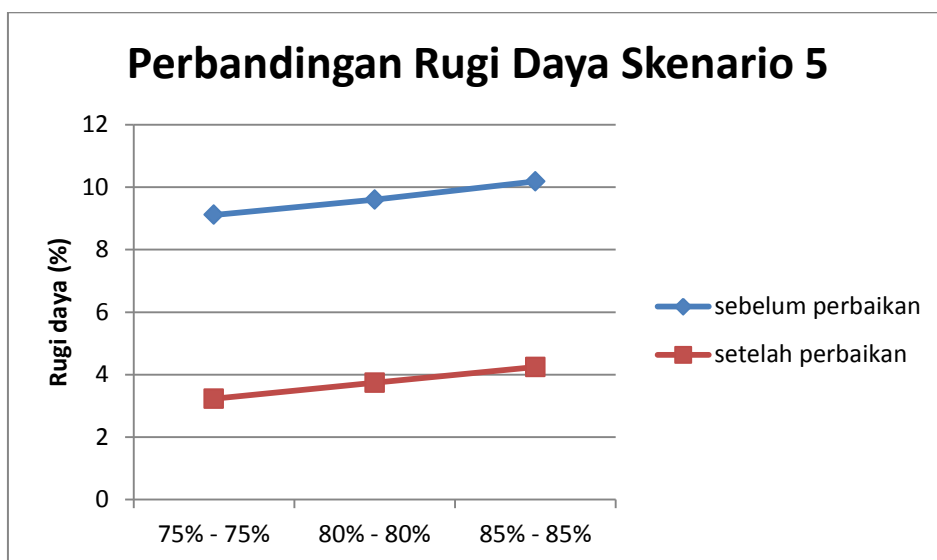
Bus Data dengan Kapasitor Bank													
Bus #	Capacitor Bank (kVar)	Voltage (Volt)	Current I(A)	Generator P (kW)	Generator Q (kVar)	Load P (kW)	Load Q (kVar)	cos ϕ	Drop Tegangan (%)				
1	-	415	1572	593.5	270.4	-	-	0.91	-				
2	-	415	676	255.2	116.3	-	-	0.91	-				
3	-	415	676	255.2	116.3	-	-	0.91	-				
4	65.41	411	2923	-	-	-	-	-	-				
5	-	400	1216	-	-	461.7	151.7	0.95	3.69				
6	-	400	1216	-	-	461.7	151.7	0.95	3.69				
7	-	406	491	-	-	189.7	62.3	0.95	2.12				

Branch Data dengan Kapasitor Bank													
Branch	From Bus	To Bus	From Generator S (kVA)	To Bow Thruster S (kVA)	Losses P (kW)	Losses Q (kVar)							
1	1	4	658.79	-	20.23	9.22							
2	2	4	282.37	-	3.74	1.70							
3	3	4	282.37	-	3.74	1.70							
4	4	5	-	485.96	12.64	4.15							
5	4	6	-	485.96	12.64	4.15							
6	4	7	-	199.64	2.07	0.68							

Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapasitor scenario lima variasi 85%-85%, nilai losses daya yang awalnya 10,18% turun menjadi 4,24 % dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

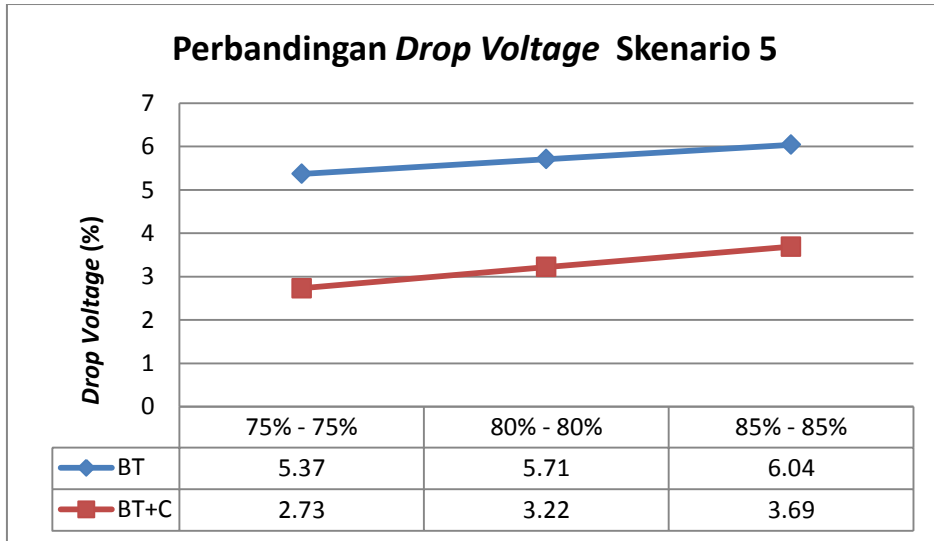
Tidak Hanya Nilai Daya dan Losses daya, dari simulasi aliran daya setelah penambahan kapasitor pada skenario lima variasi pembebanan 85% - 85% juga diketahui nilai drop tegangan yang terjadi dari generator hingga bow thruster turun, yang awalnya 6,04% turun menjadi 3,69%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$.

Dapat disimpulkan bahwa setelah penambahan kapasitor nilai losses yang ada sudah memenuhi standard, yaitu untuk losses daya $\geq 30\%$ menurut IEEE dan untuk drop tegangan $\leq 5\%$ menurut IEC.



Gambar 4.27 Perbandingan Nilai Rugi Daya sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 5

Dari hasil perbaikan penambahan kapasitor pada gambar 4.28 terjadi penurunan rugi daya dan masih dalam batas standard IEEE yaitu losses daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.



Gambar 4.28 Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh sebelum dan setelah penambahan kapasitor pada skenario 5

Dapat dilihat pada gambar 4.29 Setelah penambahan kapasitor diketahui nilai drop tegangan sudah memenuhi standar yang ada. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh setelah penambahan kapasitor dapat menurunkan tegangan jatuh yang terjadi dan memenuhi standart.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis aliran daya dengan berbagai skenario konfigurasi serta variasi beban pada kapal AHTS BNI Castor, berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* pada perangkat lunak *software simulation* maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari Hasil Analisis aliran daya menggunakan aplikasi didapatkan nilai daya aktif (P), daya reaktif (Q) pada operasional *dynamic positioning*. Pada skenario satu variasi pembebanan 60%-75% didapat besarnya total daya yang harus dibangkitkan generator untuk memenuhi beban 60% - 75% adalah 362 kW (P) dan 172 kVAr (Q). Pada sisi beban total daya yang diterima dari sisi pembangkitan yaitu 309 kW (P) dan 141 kVAr (Q) untuk *bow thruster 1*, 385 kW (P) dan 175 (Q) untuk *bow thruster 2*.

2. Setelah dilakukan beberapa skenario dan variasi pembebanan didapatkan nilai rugi daya dan tegangan jatuh (*drop voltage*). Pada skenario satu variasi pembebanan 60%-75% didapat *losses*. Dari hasil analisa aliran daya, nilai *losses* daya sebesar 4,18 % atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Tidak Hanya Nilai Daya dan *Losses* daya, dari simulasi aliran daya pada skenario satu variasi pembebanan 60% - 75% juga diketahui nilai *drop* tegangan yang terjadi. Diketahui *drop* tegangan yang terjadi dari generator hingga *bow thruster* variasi 60% mencapai 3,93% dan variasi 75% mencapai 4,39%. Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh pada skenario satu variasi 60% - 75% memenuhi standard, dan bisa dikatakan aman.

3. Terdapat dua metode perbaikan yang dilakukan untuk memperbaiki nilai rugi daya dan tegangan jatuh, Metode perbaikan diterapkan pada skenario 1 variasi pembebanan ke 3. Yang pertama adalah Perbaikan dengan pergantian kabel, kabel diubah dari ukuran 50 mm² menjadi 95 mm² Upaya ini meminimalkan rugi daya sebesar 4,87% atau bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 96% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$, sementara tegangan jatuh yang terjadi pada *bow thruster 1 dan 2* 6,26 % turun menjadi 3,39 %, Sesuai standard dari IEC bahwa besarnya nilai tegangan jatuh yang diperbolehkan adalah $\leq 5\%$.

Kemudian perbaikan dengan metode penambahan kapasitor sebesar 65,405 kVar diterapkan pada beban *bow thruster 1 dan 2*, Dari hasil analisa aliran daya setelah penambahan kapsitor, nilai *losses* daya turun sebesar 4,87% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu *losses* daya $\geq 30\%$. Dan bisa dikatakan efisiensi daya pada variasi pembebanan ini mencapai 95% dan masih dalam batas sesuai standard IEEE yaitu $\geq 50\%$.

Dari aspek teknis perbaikan dengan penggantian kabel pengaplikasiannya akan lebih rumit, memerlukan SDM lebih banyak dan memerlukan waktu lebih lama, karena harus melepas seluruh kabel bermasalah yang sudah terhubung atau tertanam pada struktur kapal tersebut. Sedangkan, perbaikan dengan penambahan kapasitor cukup mengaplikasikan penambahan kapasitor sesuai dengan jumlah yang di tentukan kepada bus yang mengalami tegangan jatuh.

Dari aspek ekonomis perbaikan dengan penggantian kabel akan memakan biaya lebih besar dikarenakan, penggantian kabel yang tertanam pada kabel memungkinkan kapal harus docking atau repair pada dermaga selama beberapa waktu, dengan begitu terjadi pengurangan *income* saat kapal berhenti bekerja, sedangkan untuk kapasitor biaya pengeluaran mungkin juga cukup besar karena besarnya kapasitas kapasitor yang di butuhkan, namun karena penambahan kapasitor tidak memerlukan waktu yang cukup lama sehingga kapal memungkinkan untuk sandar hanya sehari saja atau mungkin tidak diperlukan sandar pada dermaga galangan.

V.2 Saran

Dalam pengerjaan penelitian simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan kapal *dynamic positioning* menggunakan matlab penulis memberikan saran - saran yang perlu dipertimbangkan apabila ingin mengembangkan penelitian ini agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

1. Data variasi beban pada setiap konfigurasi sebaiknya menggunakan data dari log book *dynamic positioning*, agar hasil yang didapatkan mendekati kondisi sebenarnya
2. Melakukan analisa aliran daya beserta perbaikan yang timbul dalam permasalahan dalam penelitian ini dengan menggunakan fitur simulink pada aplikasi matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, H. 2009. Analisis Load Flow dalam Sistem Tenaga Listrik di PT. Sinar Sosro Ungaran. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- 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 Control MIC-1*(3): 135–163.
- Dharamjit & Tanti, D.K. 2012. “Load Flow Analysis on IEEE 30 bus System”. International Journal of Scientific and Research Publications, India, IEEE
- Holvik, J and Kongsberg simrad Inc. (1998) Basics of Dynamic Positioning on Dynamic Positioning Conference : 13-14, October.
- Hrdzik, J., (2013) Problems of propulsion systems and main engines choice for offshore support vessels, (Scientific journals), Gdynia Maritime University
- 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
- Kusuma, I. R., Sarwito, S., Widya, R., A., 2017. Analysis of Electric Propulsion Performance on Submersible with Motor DC, Supply Power 10260AH at Voltage 115VDC.
- Sarwito. S., Koenhardono, E. S., Taradipa, K. P., 2018. Analysis of Transient Response and Harmonic Disturbances on the Tanker's Electrical System Based on Simulation.
- Sarwito. S., Sulaiman, M. A., 2018. Analysis Of Electric Propulsion Performance On Submersible 60 M With Motor Dc 2x1850 Kw 380 V Using Ohmformer At Voltage 190 Vdc 10260 Ah And Without Using Ohmformer At Voltage 115 Vdc 10260 Ah.
- Sarwito. S., Semin., Suherman., A., 2017., Analysis of Three Phases Asynchronous Slip Ring Motor Performance Feedback Type 243.
- Sarwito. S., Semin., Zaman, M. B., 2019., Transient Stability Analysis On Ahts Vessel Electrical System Using Dynamic Positioning System.

- Sigit, A. P. 2015. Analisis Aliran Daya (Load Flow) dalam Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0.0 di PT. Kota Jati Furnindo Jepara. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- 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.

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran A

Program loadflow analysis in Matlab

```

clear;clc;
format shortG;
%% S rating = ... kVA
%%
Z_kabel = 0.009; %ohm

Generator = [
% [ Daya, Voltage, cos pi, presentase pemakaian (%) ]
% [ 800000, 415, 0.91, 100],
% input generator pertama
% [ 800000, 415, 0.91, 100],
% input generator kedua
% [ 0, 0, 0, 0],
% input generator ketiga
% [ 0, 0, 0, 0],
% input generator keempat
% [ 0, 0, 0, 0],
% input generator kelima

Motor = [
% [ Daya, Voltage, cos pi, presentase pemakaian (%) ]
% [ 515000, 415, 0.91, 60],
% input generator pertama
% [ 515000, 415, 0.91, 75],
% input generator pertama
% [ 0, 0, 0, 0],
% input motor 3
% [0,0,0,0], % input motor 4
% [0,0,0,0], % input motor 5
% [0,0,0,0], % input motor 6
% [0,0,0,0], % input motor 7
% [0,0,0,0], % input motor 8
% [0,0,0,0], % input motor 9
% [0,0,0,0]]; % input motor 10

Daya_Kapasitor = 65.40500; % (kVar)

%% check
a = Z_kabel;
R_kabel_gen = [a,a,a,a,a]'; % Impedansi kabel
pada sumber jika sama
R_kabel_mot = [a,a,a,a,a,a,a,a,a,a]'; % Impedansi kabel
pada beban jika sama

Jml_gen_aktif = sum(~(Generator(:,1)==0));
Jml_motor_aktif = sum(~(Motor(:,1)==0));

```

```

rasio_gen = Generator(:,1).*Generator(:,4) /
sum(Generator(:,1).*Generator(:,4));
rasio_mot = Motor(:,1).*Motor(:,4) /
sum(Motor(:,1).*Motor(:,4));

if length(Generator) ~= length(R_kabel_gen)
    disp('Jumlah generator dan kabel tidak sama')
    break;
end
if length(Motor) ~= length(R_kabel_mot)
    disp('Jumlah motor dan kabel tidak sama')
    break;
end

%% Perhitungan Naik
I_motor = Motor(:,1) .* (Motor(:,4) .* 0.01) ./
(Motor(:,2).*Motor(:,3));
DV_motor = I_motor .* R_kabel_mot;
V_bus = max(Motor(:,2) + DV_motor, [], 'omitnan');
I_bus = sum(I_motor, 'omitnan');

% bagi beban
I_gen = I_bus .* rasio_gen;
DV_gen = I_gen .* R_kabel_gen;
V_gen = (V_bus + DV_gen) .* ~(DV_gen==0);

P_gen = V_gen .* I_gen .* Generator(:,3);

%% Perhitungan Turun
Q_gen = V_gen.*I_gen.*sin(acos(Generator(:,3)));
I_gen = P_gen ./ (Generator(:,2) .* Generator(:,3));
DV_gen = I_gen .* R_kabel_gen;

V_bus = min(Generator(:,2) - DV_gen, [], 'omitnan');
I_bus = sum(I_gen, 'omitnan');
S_bus = V_bus .* I_bus;
I_motor = I_bus.*rasio_mot;
DV_motor = I_motor .* R_kabel_mot;

V_motor = (V_bus - DV_motor) .* ~(DV_motor==0);
P_motor = V_motor .* I_motor .* Motor(:,3);
Q_motor = V_motor .* I_motor .* sin(acos(Motor(:,3)));
S_motor = V_motor .* I_motor;

%% Losses
I_gen = max(0, I_gen);
loses_pgen = I_gen.^2 .* R_kabel_gen .* Generator(:,3) ./
1000;
loses_qgen = I_gen.^2 .* R_kabel_gen .*
sin(acos(Generator(:,3))) ./ 1000;

```

```

loses_pmot = I_motor.^2 .* R_kabel_mot .*Motor(:,3) /1000;
loses_qmot = I_motor.^2 .* R_kabel_mot .*
sin(acos(Motor(:,3)))/1000;
dropbus = (1-V_bus/415)*100;
droptegangan = (1-V_motor ./ Generator(1,2)).*100;

%% Tambahan kapasitor
pi_gen = acos(Generator(1,3));
P_b = V_bus .* I_motor .* cos(pi_gen);
Q_b = V_bus .* I_motor .* sin(pi_gen);
Q_cap = Daya_Kapasitor * 1000;

S_b = sqrt([sum(P_b).^2 + (sum(Q_b)+Q_cap).^2]);
I_b = sum(I_motor,'omitnan');
V_b = S_b./I_bus;
I_m = I_b .* rasio_mot;
V_m = (V_b - DV_motor) .* (Motor(:,2)~=0);
S_m = V_m .* I_m;
pi_motor = acos(0.95);
P_m = S_m .* cos(pi_motor);
Q_m = S_m .* sin(pi_motor);
V_drop_persen = 100-(100 .* V_m ./ 415);
P_m_loss = sum(P_gen) - sum(P_m);
Q_m_loss = sum(Q_gen) - sum(Q_m);

%% Print Tabel 1

fprintf('=====\n');
fprintf('                                     Bus Data\n');
fprintf('-----\n');
fprintf('| Bus | Voltage | Current | Generator |
Load   | Cos pi | Drop   | |\n');
fprintf('| # | (volt) | I(A) | P(kW) | Q(kVAr) | P(kW)
| Q(kVAr)|
| Tegangan (%%) |\n');
fprintf('-----\n');
for i=1:Jml_gen_aktif
    fprintf('| %d | %d | %4d |%7.1f |%7.1f | - |
- | %4.2f | - | |\n',...
        i, ...
        round(Generator(i,2)), ...
        round(I_gen(i)), ...
        round(P_gen(i)./1000), ...
        round(Q_gen(i)./1000), ... % Q
        Generator(i,3) ...
    );
end

```

```

fprintf('| %d | %d | %4d | - | - | - |
- | - | - | |\n',...
    Jml_gen_aktif+1, round(V_bus), round(I_bus));
for i= 1:Jml_motor_aktif
    fprintf('| %d | %d | %4d | - | - | %d
| %d | %4.2f | %6.2f | |\n',...
        i+Jml_gen_aktif+1,...
        round(V_motor(i)), ...
        round(I_motor(i)), ...
        round(P_motor(i)./1000), ...

round(V_motor(i).*I_motor(i).*sin(acos(Motor(i,3)))/1000),
... % Q
    Motor(i,3), ...
    droptegangan(i) ...
);

end
fprintf('-----
-----\n\n\n');

%% Print Tabel 2
fprintf('=====
=====|\n');
fprintf('
Branch Data\n');
fprintf('-----
-----\n');
fprintf('|
| From | To | From Generator | To Bow
Thruster | Losses | |\n');
fprintf('| Brnch | Bus | Bus | S | S
| P | Q | |\n');
fprintf('|
| (kVA) | (kVA)
| (kW) | (kVar) |\n');
fprintf('-----
-----\n');

for i=1:Jml_gen_aktif
    fprintf('|
| (kW) | (kVar) | (kW)
| (kVar) | (kW) | (kVar) |\n');
    fprintf('| %d | %d | %d | %7.2f |
- | %2.2f\t| %2.2f |\n', ...
        i, i, ...
        Jml_gen_aktif+1,...
        (V_gen(i).*I_gen(i)./1000), ...
        (I_gen(i)^2 .* R_kabel_gen(i).*Generator(i,3) /1000),
...
        ((I_gen(i)^2 .*
R_kabel_gen(i).*sin(acos(Generator(i,3)))/1000));
end

for i=1:Jml_motor_aktif

```

```

    %fprintf('|          |          |          | (kW) | (kVar) | (kW)
| (kVar) | (kW) | (kVar) |\n');
    fprintf('|   %d   |   %d   |   %d   |          -          |
%7.2f      | %2.2f\t| %2.2f  |\n', ...
    i+Jml_gen_aktif, Jml_gen_aktif+1, ...
    i+Jml_gen_aktif+1, ...
    (V_motor(i).*I_motor(i)./1000), ...
    (I_motor(i)^2 .* R_kabel_mot(i).*Motor(i,3) /1000),
    ...
    ((I_motor(i)^2 .*
R_kabel_mot(i).*sin(acos(Motor(i,3)))/1000));
end
fprintf('-----
-----\n\n\n');

%% Print Tabel 3

fprintf('=====
=====\\n');
fprintf('
Bus Data dengan
Kapasitor Bank\\n');
fprintf('-----
-----\\n');
fprintf('| Bus | Capacitor Bank | Voltage | Current |
Generator | Load | cos | Drop | \\n');
fprintf('| # | (kVar) | (volt) | I(A) | P(kW)
| Q(kVar)| P(kW) | Q(kVar)| pi | Tegangan (%) |\n');
fprintf('-----
-----\\n');
for i=1:Jml_gen_aktif
    fprintf('|   %d   |          -          |   %4d |   %4d |
%6.1f | %6.1f | - | - | %4.2f | -
|\n', ...
    i, ...
    round(Generator(i,2)), ...
    round(I_gen(i)), ...
    round(P_gen(i)./1000, 1), ...
    round(Q_gen(i)./1000, 1), ...
    Generator(i,3) ...
    );
end
fprintf('|   %d   |          %6.2f          |   %4d |   %4d | - |
- | - | - | - | - | - | \\n', ...
    Jml_gen_aktif+1, Daya_Kapasitor, round(V_b),
    round(I_bus));
for i= 1:Jml_motor_aktif
    fprintf('|   %d   |          -          |   %4d |   %4d | -
| - | %6.1f | %6.1f | 0.95 |   %6.2f          |\n', ...
    i+Jml_gen_aktif+1, ...
    round(V_m(i)), ...

```

```

        round(I_motor(i)), ...
        P_m(i)./1000, ...
        Q_m(i)./1000, ... % Q
        V_drop_persen(i) ...
    );
end
fprintf('-----\n\n\n');

%% Print Tabel 4
fprintf('=====\n');
fprintf('                    Branch Data dengan Kapasitor
Bank\n');
fprintf('-----\n');
fprintf('|          | From | To | From Generator | To Bow
Thruster |      Losses      |\n');
fprintf('| Brnch | Bus | Bus |          S          |          S
| P | Q |\n');
fprintf('|          |          |          |          (kVA)          |          (kVA)
| (kW) | (kVar) |\n');
fprintf('-----\n');

Q_g = V_gen.*I_gen.*sin(acos(Generator(:,3)));
for i=1:Jml_gen_aktif
    fprintf('|          |          |          | (kW) | (kVar) | (kW)
| (kVar) | (kW) | (kVar) |\n');
    fprintf('| %d | %d | %d | %7.2f |
- | %2.2f\t| %2.2f |\n', ...
        i, i, ...
        Jml_gen_aktif+1,...
        sqrt(P_gen(i).^2 + Q_g(i).^2)./1000, ...
        (I_gen(i)^2 .* R_kabel_gen(i).*Generator(i,3) /1000),
        ...
        ((I_gen(i)^2 .*
R_kabel_gen(i).*sin(acos(Generator(i,3)))/1000));
end

for i=1:Jml_motor_aktif
    fprintf('|          |          |          | (kW) | (kVar) | (kW)
| (kVar) | (kW) | (kVar) |\n');
    fprintf('| %d | %d | %d | - |
%7.2f | %2.2f\t| %2.2f |\n', ...
        i+Jml_gen_aktif, Jml_gen_aktif+1, ...
        i+Jml_gen_aktif+1,...
        S_m(i)./1000, ...
        (I_motor(i)^2 .* R_kabel_mot(i).*cos(pi_motor)
/1000), ...

```

```
        ((I_motor(i)^2 .*  
R_kabel_mot(i).*sin(pi_motor)/1000));  
end  
fprintf('-----\n\n\n');
```

Lampiran B

Perhitungan manual loadflow analysis

Skenario 1 :

(2 Generator Thruster, dan 2 Bow Thruster (Beban)). Dengan variasi pembebanan 60% - 75% untuk masing-masing bow thruster.

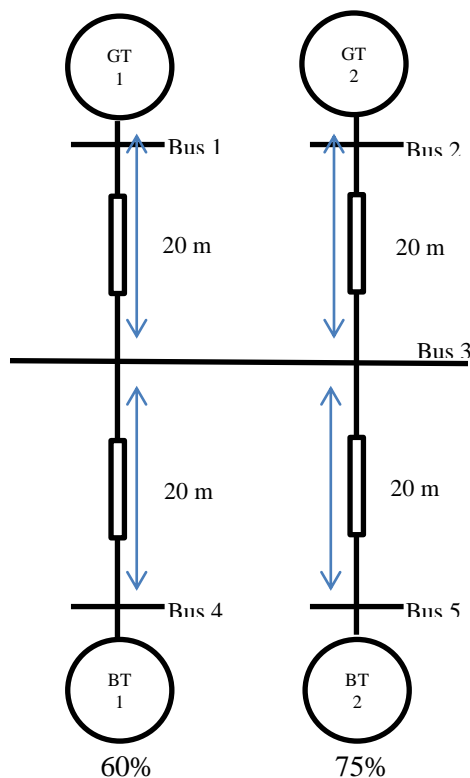
Diketahui :

Daya Generator Thruster (GT) = 800 kW = 800.000 watt

Daya Motor Bow Thruster (BT) = 515 kW = 515.000 watt

Tegangan = 415 volt

Panjang Kabel = 20 m



Gambar 4.13 Diagram Loadflow Analisis Skenario 1 variasi 1

Penyelesaian :

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan aliran daya dari bawah (beban) dalam hal ini adalah 2 buah bow thruster hingga keatas (generator) :

$$\begin{aligned}
 1) \quad \cos \varphi &= \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{(515)^2 + (231)^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{(265.225)^2 + (53.361)^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{(265.225)^2 + (53.361)^2}} \\
 &= \frac{515}{\sqrt{318.434}}
 \end{aligned}$$

$$\cos \varphi = 0,91$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad Z &= 0,445 \, \Omega/\text{km}, L \text{ (Panjang Kabel)} = 20 \text{ m} \\
 &= 0,009 \, \Omega/\text{m}
 \end{aligned}$$

$$3) \quad 60\% P = V I \cos \varphi \quad \left| \quad 75\% P = V I \cos \varphi$$

$$\begin{aligned}
 I_{BT1} &= \frac{60\% P_{BT1}}{V \cos \varphi} \\
 &= \frac{309.000}{415 \times 0,91} \\
 &= 818,217
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{BT2} &= \frac{75\% P_{BT2}}{V \cos \varphi} \\
 &= \frac{386.250}{415 \times 0,91} \\
 &= 1.022,772
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \quad \Delta V_{BT1} &= Z \cdot I_{BT1} \\
 &= 0,009 \times 818,217 \\
 &= 7,363
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{BT2} &= Z \cdot I_{BT2} \\
 &= 0,009 \times 1.022,772 \\
 &= 9,204
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5) \quad V_{bus3} &= 415 + \Delta V \\
 &= 415 + 9,204 \\
 &= 424,205
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6) \quad I_g &= \frac{(I_1 + I_2)}{2} \\
 &= \frac{(818,217 + 1.022,772)}{2} \\
 &= \frac{1.840,989}{2} \\
 &= 920,495
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8) \quad V_g &= V_{bus3} + \Delta V_g \\
 &= 424,205 + 8,284 \\
 &= 432,489
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7) \quad \Delta V_g &= Z \cdot I \\
 &\times \cos \phi \\
 &= 0,009 \times 920,495 \\
 &= 8,284
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 9) \quad P_g &= V_g \times I_g \\
 &= 432,489 \times \\
 &\quad 920,495 \times 0,91 \\
 &= 362.274,767 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_g &= V_g \times I_g \times \sin \phi \\
 &= 172.013 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang aliran daya dari atas (generator) dalam hal ini adalah 2 buah generator thruster hingga ke bawah (dua buah bow thruster), dengan menggunakan daya baru generator thruster setelah perhitungan dari beban ke generator:

$$9. \quad P = V I \cos \phi$$

$$I_g = \frac{362.274,767}{415 \times 0,91}$$

$$= \frac{362.273,767}{377,65}$$

$$= 959,288$$

$$\begin{aligned}
 10. \quad \Delta V_g &= Z \cdot I \\
 &= 0,009 \times \\
 &\quad 959,288 \\
 &= 8,633
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 11. \quad V_{bus3} &= V - \Delta V \\
 &= 415 - \\
 &\quad 8,633 \\
 &= 406,366
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 12. I_{BT1} &= \frac{60}{135} \times (I \times 2) \\
 &= \frac{60}{135} \times (1.918,575) \\
 &= 852,7002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{BT2} &= \frac{75}{135} \times (I \times 2) \\
 &= \frac{75}{135} \times (1.918,575) \\
 &= 1.065,875
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 13. \Delta V_{BT1} &= Z \cdot I_1 \\
 &= 0,009 \times 852,7002 \\
 &= 7,674
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{BT2} &= Z \cdot I_2 \\
 &= 0,009 \times 1.065,875 \\
 &= 9,592
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 14. V_{BT1} &= V_{bus3} - \Delta V_{BT1} \\
 &= 406,366 - 7,674 \\
 &= 398,692
 \end{aligned}$$

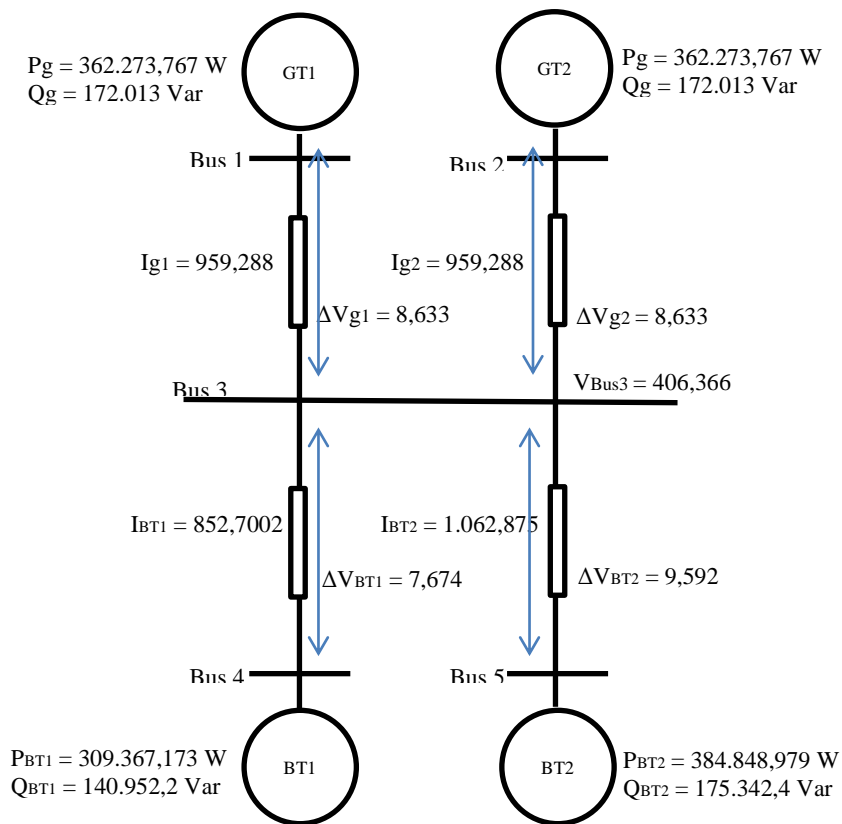
$$\begin{aligned}
 V_{BT2} &= V_{bus3} - \Delta V_{BT2} \\
 &= 406,366 - 9,592 \\
 &= 396,773
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 15. P_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \cos \varphi \\
 &= 398,692 \times 852,7002 \\
 &\quad \times 0,91 \\
 &= 309.367,173 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{BT2} &= V_{BT2} \times I_{BT2} \times \cos \varphi \\
 &= 396,773 \times 1.065,875 \\
 &\quad \times 0,91 \\
 &= 384.848,9791 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 16. Q_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \\
 &= 140.952,2 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{BT2} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \\
 &= 175.342,4 \text{ Var}
 \end{aligned}$$



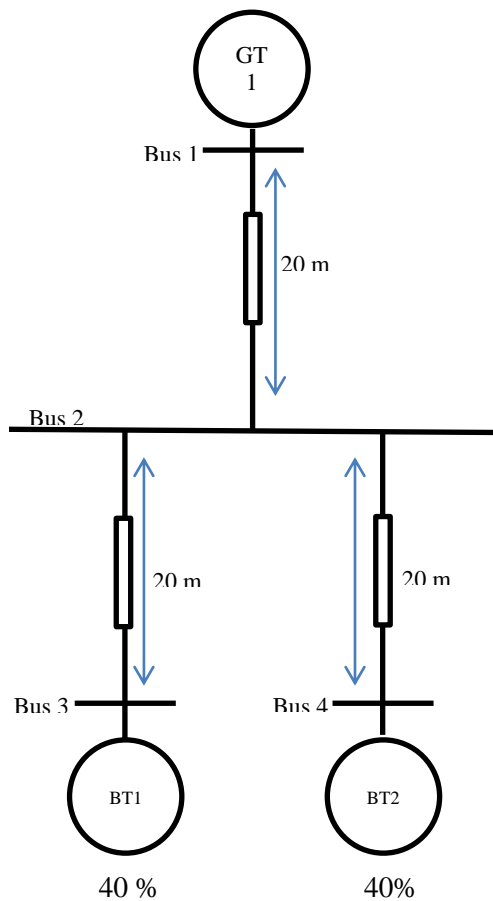
Gambar 4.14 Hasil Loadflow Analisis Skenario 1 Variasi 1

Skenario 2 :

(1 Generator Thruster, dan 2 Bow Thruster (Beban)). Dengan variasi pembebanan 40% - 40% untuk masing-masing bow thruster.

Diketahui :

- Daya Generator Thruster (GT) = 800 kW = 800.000 watt
- Daya Motor Bow Thruster (BT) = 515 kW = 515.000 watt
- Tegangan = 415 volt
- Panjang Kabel = 20 m



Gambar 4.6 Diagram Loadflow Analisis Skenario 2

Penyelesaian :

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan aliran daya dari bawah (beban) dalam hal ini adalah dua buah bow thruster hingga keatas (generator) :

$$1) \cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,91$$

$$2) Z = 0,445 \Omega/\text{km}, L (\text{Panjang Kabel}) = 20 \text{ m} \\ = 0,009 \Omega/\text{m}$$

$3) \quad 40\% P = V I \cos \varphi$ $I_{BT1} = \frac{40\% P_{BT1}}{V \cos \varphi}$ $= \frac{206.000}{415 \times 0,91}$ $= 545,479$ $4) \quad \Delta V_{BT1} = Z \cdot I_{BT1}$ $= 0,009 \times 545,479$ $= 4,909$ $5) \quad V_{bus2} = 415 + \Delta V_{BT}$ $= 415 + 4,909$ $= 419,909$ $6) \quad I_g = I_{BT1} + I_{BT2}$ $= 545,479 \times 2$ $= 1.090,96$ $7) \quad \Delta V_g = Z \cdot I_g$ $= 0,009 \times 1.090,96$ $= 9,818$		$40\% P = V I \cos \varphi$ $I_{BT2} = \frac{40\% P_{BT2}}{V \cos \varphi}$ $= \frac{206.000}{415 \times 0,91}$ $= 545,479$ $\Delta V_{BT2} = Z \cdot I_{BT2}$ $= 0,009 \times 545,479$ $= 4,909$ $8) \quad V_g = V_{bus2} + \Delta V_g$ $= 419,909 + 9,818$ $= 429,728$ $9) \quad P_g = V_g \times I_g \times \cos \varphi$ $= 429,728 \times$ $1.090,96 \times 0,91$ $= 426.621 \text{ watt}$ $Q_g = V_g \times I_g \times \sin \varphi$ $= 201.273 \text{ Var}$
--	--	--

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang aliran daya dari atas (generator) dalam hal ini adalah satu buah generator thruster hingga ke bawah (dua buah bow thruster) :

$$1. \quad P = V I \cos \varphi$$

$$I_g = \frac{426,621}{415 \times 0,91}$$

$$= \frac{426,621}{356,9}$$

$$= 1.129,67$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \Delta V_g &= Z \cdot I_g \\
 &= 0,009 \times 1.129,67 \\
 &= 10,167
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad V_{bus2} &= V - \Delta V_g \\
 &= 415 - 10,167 \\
 &= 404,833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad I_{BT1} &= \frac{50}{100} \times (I_g) \\
 &= \frac{50}{100} \times (1.129,67) \\
 &= 564,837
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad \Delta V_{BT1} &= Z \cdot I_{BT1} \\
 &= 0,009 \times 564,837 \\
 &= 5,083
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \quad V_{BT1} &= V_{bus2} - \Delta V_{BT1} \\
 &= 404,833 - 5,083 \\
 &= 399,749
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. \quad P_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \cos \varphi \\
 &= 399,749 \times 564,837 \\
 &\quad \times 0,91 \\
 &= 205.472 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8. \quad Q_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \\
 &= 93.615,8 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

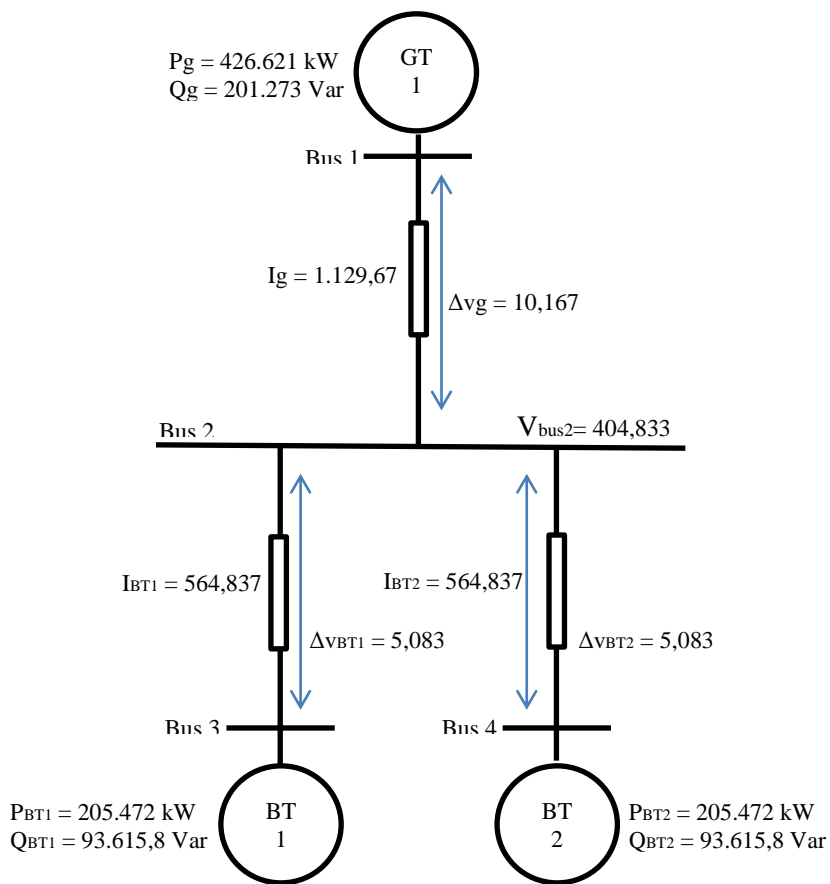
$$\begin{aligned}
 I_{BT2} &= \frac{50}{100} \times (I_g) \\
 &= \frac{50}{100} \times (1.129,67) \\
 &= 564,837
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{BT2} &= Z \cdot I_{BT2} \\
 &= 0,009 \times 564,837 \\
 &= 5,083
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{BT2} &= V_{bus2} - \Delta V_{BT2} \\
 &= 404,833 - 5,083 \\
 &= 399,749
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{BT2} &= V_{BT2} \times I_{BT2} \times \cos \varphi \\
 &= 399,749 \times 564,837 \\
 &\quad \times 0,91 \\
 &= 205.472 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{BT2} &= V_{BT2} \times I_{BT2} \times \sin \varphi \\
 &= 93.615,8 \text{ Var}
 \end{aligned}$$



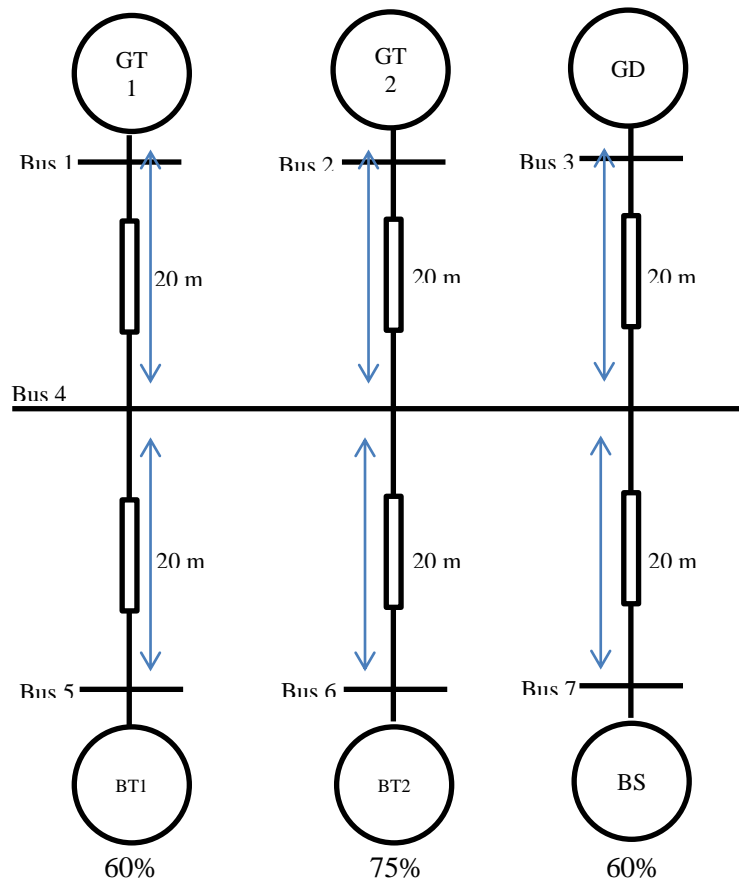
Gambar 4.8 Diagram Loadflow Analisisi Skenario 2 (Iterasi 2)

Skenario 3 :

((dua generator thruster – satu diesel generator), (dua bow thruster – semua beban di kapal)). Dengan variasi pembebanan 60% - 75% untuk dua bow thruster dan 60% untuk semua beban di kapal.

Diketahui :

Daya Generator Thruster (GT)	= 800 kW = 800.000 watt
Daya Diesel Generator (GD)	= 350 kW = 350.000 watt
Daya Motor Bow Thruster (BT)	= 515 kW = 515.000 watt
Total Daya semua beban kapal (BS)	= 294,906 kW = 294.906w
Tegangan	= 415 volt
Panjang Kabel	= 20 m



Gambar 4.9 *Diagram Loadflow Analysisi Skenario 3*

Penyelesaian :

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan aliran daya dari bawah (beban) dalam hal ini adalah dua buah bow thruster dan semua beban di kapal hingga keatas (dua generator thruster dan satu diesel generator) :

$$1) \cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,91$$

$$2) Z = 0,445 \Omega/\text{km}, L (\text{Panjang Kabel}) = 20 \text{ m} \\ = 0,009 \Omega/\text{m}$$

$$\begin{array}{l}
 3) \quad 60\% P = V I \cos \varphi \\
 \\
 I_{BT1} = \frac{60\% PBT1}{V \cos \varphi} \\
 \\
 = \frac{309.000}{415 \times 0,91} \\
 \\
 = 818,218
 \end{array}
 \quad \left| \quad
 \begin{array}{l}
 75\% P = V I \cos \varphi \\
 \\
 I_{BT2} = \frac{75\% PBT2}{V \cos \varphi} \\
 \\
 = \frac{386.250}{415 \times 0,91} \\
 \\
 = 1.022,77
 \end{array}$$

$$60\% P = V I \cos \varphi$$

$$\begin{array}{l}
 I_{BS} = \frac{60\% PBS}{V \cos \varphi} \\
 \\
 = \frac{176.944}{415 \times 0,91} \\
 \\
 = 468,539
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 4) \quad \Delta V_{BT1} = Z \cdot I_{BT1} \\
 \quad \quad = 0,009 \times 818,218 \\
 \quad \quad = 7,363
 \end{array}
 \quad \left| \quad
 \begin{array}{l}
 \Delta V_{BT2} = Z \cdot I_{BT2} \\
 \quad \quad = 0,009 \times 1.022,77 \\
 \quad \quad = 9,204
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \Delta V_{BS} = Z \cdot I_{BS} \\
 \quad \quad = 0,009 \times 468,539 \\
 \quad \quad = 4,216
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 5) \quad V_{bus4} = 415 + \Delta V \\
 \quad \quad = 415 + 9,204 \\
 \quad \quad = 424,205
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 6) \quad I_{GT12} = \frac{8}{19.5} \times (I_{BT1} + I_{BT2} + I_{BS}) \\
 \\
 = \frac{8}{19.5} \times (2.309,53) \\
 \\
 = 947,499
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 I_{GD} = \frac{3.5}{19.5} \times (I_{BT1} + I_{BT2} + I_{BS}) \\
 \\
 = 414,531
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 7) \quad \Delta V_{GT12} &= Z \cdot I_{GT12} \\
 &= 0,009 \times 947,499 \\
 &= 8,527 \\
 \Delta V_{GD} &= Z \cdot I_{GD} \\
 &= 0,009 \times 414,531 \\
 &= 3,7307 \\
 \\
 8) \quad V_{GT12} &= V_{bus4} + \Delta V_{GT12} \\
 &= 424,205 + 8,527 \\
 &= 432,732 \\
 V_{GD} &= V_{bus4} + \Delta V_{GD} \\
 &= 424,205 + 3,7307 \\
 &= 427,936 \\
 \\
 9) \quad P_{GT12} &= V_{GT12} \times I_{GT12} \times \cos \varphi \\
 &= 432,732 \times 947,499 \times 0,91 \\
 &= 373.112 \text{ watt} \\
 P_{GD} &= V_{GD} \times I_{GD} \times \cos \varphi \\
 &= 427,936 \times 414,531 \times 0,91 \\
 &= 161.427 \text{ watt} \\
 \\
 10) \quad Q_{GT12} &= V_{GT12} \times I_{GT12} \times \sin \varphi \\
 &= 177.259 \text{ Var} \\
 Q_{GD} &= V_{GD} \times I_{GD} \times \sin \varphi \\
 &= 75.841 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang aliran daya dari atas (generator) dalam hal ini adalah dua buah generator thruster dan satu diesel generator hingga ke bawah (dua buah bow thruster dan semua beban di kapal) :

$ \begin{aligned} 1. \quad P_{GT12} &= V I \cos \varphi \\ \\ I_{GT12} &= \frac{373.112}{415 \times 0,91} \\ \\ &= \frac{373.112}{377,65} \\ \\ &= 987,985 \end{aligned} $	$ \begin{aligned} P_{GD} &= V I \cos \varphi \\ \\ I_{GD} &= \frac{161.427}{415 \times 0,91} \\ \\ &= \frac{161.427}{377,65} \\ \\ &= 427,452 \end{aligned} $
$ \begin{aligned} 2. \quad \Delta V_{GT12} &= Z \cdot I_{GT12} \\ &= 0,009 \times 987,985 \\ &= 8,891 \end{aligned} $	$ \begin{aligned} \Delta V_{GD} &= Z \cdot I_{GD} \\ &= 0,009 \times 427,452 \\ &= 3,847 \end{aligned} $

$$\begin{aligned}
 3. \quad V_{\text{bus4}} &= V - \Delta V \\
 &= 415 - 8,891 \\
 &= 406,108
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad I_{\text{BT1}} &= \frac{60\% \text{ BT1}}{((60\% \text{ BT1}) + (75\% \text{ BT2}) + (60\% \text{ BS}))} \times (I_{\text{GT1}} + I_{\text{GT2}} + I_{\text{GD}}) \\
 &= \frac{309000}{((309.000) + (386.250) + (176.944))} \times (2.403,42) \\
 &= 851,482
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{BT2}} &= \frac{75\% \text{ BT2}}{((60\% \text{ BT1}) + (75\% \text{ BT2}) + (60\% \text{ BS}))} \times (I_{\text{GT1}} + I_{\text{GT2}} + I_{\text{GD}}) \\
 &= \frac{386.250}{((309.000) + (386.250) + (176.943,6))} \times (2.403,42) \\
 &= 1.064,35
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{BS}} &= \frac{60\% \text{ BS}}{((60\% \text{ BT1}) + (75\% \text{ BT2}) + (60\% \text{ BS}))} \times (I_{\text{GT1}} + I_{\text{GT2}} + I_{\text{GD}}) \\
 &= \frac{176.943,6}{((309.000) + (386.250) + (176.943,6))} \times (2.403,42) \\
 &= 487,587
 \end{aligned}$$

$$5. \quad \Delta V_{\text{BT1}} = Z \cdot I_{\text{BT1}} \quad \left| \quad \Delta V_{\text{BT2}} = Z \cdot I_{\text{BT2}} \right. \\
 \begin{aligned}
 &= 0,009 \times 851,482 \\
 &= 7,663
 \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned}
 &= 0,009 \times 1.064,35 \\
 &= 9,579
 \end{aligned}
 \right.$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{\text{BS}} &= Z \cdot I_{\text{BS}} \\
 &= 0,009 \times 487,587 \\
 &= 4,388
 \end{aligned}$$

$$6. \quad V_{\text{BT1}} = V_{\text{bus4}} - \Delta V_{\text{BT1}} \quad \left| \quad V_{\text{BT2}} = V_{\text{bus4}} - \Delta V_{\text{BT2}} \right. \\
 \begin{aligned}
 &= 406,108 - 7,663 \\
 &= 398,445
 \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned}
 &= 406,108 - 9,579 \\
 &= 396,529
 \end{aligned}
 \right.$$

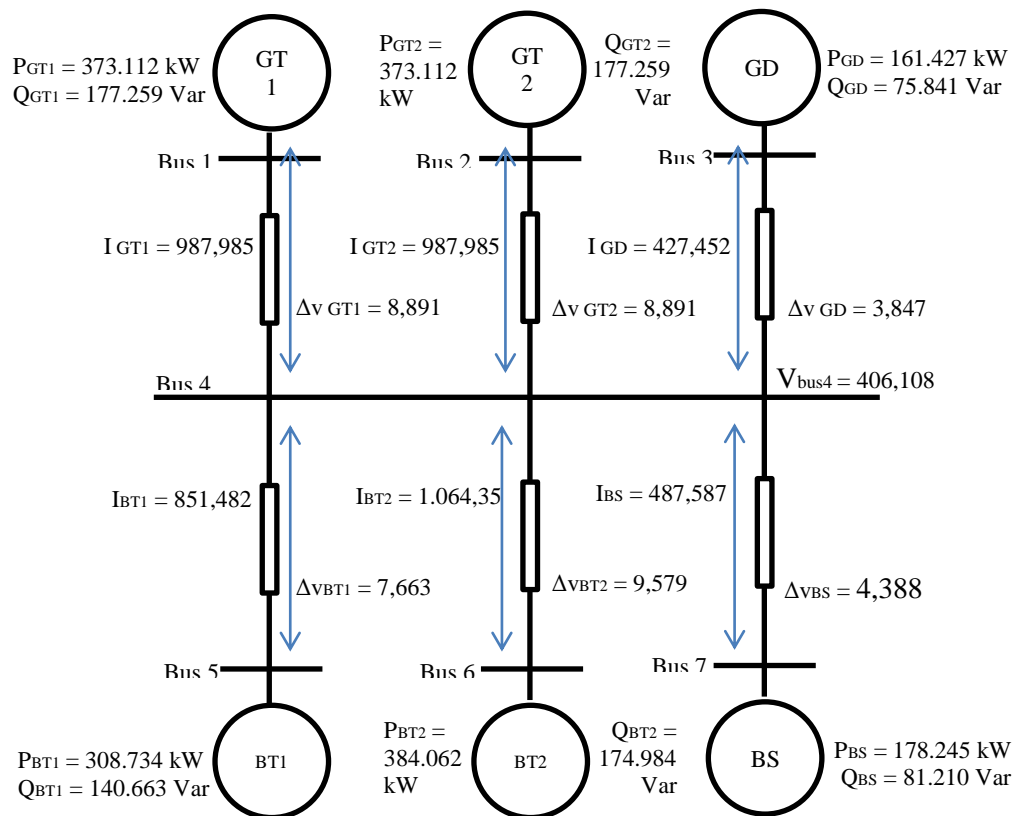
$$\begin{aligned}
 V_{\text{BS}} &= V_{\text{bus4}} - \Delta V_{\text{BS}} \\
 &= 406,108 - 4,388 \\
 &= 401,72
 \end{aligned}$$

$$7. \quad \begin{array}{l} P_{BT1} = V_{BT1} \times I_{BT1} \times \cos \varphi \\ = 398,445 \times 851,482 \\ \quad \times 0,91 \\ = 308.734 \text{ watt} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} P_{BT2} = V_{BT2} \times I_{BT2} \times \cos \varphi \\ = 396,529 \times 1.064,35 \\ \quad \times 0,91 \\ = 384.062 \text{ watt} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} P_{BS} &= V_{BS} \times I_{BS} \times \cos \varphi \\ &= 401,72 \times 487,587 \times 0,91 \\ &= 178.245 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$8. \quad \begin{array}{l} Q_{BT1} = V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \\ = 398,445 \times 851,482 \\ \quad \times 0,91 \\ = 140.663 \text{ Var} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} Q_{BT2} = V_{BT2} \times I_{BT2} \times \sin \varphi \\ = 396,529 \times 1.064,35 \\ \quad \times 0,91 \\ = 174.984 \text{ Var} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} Q_{BS} &= V_{BS} \times I_{BS} \times \sin \varphi \\ &= 401,72 \times 487,587 \times 0,91 \\ &= 81.210 \text{ Var} \end{aligned}$$



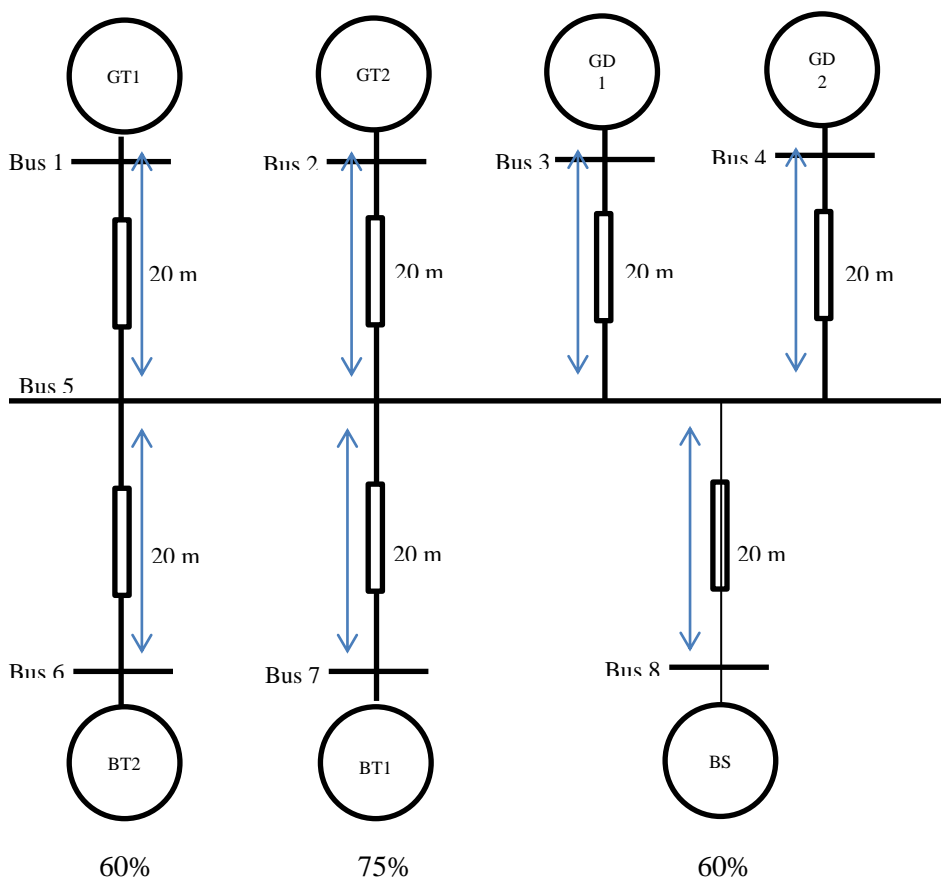
Gambar 4.11 Diagram Loadflow Analisisi Skenario 3 (Iterasi 2)

Skenario 4 :

((dua generator thruster – dua diesel generator), (dua bow thruster – semua beban di kapal)). Dengan variasi pembebanan 60% - 75% untuk dua bow thruster dan 60% untuk semua beban di kapal :

Diketahui :

Daya Generator Thruster (GT)	= 800 kW = 800.000 watt
Daya Diesel Generator (GD)	= 350 kW = 350.000 watt
Daya Motor Bow Thruster (BT)	= 515 kW = 515.000 watt
Total Daya semua beban kapal (BS)	= 294,906 kW = 294.906w
Tegangan	= 415 volt
Panjang Kabel	= 20 m



Gambar 4.12 Diagram Loadflow Analysisi Skenario 4

Penyelesaian :

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan aliran daya dari bawah (beban) dalam hal ini adalah dua buah bow thruster

dan semua beban di kapal hingga keatas (dua generator thruster dan dua diesel generator) :

$$1) \cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,91$$

$$2) Z = 0,445 \Omega/\text{km}, L (\text{Panjang Kabel}) = 20 \text{ m} \\ = 0,009 \Omega/\text{m}$$

$$3) \begin{array}{l} 60\% P = V I \cos \varphi \\ I_{BT1} = \frac{60\% P_{BT1}}{V \cos \varphi} \\ = \frac{309.000}{415 \times 0,91} \\ = 818,218 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} 75\% P = V I \cos \varphi \\ I_{BT2} = \frac{75\% P_{BT2}}{V \cos \varphi} \\ = \frac{386.250}{415 \times 0,91} \\ = 1.022,77 \end{array}$$

$$60\% P = V I \cos \varphi$$

$$I_{BS} = \frac{60\% P_{BS}}{V \cos \varphi} \\ = \frac{176.943,6}{415 \times 0,91} \\ = 468,539$$

$$4) \begin{array}{l} \Delta V_{BT1} = Z \cdot I_{BT1} \\ = 0,009 \times 818,218 \\ = 7,363 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \Delta V_{BT2} = Z \cdot I_{BT2} \\ = 0,009 \times 1.022,77 \\ = 9,204 \end{array}$$

$$\Delta V_{BS} = Z \cdot I_{BS} \\ = 0,009 \times 468,539 \\ = 4,216$$

$$5) V_{bus5} = 415 + \Delta V \\ = 415 + 9,204 \\ = 424,205$$

$$\begin{aligned}
 6) \quad I_{GT12} &= \frac{8}{23} \times (I_{BT1} + I_{BT2} + I_{BS}) \\
 &= \frac{8}{23} \times (2.309,53) \\
 &= 803,314
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{GD12} &= \frac{3.5}{23} \times (I_{BT1} + I_{BT2} + I_{BS}) \\
 &= \frac{3.5}{23} \times (2.309,53) \\
 &= 351,45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7) \quad \Delta V_{GT12} &= Z \cdot I_{GT12} \\
 &= 0,009 \times 803,314 \\
 &= 7,229 \\
 \Delta V_{GD12} &= Z \cdot I_{GD12} \\
 &= 0,009 \times 351,45 \\
 &= 3,163
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8) \quad V_{GT12} &= V_{bus5} + \Delta V_{GT12} \\
 &= 424,205 + 7,229 \\
 &= 431,435 \\
 V_{GD12} &= V_{bus5} + \Delta V_{GD12} \\
 &= 424,205 + 3,163 \\
 &= 427,368
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 9) \quad P_{GT12} &= V_{GT12} \times I_{GT12} \times \cos \varphi \\
 &= 431,435 \times 803,314 \times 0,91 \\
 &= 315.386 \text{ watt} \\
 P_{GD12} &= V_{GD12} \times I_{GD12} \times \cos \varphi \\
 &= 427,368 \times 351,45 \times 0,91 \\
 &= 136.681 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 10) \quad Q_{GT12} &= V_{GT12} \times I_{GT12} \times \sin \varphi \\
 &= 149.385 \text{ Var} \\
 Q_{GD12} &= V_{GD12} \times I_{GD12} \times \sin \varphi \\
 &= 64.129,4 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang aliran daya dari atas (generator) dalam hal ini adalah dua buah generator thruster dan dua diesel generator hingga ke bawah (dua buah bow thruster dan semua beban di kapal) :

$$\begin{array}{l}
 1. \quad P_{GT12} = V I \cos \varphi \quad \Bigg| \quad P_{GD12} = V I \cos \varphi \\
 \quad I_{GT12} = \frac{315.386}{415 \times 0,91} \quad \Bigg| \quad I_{GD12} = \frac{136.681}{415 \times 0,91} \\
 \quad \quad = \frac{315.386}{377,65} \quad \Bigg| \quad \quad = \frac{136.681}{377,65} \\
 \quad \quad = 835,127 \quad \Bigg| \quad \quad = 361,924 \\
 \\
 2. \quad \Delta V_{GT12} = Z \cdot I_{GT12} \quad \Bigg| \quad \Delta V_{GD12} = Z \cdot I_{GD12} \\
 \quad \quad = 0,009 \times 835,127 \quad \Bigg| \quad \quad = 0,009 \times 361,924 \\
 \quad \quad = 7,516 \quad \Bigg| \quad \quad = 3,257 \\
 \\
 3. \quad V_{bus5} = V - \Delta V \\
 \quad \quad = 415 - 7,9707 \\
 \quad \quad = 407,484 \\
 \\
 4. \quad I_{BT1} = \frac{60\% P_{BT1}}{((60\% p_{BT1}) + (75\% p_{BT2}) + (60\% p_{BS}))} \times (I_{GT1} + I_{GT2} + I_{GD1} + I_{GD2}) \\
 \quad \quad = \frac{309000}{((309.000) + (386.250) + (176.943,6))} \times (2.394,1) \\
 \quad \quad = 848,181 \\
 \\
 \quad I_{BT2} = \frac{75\% P_{BT2}}{((60\% p_{BT1}) + (75\% p_{BT2}) + (60\% p_{BS}))} \times (I_{GT1} + I_{GT2} + I_{GD1} + I_{GD2}) \\
 \quad \quad = \frac{386.250}{((309.000) + (386.250) + (176.943,6))} \times (2.394,1) \\
 \quad \quad = 1.060,23 \\
 \\
 \quad I_{BS} = \frac{60\% P_{BS}}{((60\% p_{BT1}) + (75\% p_{BT2}) + (60\% p_{BS}))} \times (I_{GT1} + I_{GT2} + I_{GD1} + I_{GD2}) \\
 \quad \quad = \frac{176.943,6}{((309.000) + (386.250) + (176.943,6))} \times (2.394,1) \\
 \quad \quad = 485,696
 \end{array}$$

$$5. \quad \Delta V_{BT1} = Z \cdot I_{BT1} \quad \left| \quad \Delta V_{BT2} = Z \cdot I_{BT2} \right.$$

$$\quad = 0,009 \times 848,181 \quad \left| \quad = 0,009 \times 1.060,23 \right.$$

$$\quad = 7,633 \quad \left| \quad = 9,542 \right.$$

$$\Delta V_{BS} = Z \cdot I_{BS}$$

$$= 0,009 \times 485,696$$

$$= 4,371$$

$$6. \quad V_{BT1} = V_{bus5} - \Delta V_{BT1} \quad \left| \quad V_{BT2} = V_{bus5} - \Delta V_{BT2} \right.$$

$$\quad = 407,484 - 7,633 \quad \left| \quad = 407,484 - 9,542 \right.$$

$$\quad = 399,85 \quad \left| \quad = 397,942 \right.$$

$$V_{BS} = V_{bus5} - \Delta V_{BS}$$

$$= 407,484 - 4,371$$

$$= 403,113$$

$$7. \quad P_{BT1} = V_{BT1} \times I_{BT1} \times \cos \varphi \quad \left| \quad P_{BT2} = V_{BT2} \times I_{BT2} \times \cos \varphi \right.$$

$$\quad = 399,85 \times 848,181 \quad \left| \quad = 397,942 \times 1.060,23 \right.$$

$$\quad \quad \times 0,91 \quad \left| \quad \quad \times 0,91 \right.$$

$$\quad = 308.622 \text{ watt} \quad \left| \quad = 383.936 \text{ watt} \right.$$

$$P_{BS} = V_{BS} \times I_{BS} \times \cos \varphi$$

$$= 403,113 \times 485,696 \times 0,91$$

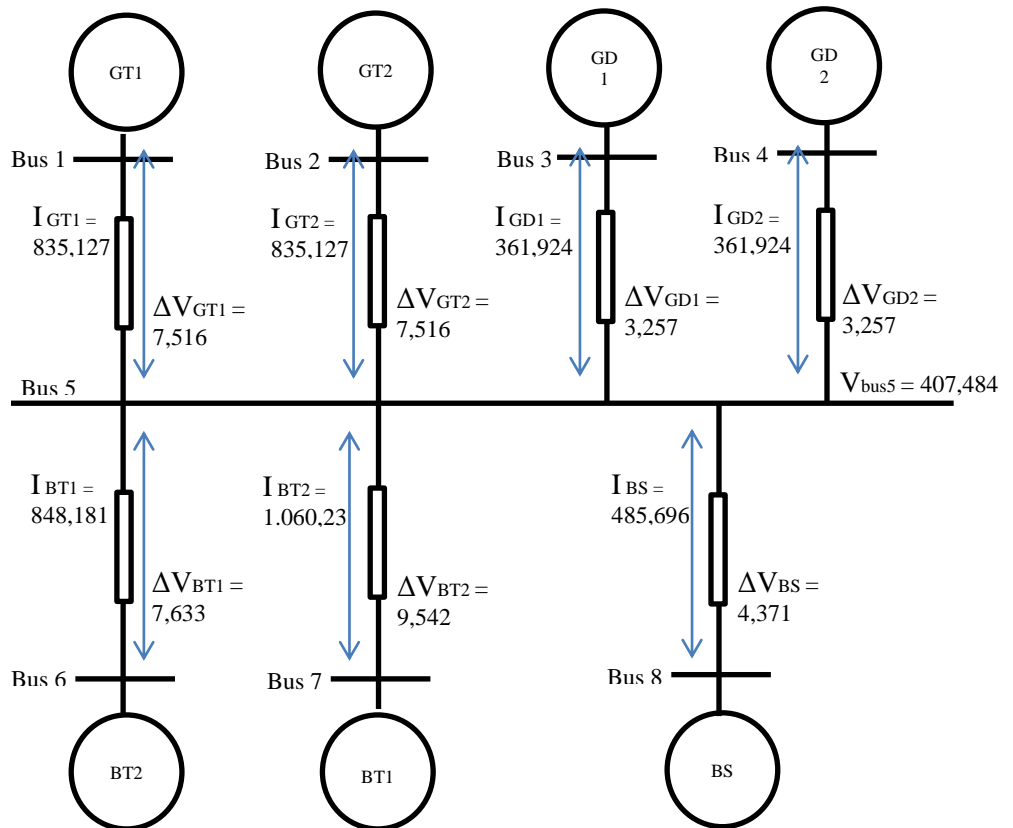
$$= 178.169 \text{ watt}$$

$$8. \quad Q_{BT1} = V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi \quad \left| \quad Q_{BT2} = V_{BT2} \times I_{BT2} \times \sin \varphi \right.$$

$$\quad = 140,612 \text{ Var} \quad \left| \quad = 174.927 \text{ Var} \right.$$

$$Q_{BS} = V_{BS} \times I_{BS} \times \sin \varphi$$

$$= 81.176 \text{ Var}$$



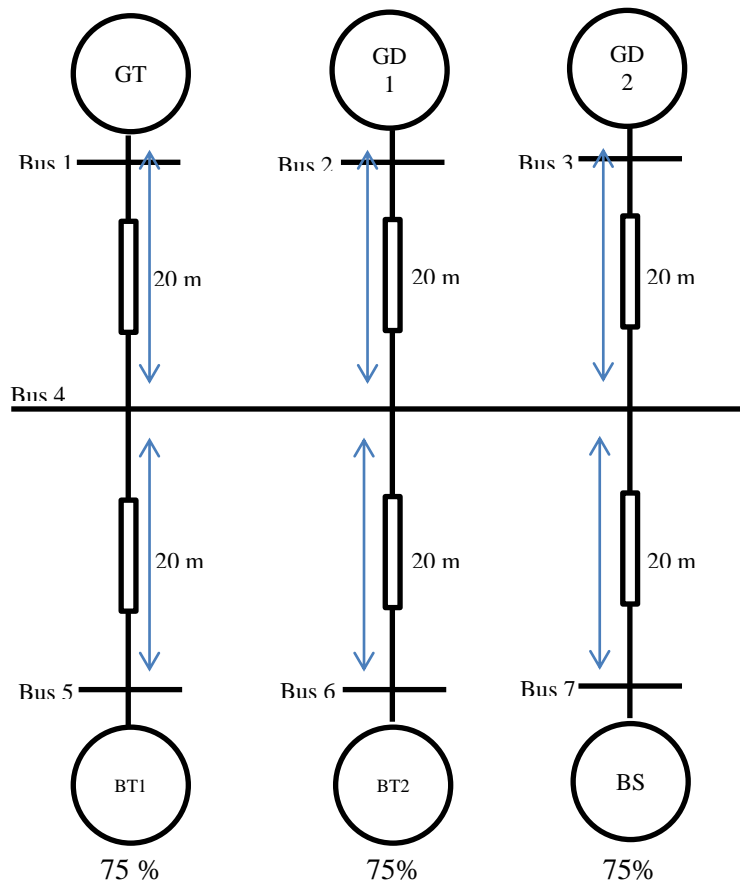
Gambar 4.14 Diagram Loadflow Analysisi Skenario 4 (Iterasi 2)

Skenario 5 :

((satu generator thruster – dua diesel generator), (dua bow thruster – semua beban di kapal)). Dengan variasi pembebanan 75% - 75% untuk dua bow thruster dan 60% untuk semua beban di kapal :

Diketahui :

Daya Generator Thruster (GT)	= 800 kW = 800.000 watt
Daya Diesel Generator (GD)	= 350 kW = 350.000 watt
Daya Motor Bow Thruster (BT)	= 515 kW = 515.000 watt
Total Daya semua beban kapal (BS)	= 294,906 kW = 294.906w
Tegangan	= 415 volt
Panjang Kabel	= 20 m



Penyelesaian :

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan aliran daya dari bawah (beban) dalam hal ini adalah dua buah bow thruster dan semua beban di kapal hingga keatas (satu generator thruster dan dua diesel generator) :

$$11) \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,91$$

$$12) \quad Z = 0,445 \, \Omega/\text{km}, \quad L \text{ (Panjang Kabel)} = 20 \text{ m} \\ = 0,009 \, \Omega/\text{m}$$

$$\begin{array}{l|l}
 13) 60\% P = V I \cos \varphi & 75\% P = V I \cos \varphi \\
 \\
 I_{BT1} = \frac{75\% P_{BT1}}{V \cos \varphi} & I_{BT2} = \frac{75\% P_{BT2}}{V \cos \varphi} \\
 \\
 = \frac{386.250}{415 \times 0,91} & = \frac{386.250}{415 \times 0,91} \\
 \\
 = 1.022,77 & = 1.022,77
 \end{array}$$

$$60\% P = V I \cos \varphi$$

$$\begin{aligned}
 I_{BS} &= \frac{60\% P_{BS}}{V \cos \varphi} \\
 &= \frac{176.944}{415 \times 0,91} \\
 &= 468,539
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l|l}
 14) \Delta V_{BT1} = Z \cdot I_{BT1} & \Delta V_{BT2} = Z \cdot I_{BT2} \\
 = 0,009 \times 1.022,77 & = 0,009 \times 1.022,77 \\
 = 9,204 & = 9,204
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{BS} &= Z \cdot I_{BS} \\
 &= 0,009 \times 468,539 \\
 &= 4,216
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 15) V_{bus4} &= 415 + \Delta V \\
 &= 415 + 9,204 \\
 &= 424,205
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 16) I_{GT} &= \frac{8}{15} \times (I_{BT1} + I_{BT2} + I_{BS}) \\
 &= \frac{8}{15} \times (2.514,08) \\
 &= 1.340,84
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{GD12} &= \frac{3.5}{15} \times (I_{BT1} + I_{BT2} + I_{BS}) \\
 &= 586,619
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 17) \Delta V_{GT} &= Z \cdot I_{GT} \\
 &= 0,009 \times 1.340,84 \\
 &= 12,067
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{GD12} &= Z \cdot I_{GD12} \\
 &= 0,009 \times 586,619 \\
 &= 5,279
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 18) V_{GT} &= V_{bus4} + \Delta V_{GT} \\
 &= 424,205 + 12,067 \\
 &= 436,273
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{GD12} &= V_{bus4} + \Delta V_{GD12} \\
 &= 424,205 + 5,279 \\
 &= 429,485
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 19) P_{GT} &= V_{GT} \times I_{GT} \times \cos \phi \\
 &= 436,273 \times 1.340,84 \times 0,91 \\
 &= 532.326 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{GD12} &= V_{GD12} \times I_{GD12} \times \cos \phi \\
 &= 429,485 \times 586,619 \times 0,91 \\
 &= 229.269 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 20) Q_{GT} &= V_{GT} \times I_{GT} \times \sin \phi \\
 &= 254.967 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{GD12} &= V_{GD12} \times I_{GD12} \times \sin \phi \\
 &= 108.104 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan ulang aliran daya dari atas (generator) dalam hal ini adalah satu buah generator thruster dan dua diesel generator hingga ke bawah (dua buah bow thruster dan semua beban di kapal) :

$$9. P_{GT} = V I \cos \phi$$

$$I_{GT} = \frac{532.326}{415 \times 0,91}$$

$$= \frac{532.326}{377,65}$$

$$= 1.409,58$$

$$P_{GD12} = V I \cos \phi$$

$$I_{GD12} = \frac{229.269}{415 \times 0,91}$$

$$= \frac{229.269}{377,65}$$

$$= 607,094$$

$$\begin{aligned}
 10. \Delta V_{GT} &= Z \cdot I_{GT} \\
 &= 0,009 \times 1.409,58 \\
 &= 12,686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{GD12} &= Z \cdot I_{GD12} \\
 &= 0,009 \times 607,094 \\
 &= 5,463
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 11. V_{\text{bus4}} &= V - \Delta V \\
 &= 415 - 12,686 \\
 &= 402,314
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 12. I_{\text{BT1}} &= \frac{75\% \text{ BT1}}{(75\% \text{ BT1}) + (75\% \text{ BT2}) + (60\% \text{ BS})} \times (I_{\text{GT}} + I_{\text{GD1}} + I_{\text{GD2}}) \\
 &= \frac{386.250}{(386.250) + (386.250) + (176.944)} \times (2.623,76) \\
 &= 1.067,39
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{BT2}} &= \frac{75\% \text{ BT2}}{(75\% \text{ BT1}) + (75\% \text{ BT2}) + (60\% \text{ BS})} \times (I_{\text{GT}} + I_{\text{GD1}} + I_{\text{GD2}}) \\
 &= \frac{386.250}{(386.250) + (386.250) + (176.943,6)} \times (22.623,76) \\
 &= 1.067,39
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{BS}} &= \frac{60\% \text{ BS}}{(75\% \text{ BT1}) + (75\% \text{ BT2}) + (60\% \text{ BS})} \times (I_{\text{GT}} + I_{\text{GD1}} + I_{\text{GD2}}) \\
 &= \frac{176.943,6}{(386.250) + (386.250) + (176.943,6)} \times (2.623,76) \\
 &= 488,979
 \end{aligned}$$

$$13. \Delta V_{\text{BT1}} = Z \cdot I_{\text{BT1}} \quad \left| \quad \Delta V_{\text{BT2}} = Z \cdot I_{\text{BT2}} \right. \\
 = 0,009 \times 1.067,39 \quad \left| \quad = 0,009 \times 1.067,39 \right. \\
 = 9,606 \quad \left| \quad = 9,606 \right.$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{\text{BS}} &= Z \cdot I_{\text{BS}} \\
 &= 0,009 \times 488,979 \\
 &= 4,4008
 \end{aligned}$$

$$14. V_{\text{BT1}} = V_{\text{bus4}} - \Delta V_{\text{BT1}} \quad \left| \quad V_{\text{BT2}} = V_{\text{bus4}} - \Delta V_{\text{BT2}} \right. \\
 = 402,314 - 9,606 \quad \left| \quad = 402,314 - 9,606 \right. \\
 = 392,707 \quad \left| \quad = 392,707 \right.$$

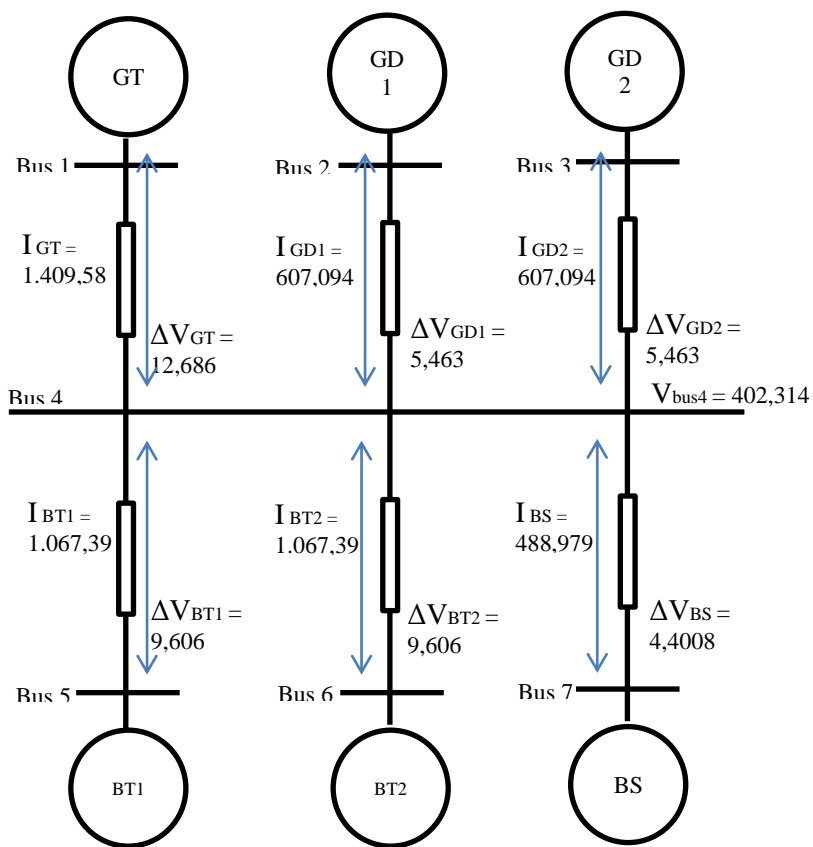
$$\begin{aligned}
 V_{\text{BS}} &= V_{\text{bus4}} - \Delta V_{\text{BS}} \\
 &= 402,314 - 4,4008 \\
 &= 397,913
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 15. P_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \cos \varphi & P_{BT2} &= V_{BT2} \times I_{BT2} \times \cos \varphi \\
 &= 392,707 \times 1.067,39 & &= 392,707 \times 1.067,39 \\
 &\quad \times 0,91 & &\quad \times 0,91 \\
 &= 381.447 \text{ watt} & &= 381.447 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{BS} &= V_{BS} \times I_{BS} \times \cos \varphi \\
 &= 397,913 \times 488,979 \times 0,91 \\
 &= 177.060 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 16. Q_{BT1} &= V_{BT1} \times I_{BT1} \times \sin \varphi & Q_{BT2} &= V_{BT2} \times I_{BT2} \times \sin \varphi \\
 &= 173.792 \text{ Var} & &= 173.792 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{BS} &= V_{BS} \times I_{BS} \times \sin \varphi \\
 &= 80.670 \text{ Var}
 \end{aligned}$$



1 Generator Thruster, 2 Bow Thruster		Z = 0,45 Ω/km		, Penambahan Kapasitor =		65405	KVar																												
Skenario 2																																			
Panjang Kabel = 20m																																			
Variasi 1 (40% - 40%)		0,4	0,4	Perhitungan Naik																Perhitungan Turun															
		Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	VZ	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	VZbaru	Imbaru	Vdrop2	Vmbaru	Pmbaru	Qmbaru																
Daya M1	515000	206000	93856,4	545,479	4,90931	419,909	1090,96	9,81862	429,728	426621	194374	1129,67	10,1671	404,833	564,837	5,08353	399,749	205472	93615,8																
Daya M2	515000	206000	93856,4	545,479	4,90931	419,909								404,833	564,837	5,08353	399,749	205472	93615,8																
Vm	415									194374								93615,8																	
Kabel	0,009									426621								410944																	
Cos P1	0,91													0,96325	0,03675																				
Variasi 2 (50% - 50%)		0,5	0,5	Perhitungan Naik																Perhitungan Turun															
		Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	VZ	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	VZbaru	Imbaru	Vdrop2	Vmbaru	Pmbaru	Qmbaru																
Daya M1	515000	257500	117320	681,848	6,13663	421,137	1363,7	12,2733	433,41	537846	245050	1424,19	12,8177	402,182	712,096	6,40886	395,773	256464	116848																
Daya M2	515000	257500	117320	681,848	6,13663	421,137								402,182	712,096	6,40886	395,773	256464	116848																
Vm	415									245050								116848																	
Kabel	0,009									537846								512928																	
Cos P1	0,91													0,95367	0,04633																				
Variasi 3 (60% - 60%)		0,6	0,6	Perhitungan Naik																Perhitungan Turun															
		Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	VZ	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	VZbaru	Imbaru	Vdrop2	Vmbaru	Pmbaru	Qmbaru																
Daya M1	515000	309000	140785	818,218	7,36396	422,364	1636,44	14,7279	437,092	650898	296558	1723,55	15,5119	399,488	861,774	7,75597	391,732	307202	139965																
Daya M2	515000	309000	140785	818,218	7,36396	422,364								399,488	861,774	7,75597	391,732	307202	139965																
Vm	415									296558								139965																	
Kabel	0,009									650898								614404																	
Cos P1	0,91													0,94393	0,05607																				

2 Generator Thruster - 1 Diesel Generator, 2 Bow Thruster & Semua Beban di Kapal (60%)																		
Panjang Kabel = 20m																		
Z = 0.45 Ω/km > enambahan Kapasitor 65405 kVar																		
Skenario 3																		
Variasi 1 [60% - 75%, 60%]	0.6	0.75	0.6	0.6	Perhitungan Turun													
Perhitungan Maik																		
Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	V2baru	Vdrop2	Imbaru	Vdrop2	Imbaru	Qmbaru	
Daya M1	515000	309000	140795	818.22	7.364	424.2	947.5	8.5275	432.73	37312	163995	987.98	8.8919	406.11	851.48	7.6633	398.44	308734
Daya M2	515000	386250	175981	1022.8	9.205	424.2	947.5	8.5275	432.73	37312	163995	987.98	8.8919	406.11	1084.4	9.5792	396.53	384062
Daya M3	294906	176944	80618	468.54	4.2168	424.2	414.53	3.7308	427.94	161427	73548	427.45	3.8471	406.11	487.59	4.3883	401.72	178245
Vm	415							907652				8785			6525.2			871041
Kabel	0.009							0.9597	0.0403			8785			10196			56135
Cos Pi	0.91											1644.4			2133.7			
Variasi 2 [100% - 80%, 60%]	1	0.8	0.6	0.6	Perhitungan Turun													
Perhitungan Maik																		
Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	V2baru	Vdrop2	Imbaru	Vdrop2	Imbaru	Qmbaru	
Daya M1	515000	234641	1363.7	12.273	427.27	1193.3	438.07	4780.73	217817	1265.9	11.393	403.61	14.359	12.923	390.68	5104.99	232590	
Daya M2	515000	412000	187713	1091	9.8186	427.27	1193.3	438.07	4780.73	1265.9	11.393	403.61	14.359	10.339	393.27	41101	187303	
Daya M3	294906	176944	80618	468.54	4.2168	427.27	524.68	4.7221	432	206258	93974	546.16	4.9155	403.61	4.4402	399.17	179205	
Vm	415							IE+06		14423		18557					IE+06	
Kabel	0.009							0.947	0.053			14423			11876			0.0586
Cos Pi	0.91									2684.6		2190.6						
Variasi 3 [100% - 100%, 60%]	1	1	0.6	0.6	Perhitungan Turun													
Perhitungan Maik																		
Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	V2baru	Vdrop2	Imbaru	Vdrop2	Imbaru	Qmbaru	
Daya M1	515000	234641	1363.7	12.273	427.27	1311.2	11.8	439.07	523880	238687	1387.2	12.485	402.52	14.389	12.95	389.57	510092	
Daya M2	515000	234641	1363.7	12.273	427.27	1311.2	11.8	439.07	523880	238687	1387.2	12.485	402.52	14.389	12.95	389.57	510092	
Daya M3	294906	176944	80618	468.54	4.2168	427.27	573.63	5.1627	432.44	225732	102847	597.73	5.3796	402.52	4.4494	398.07	179082	
Vm	415							IE+06		17319		18634					IE+06	
Kabel	0.009							0.9417	0.0683			17319			18634			
Cos Pi	0.91									3215.5		2193.6						
Variasi 4 [110% - 110%, 60%]	1.1	1.1	0.6	0.6	Perhitungan Turun													
Perhitungan Maik																		
Pmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Ig	Drop2	Vg	Pg	Qg	Igbaru	Vdrop1	V2baru	Vdrop2	Imbaru	Vdrop2	Imbaru	Qmbaru	
Daya M1	515000	568500	258105	1500.1	13.501	428.5	14.23	12.807	441.31	571481	260374	1513.3	13.619	401.38	1590.5	14.314	387.07	560217
Daya M2	515000	568500	258105	1500.1	13.501	428.5	14.23	12.807	441.31	571481	260374	1513.3	13.619	401.38	1590.5	14.314	387.07	560217
Daya M3	294906	176944	80618	468.54	4.2168	428.5	6.0332	434.1	245941	112054	651.24	5.9612	401.38	4.471	496.78	4.471	396.91	179431
Vm	415							IE+06		20609		22767					IE+06	
Kabel	0.009							0.9369	0.0641			20609			22767			
Cos Pi	0.91									3817		22211						

2 Generator Thruster - 2 Diesel Generator, 2 Bow Thruster & Semua Beban di Kapal (60%)																			
Panjang Kabel = 20m Z = 0,45 Ω/km 2enambahan Kapasitor 65405 KVar																			
Skenario 4																			
Variasi 1 (60% - 75%, 60%)																			
	0,6		0,75		0,6														
Perhitungan Naik																			
	Fmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Iq	Drop2	Vg	Pg	Qg	Iqbaru	Vdrop1	Perhitungan Turun						
Daya M1	515000	309000	140785	818,22	7,364	424,2	803,31	7,2298	43143	316386	143694	836,13	7,5161	407,48	848,18	7,6336	399,85	308622	140612
Daya M2	515000	386250	175981	1022,8	9,205	424,2	803,31	7,2298	43143	316386	143694	836,13	7,5161	407,48	1060,2	9,542	397,94	383936	174927
Daya M3	294906	176944	80618	468,54	4,2168	424,2	351,45	3,1631	136681	62274	361,92	3,2673	407,48	485,7	4,3713	403,11	178169	8176	
Vm	415					351,45	3,1631	427,37	136681	62274	361,92	3,2673						870728	
Kabel	0,009								904133		2394,1								
Cos P1	0,91												0,9631	0,0369					
Variasi 2 (100% - 80%, 60%)																			
	1		0,8		0,6														
Perhitungan Naik																			
	Fmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Iq	Drop2	Vg	Pg	Qg	Iqbaru	Vdrop1	Perhitungan Turun						
Daya M1	515000	515000	234641	1363,7	12,273	427,27	1016,8	9,1609	43642	403803	183978	1069,3	9,6233	405,38	1428,9	12,861	392,52	510406	232548
Daya M2	515000	412000	187713	1091	9,8186	427,27	1016,8	9,1609	43642	403803	183978	1069,3	9,6233	405,38	1143,2	10,288	395,09	411000	187257
Daya M3	294906	176944	80618	468,54	4,2168	427,27	444,83	4,0035	43128	174580	79541	462,28	4,1605	405,38	490,96	4,4186	400,96	179137	81617
Vm	415					444,83	4,0035	431,28	174580	79541	462,28	4,1605						IE+06	
Kabel	0,009								IE+06										
Cos P1	0,91												0,9514	0,0486					
Variasi 3 (100% - 100%, 60%)																			
	1		1		1		0,6												
Perhitungan Naik																			
	Fmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Iq	Drop2	Vg	Pg	Qg	Iqbaru	Vdrop1	Perhitungan Turun						
Daya M1	515000	515000	234641	1363,7	12,273	427,27	1111,6	10,005	437,28	442342	201637	1171,3	10,542	404,46	1431,3	12,881	391,58	510013	232369
Daya M2	515000	515000	234641	1363,7	12,273	427,27	1111,6	10,005	437,28	442342	201637	1171,3	10,542	404,46	1431,3	12,881	391,58	510013	232369
Daya M3	294906	176944	80618	468,54	4,2168	427,27	486,34	4,377	43165	191034	87038	505,85	4,5626	404,46	491,76	4,4258	400,03	179014	81651
Vm	415					486,34	4,377	431,65	191034	87038	505,85	4,5626						IE+06	
Kabel	0,009								IE+06										
Cos P1	0,91												0,9465	0,0535					
Variasi 4 (100% - 100%, 60%)																			
	11		11		11		0,6												
Perhitungan Naik																			
	Fmawal	Qmawal	Im	Drop1	V2	Iq	Drop2	Vg	Pg	Qg	Iqbaru	Vdrop1	Perhitungan Turun						
Daya M1	515000	566500	258105	1500,1	13,601	428,5	1206,5	10,858	439,36	482377	219777	1277,3	11,496	403,5	1581,4	14,233	389,27	560189	256230
Daya M2	515000	566500	258105	1500,1	13,601	428,5	1206,5	10,858	439,36	482377	219777	1277,3	11,496	403,5	1581,4	14,233	389,27	560189	256230
Daya M3	294906	176944	80618	468,54	4,2168	428,5	527,84	4,7506	433,25	208106	94816	551,06	4,9595	403,5	493,94	4,4455	399,06	179372	81724
Vm	415					527,84	4,7506	433,25	208106	94816	551,06	4,9595						IE+06	
Kabel	0,009								IE+06										
Cos P1	0,91												0,9412	0,0588					

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Ranny Zakaria Ar-Razy; lahir di Surabaya pada tanggal 10 September 1995 dan merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Arief Djunaidi dan Heny Suhartatik. Bersekolah di TK Harapan Surabaya, lalu dilanjutkan ke SDN Simokerto VI – 139 Surabaya. Penulis ini melanjutkan ke SMPN 9 Surabaya lalu meneruskan ke SMAN 1 Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2013 penulis meneruskan studi ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tepatnya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan. Pada tahun kedua penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan dan acara di lingkup jurusan dan fakultas serta diluar kampus. Pada tahun keempat penulis memilih fokus pada bidang Marine Electrical and Automation Systems (MEAS) di departemen dan mengambil skripsi pada bidang tersebut. Penulis mengakhiri masa perkuliahannya pada tahun 2019 bulan September dan lebih dari 4 tahun.

Ranny Zakaria Ar-Razy – 0421134000046

Email : rannyzakaria@gmail.com