



TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM
DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL TRIMARAN
BERTENAGA LISTRIK HYBRIDA BERBASIS ETAP**

Ruwinda Permatasari

04211640000018

Dosen Pembimbing :

Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM
DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL TRIMARAN
BERTENAGA LISTRIK HYBRIDA BERBASIS ETAP**

Ruwinda Permatasari

04211640000018

Dosen Pembimbing :

Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME184834

**ETAP BASE TRANSIENT STABILITY ANALYSIS
DIRECT CURRENT DISTRIBUTION SYSTEM OF
HYBRID POWER FOR TRIMARAN PASSENGER SHIP**

Ruwinda Permatasari

04211640000018

Supervisor :

Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN I

**ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH
PADA KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRIDA BERBASIS
ETAP**

TUGAS AKHIR

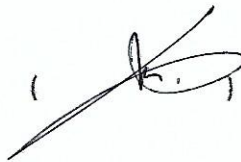
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ruwinda Permatasari
NRP. 04211640000018

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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



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



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN II

**ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH
PADA KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRIDA BERBASIS
ETAP**

TUGAS AKHIR

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 :

Ruwinda Permatasari

NRP. 0421164000018

Disetujui oleh Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Para pelaku pada bidang maritim saling membuat inovasi untuk menciptakan teknologi yang canggih namun disertai juga peningkatan polusi terhadap lingkungan. Penyumbang polusi terhadap lingkungan salah satunya adalah gas buang kapal yang berupa NO_x, SO_x dari hasil pembakaran bahan bakar di mesin utama. Polusi udara ini menyebabkan efek kumulatif yang berkontribusi terhadap masalah kualitas udara keseluruhan yang dihadapi oleh populasi di banyak wilayah dan juga mempengaruhi lingkungan alami. Oleh karena itu, pada saat ini banyak penelitian telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal, Salah satu diantaranya adalah penggunaan sistem hybrid di kapal. Sistem hybrid yang ada di kapal merupakan kemajuan teknologi kapal ramah lingkungan dengan menggabungkan bahan bakar dengan energi terbarukan sebagai sumber energipenghasil listrik. Oleh karena itu penggunaan energi listrik pada sistem hybrid diperlukan adanya analisa kestabilan tegangan pada kapal untuk memastikan tegangan yang terdistribusikan dapat terus stabil selama penggunaan. Berdasarkan hal tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menyusun studi mengenai analisa kestabilan tegangan pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida dengan metode simulasi *transient stability* menggunakan *software*. Pada penelitian ini difokuskan pada sistem distribusi pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida dengan analisa variasi penggunaan pembangkit listrik yang digunakan dan perubahan mendadak pada beban distribusi. Hasil menyimulasikan dari 3 skenario variasi penggunaan pembangkit dengan tingkat kestabilan yang sesuai standart nilai toleransi stabilitas tegangan dari IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV hanya pada skenario 4 generator beroperasi tanpa menggunakan baterai dengan persentase stabilitas tegangan mencapai 99,6%. Pada analisa kondisi perubahan beban mendadak hasil yang didapatkan tingkat kestabilan yang memenuhi standart ialah pada saat skenario 4 generator dengan beban terbesar lepas 10 detik ataupun saat beban sedang dan beban kecil yang lepas selama 10 detik. Persentase tegangan menunjukkan adanya kenaikan tetapi masi dalam nilai toleransi dari standart nilai toleransi stabilitas tegangan dari IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV $\pm 5\%$.

Kata Kunci: sistem hybrida, stabilitas tegangan transient, ETAP

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

Stakeholders in the maritime industry keep creating breakthrough innovations, but alongside the activities, pollution rates keep climbing up as well. One of the most prominent contributors to pollution is ships' exhaust gas which consists of NO_x and SO_x resulted from the combustion process of the main engine. Air pollution creates a cumulative effect that contributes to the declining of the environment's air quality. Therefore, research to reduce ships' combustion exhaust gas emission is getting more popular. One of the newest introduced ideas is the use of hybrid system on ships. Hybrid systems that work on ships is an environmentally friendly marine technology, it combines fuel oil and renewable energy as electricity generators on board ships. Due to this new innovation, ships that use this hybrid system need voltage stability analysis on their electricity usage to make sure that the distributed voltage stays balanced all through operation. Based on that explanation, the basis of this research is created, which is to analyze the voltage stability on a hybrid system trimaran ship with the method of transient stability simulation using a software. This research focuses on the distribution system on a hybrid system trimaran ship with variated analysis on the usage of the chosen power generator and sudden changes on the distribution load. The result simulated 3 variated scenarios of the operation of the power generator with stability rates according to the stability tolerance from IEEE Std 45-2002, 4,5 and BKI Vol IV on scenario 4 that the generator operates without using battery and the stability percentage reaches 99,6%. On the sudden load change analysis, it was found that the rate of stability that fulfills the standard is during 4 generators scenario with the biggest amount of load was unconnected for 10 seconds or when the medium load and small load were unconnected for 10 seconds. The percentage shows an increase but is still within the voltage tolerance range according to IEEE Std 45-2002, 4,5 and BKI Vol IV +/- 5%.

Keywords: hybrid,system, transient voltage stability, ETAP

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan segala karuniaNya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“ANALISA KESTABILAN TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRIDA BERBASIS ETAP”**. Harapannya laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk studi riset, ilmu pengetahuan, informasi dan referensi untuk pengembangan dalam penelitian serupa. Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang berperan dalam memberikan kritik, saran, masukan maupun dukungan pada saat pengerjaan tugas akhir. Ucapan terimakasih penulis ditujukan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan Rahmat dan HidayahNya sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Orang tua saya Bapak Rumpoko dan Ibu Perwi Darmajanti dan seluruh keluarga yang selalu memberikan doa terbaiknya dan dukungungan untukku, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc selaku Ketua lab RAMS, Dosen Wali, dan Dosen pembimbing 1, yang selalu memberikan ilmu – ilmu terbaiknya kepada saya. Sehingga, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
4. Bapak Ir.Sardono Sarwito, M.Sc. selaku Ketua lab MEAS dan Dosen pembimbing 2 yang selalu memberikan ilmu – ilmunya kepada saya, sehingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir saya dengan lancar dan benar.
5. Ir. Amiadji, M.Sc selaku dosen wali yang memberikan pembelajaran hidup yang berarti bagi penulis selama belajar di Departemen Teknik Sistem Perkapalan
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
7. Seluruh grader dan teman-teman di *Laboratorium Marine Electrical and Autonomical Sistem*.
8. Sahabat-sahabat saya Triska, Dinda, dan teman- teman yang membantu penulis dalam mengerjakan penelitian ini (Dimas,Adhim,Addien, Aliv dan Tatyana), yang selalu menemani penulis dikala suka dan duka selama berkuliah di ITS ini.
9. Teman-teman Voyage'16 yang selalu memberi dukungan dan doanya.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan pembuatan tugas akhir yang dilakukan masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis berharap pembaca dapat memberikan saran dan kritik yang bersifat membangun dalam upaya perbaikan dan menjadikan tugas akhir yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 30 Nopember 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN I | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN II..... | ix |
| ABSTRAK | xi |
| KATA PENGANTAR..... | xv |
| DAFTAR ISI..... | xvii |
| DAFTAR GAMBAR | xix |
| DAFTAR TABEL | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.5 Manfaat..... | 2 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Sistem Kelistrikan Kapal..... | 3 |
| 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hybrida..... | 4 |
| 2.3 Prinsip Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC | 5 |
| 2.4 Komponen Sistem Distribusi Pembangkit Tenaga Listrik DC..... | 7 |
| 2.5 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik..... | 10 |
| 2.5.1 Stabilitas Sudut Rotor..... | 11 |
| 2.5.2 Stabilitas Sudut Frekuensi..... | 11 |
| 2.5.3 Stabilitas Sudut Tegangan..... | 12 |
| 2.6 Definisi Kestabilan Transien..... | 12 |
| 2.7 Standart Batas Operasi Tegangan..... | 16 |
| 2.8 Pemodelan Electrical Transient Analysis Program | 18 |
| BAB III ALUR PENELITIAN..... | 20 |
| 3.1 Identifikasi dan Perumusan masalah | 22 |
| 3.2 Studi Literatur | 22 |
| 3.3 Pengumpulan Data | 22 |

| | |
|--|----|
| 3.4 Simulasi..... | 22 |
| 3.5 Analisa Data dan Pembahasan | 23 |
| 3.6 Kesimpulan..... | 23 |
| BAB IV DATA PENELITIAN | 25 |
| 4.1 Penjelasan Umum..... | 25 |
| 4.2 Data Kapal..... | 25 |
| 4.3 Analisa perhitungan Electrical Load | 26 |
| 4.4 Analisa Pemilihan Generator..... | 29 |
| 4.5 Perencanaan Distribusi Daya..... | 30 |
| 4.6 Penggambaran Single Line Diagram Pada <i>Software Transient Analysis</i> | 31 |
| 4.7 Perencanaan Studi Kasus Kapal Trimaran <i>Cargo Passenger Ship</i> | 33 |
| 4.8 Analisa Hasil Simulasi Stabilitas Tegangan Distribusi..... | 34 |
| BAB V KESIMPULAN | 54 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 55 |
| 5.2 Saran..... | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 57 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Sistem <i>Hybrid</i> Paralel | 2 |
| Gambar 2.1 Konsep Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC | 5 |
| Gambar 2.2 One line Diagram di Kapal (a) Distribusi AC (b) Distribusi DC | 6 |
| Gambar 2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Kapal dengan Sistem Terpusat | 7 |
| Gambar 2.4 Komponen Sistem Distribusi Tenaga Listrik <i>Hybrid</i> | 7 |
| Gambar 2.5 Specific Fuel Oil (SFOC) pada motor bakar dalam | 9 |
| Gambar 2.6 Sistem penyearah arus generator sinkron | 9 |
| Gambar 2.7 Topological circuit of the full bridge bidirectional | 10 |
| Gambar 2.8 Klasifikasi stabilitas listrik | 11 |
| Gambar 2.9 Garis besar sistem tenaga listrik | 14 |
| Gambar 2.10 Perilaku generator saat terjadi gangguan | 15 |
| Gambar 2.11 Batas tegangan operasi untuk transient stabilitas | 16 |
| Gambar 2.12 Tampilan Electrical Transient Analysis Program | 22 |
| Gambar 3.1 Flowchart Penelitian | 21 |
| Gambar 4.1 General Arrangement Trimaran Cargo Passanger Ship | 26 |
| Gambar 4.2 Single Line Diagram dan Hasil Simulasi Load Flow | 32 |
| Gambar 4.3 Grafik Generator Beroperasi Sendiri | 35 |
| Gambar 4.4 Grafik Generator dan Baterai Beroperasi | 36 |
| Gambar 4.5 Grafik 3 Generator dan Baterai Beroperasi | 38 |
| Gambar 4.6 Grafik Generator Beroperasi Sendiri dengan beban terbesar lepas 10 detik | 39 |
| Gambar 4.7 Grafik Generator Beroperasi Sendiri dengan beban sedang lepas 10 detik | 40 |
| Gambar 4.8 Grafik Generator Beroperasi Sendiri dengan beban kecil lepas 10 detik | 41 |
| Gambar 4.9 Grafik Generator dan Baterai Beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik..... | 42 |
| Gambar 4.10 Grafik Generator dan Baterai Beroperasi dengan beban sedang lepas 10 detik..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.11 Grafik Generator dan Baterai Beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik..... | 46 |
| Gambar 4.12 Grafik 3Generator dan Baterai Beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik..... | 48 |
| Gambar 4.13 Grafik 3Generator dan Baterai Beroperasi dengan beban sedang lepas 10 detik..... | 50 |
| Gambar 4.14 Grafik 3Generator dan Baterai Beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik..... | 52 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Standart Variasi Tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC | 17 |
| Tabel 2.2 Standart Variasi Tegangan dan frekuensi sistem distribusi DC | 17 |
| Tabel 2.3 IEEE Std 45-2002, 4,5 | 17 |
| Tabel 4.1 Data Ukuran Utama Kapal | 25 |
| Tabel 4.2 Daftar beban listrik pada kapal | 27 |
| Tabel 4.3 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (1) | 27 |
| Tabel 4.4 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (2) | 28 |
| Tabel 4.5 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (3) | 29 |
| Tabel 4.6 Kebutuhan Beban Listrik Kapal Trimaran | 30 |
| Tabel 4.7 Perencanaan Distribusi Daya pada Beban Listrik Kapal Trimaran | 30 |
| Tabel 4.8 Studi Kasus Penggunaan Pembangkit Listrik Hybrid | 33 |
| Tabel 4.9 Studi Kasus Perubahan Mendadak Beban Distribusi Listrik Hybrid | 34 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

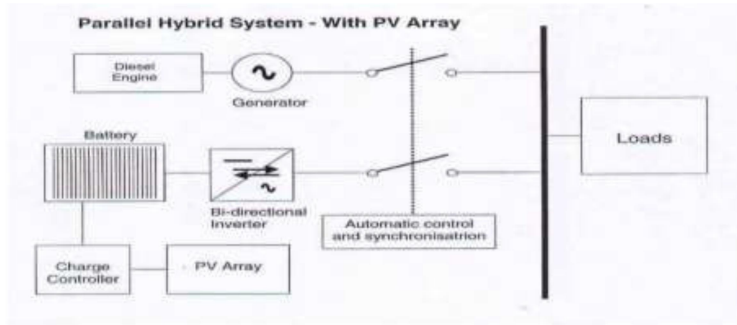
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun ini terjadi perkembangan industri yang sangat pesat. Hal ini diimbangi dengan perkembangan teknologi untuk menunjang perkembangan industri tersebut tak terkecuali bidang industri maritim. Para pelaku pada bidang maritim saling membuat inovasi untuk menciptakan teknologi yang canggih dan juga ramah lingkungan karena seiring kemajuan teknologi disertai juga peningkatan polusi terhadap lingkungan. Penyumbang polusi terhadap lingkungan salah satunya adalah gas buang kapal yang berupa NO_x, SO_x dan lainnya yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar di mesin utama.

Polusi udara ini menyebabkan efek kumulatif yang berkontribusi terhadap masalah kualitas udara keseluruhan yang dihadapi oleh populasi di banyak wilayah dan juga mempengaruhi lingkungan alami, seperti hujan asam yang kuat. Tindakan pencegahan untuk mengurangi polusi udara yang terjadi digunakan peraturan yang mengatur tentang polusi udara tersebut dalam lingkup regional ataupun internasional. Peraturan internasional yang menjadi acuan pengaturan polusi udara ialah International Maritime Organization (IMO) Marpol pada annex IV tentang *Prevention of Air Pollution from Ships*. Peraturan tersebut menjelaskan tentang batasan kandungan SO_x pada gas buang motor diesel yang tidak boleh melebihi dari 6 g/kWh dan batasan maksimum kadar NO_x berkisar 9,8-17 g/kWh yang tergantung dari putaran motor (IMO, 2016). Sehingga semua kapal yang akan memasuki wilayah perairan suatu negara yang telah meratifikasi peraturan tersebut, maka diharuskan untuk memenuhi standar yang sesuai. Oleh karena itu, pada saat ini banyak penelitian telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal, salah satu diantaranya adalah penggunaan sistem hybrid di kapal.

Sistem hybrid merupakan konsep penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Kapal dengan sistem hybrid bertujuan untuk penghematan bahan bakar dan juga mengurangi emisi dari sistem permesinan kapal. Teknologi hybrid ini berpotensi untuk dikembangkan di kapal yang beroperasi di Indonesia dengan kombinasi antara sel surya (*Photovoltaic*), turbin angin dengan diesel generator karena letak geografis Indonesia yang menunjang pada daerah khatulistiwa, sehingga wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Sistem hybrid dapat dirangkai paralel, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, diesel generator dan baterai dapat menyuplai beban secara bersamaan. Sistem *hybrid* paralel menggunakan inverter dua arah yang dapat berfungsi sebagai inverter (mengubah daya dc menjadi ac) dan sebagai *charger* dan regulator (mengubah daya ac menjadi dc).



Gambar 1.1 Sistem Hybrid Paralel
(Sumber : (Putri and Koenhardono, 2016))

Oleh karena itu, penggunaan energi listrik pada sistem hybrid diperlukan adanya analisa kestabilan tegangan pada kapal untuk memastikan tegangan yang terasalurkan dapat terus stabil selama penggunaan. Berdasarkan hal-hal yang telah disampaikan maka dasar tersebut digunakan untuk menyusun studi mengenai analisa kestabilan tegangan pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida dengan metode simulasi berbasis ETAP. Pada penelitian ini difokuskan pada sistem distribusi DC pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana analisa kestabilan tegangan pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida dengan menggunakan sistem transmisi DC?
2. Apakah kestabilan dapat tercapai sesuai ketentuan BKI atau IEEE?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Simulasi analisa kestabilan tegangan hanya dilakukan pada sistem kelistrikan kapal trimaran hybrida dalam kondisi *sailing*
2. Proses pensimulasian terbatas menggunakan software ETAP

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapat nilai kestabilan tegangan pada kapal trimaran bertenaga listrik hybrida dengan menggunakan sistem distribusi DC
2. Menganalisa kualitas tegangan DC berdasarkan ketentuan BKI atau rules yang berlaku

1.5 Manfaat

Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai bahan referensi dalam pengembangan listrik alternatif yang ada di kapal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kelistrikan Kapal

Sistem kelistrikan kapal ialah suatu sistem yang bekerja pada suatu instalasi listrik kapal. Kegunaan dari instalasi listrik kapal merupakan salah satu sistem kerja pada kapal yang menghantarkan energi listrik untuk keberlangsungan kinerja dari operasional suatu kapal. Tanpa adanya sistem kelistrikan di kapal, kapal tidak akan dapat beroperasi untuk kegiatan operasional. Karena pada prinsipnya listrik merupakan kebutuhan utama dalam menjalankan kegiatan operasional di kapal. Tanpa adanya listrik tentunya komponen-komponen seperti motor, pompa, alat elektronik, alat navigasi, dan komponen lain yang membutuhkan listrik, tidak akan dapat beroperasi. Sistem kelistrikan di kapal dapat dimulai dari unit pembangkit listrik yaitu diesel generator yang selanjutnya akan melalui berbagai macam komponen sistem distribusi untuk penyuplai daya listrik.

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

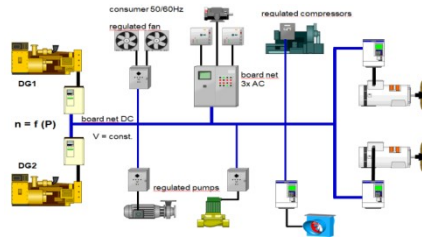
Pada sistem kelistrikan di kapal pada umumnya menggunakan minimal 2 diesel generator. Karena dalam pengoperasiannya dalam keadaan beban penuh dapat digunakan seluruh generator yang ada. Namun ketika dalam kondisi beban biasa maka penggunaan generator dapat dilakukan secara bergantian agar nilai keandalan dari generator dapat terjaga dengan baik. Jumlah generator dapat ditentukan dengan menghitung jumlah kebutuhan daya dari semua komponen listrik yang ada dikapal. Untuk mengetahui besar atau jumlah daya yang dibutuhkan (menentukan daya generator) yang ada di kapal, harus ditentukan terlebih dahulu daya yang

akan dipakai oleh lampu-lampu untuk penerangan, dan peralatan-peralatan listrik (motor-motor listrik) (Sarwito, 1995). Dari perhitungan tersebut didapatkan berapa generator yang dibutuhkan dengan daya yang sesuai dengan kebutuhan daya pada kapal.

Dalam sebuah kapal diharuskan memiliki *emergency* generator atau *battery*. Fungsinya adalah untuk menyuplai daya listrik ketika generator utama mengalami kerusakan. Hal ini untuk menghindari kapal dalam kondisi *blackout*. Daya listrik keluaran dari *emergency* generator ini biasanya akan dipusatkan menuju ke satu *Main Switch Board* (MSB). *Emergency switchboard* dan sistem *emergency distribution* daya terhubung dengan *bus tie* dari *switchboard* di kapal. Apabila sistem distribusi daya di kapal mengalami kegagalan atau gangguan, sistem *emergency distribution* akan secara otomatis berpindah dari pelayanan normal ke pelayanan dengan menggunakan *battery*. Sistem yang digunakan agar distribusi berpindah secara otomatis ke *battery* dengan menggunakan prinsip kerja *acos*. *Battery* di kapal dipergunakan untuk menyuplai kebutuhan operasional yang tidak boleh mati saat kapal beroperasi seperti sistem navigasi, sistem komunikasi, dan lampu-lampu darurat. Saat terjadi *blackout* dan distribusi daya menggunakan *battery*, awak kapal segera mempersiapkan *emergency* generator untuk menggantikan peran *battery*. Dan saat penggunaan *emergency* generator saat itu juga awak kapal mereparasi generator utama yang bermasalah. Terdapat bermacam desain untuk distribusi daya pada sistem kelistrikan di kapal tergantung tipe kapalnya.

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hibrida

Sistem pembangkit listrik *hybrid* adalah suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggunakan dua atau lebih sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi penerapannya dapat menghasilkan keuntungan ekonomis maupun teknis. PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid) memiliki kegunaan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan lebih dari 1 macam pembangkit. Hal yang membuat adanya perbedaan adalah gabungan pembangkit listrik ini antara sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dengan yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*). Energi untuk pembangkit listrik *hybrid* yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang berasal dari energi alternatif dan dikombinasikan dengan Diesel-Generator. Sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan suatu daya listrik yang kontinyu dengan efisiensi yang paling optimal.



Gambar 2.1. Konsep Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC
(Sumber : (Kundur *et al.*, 2004))

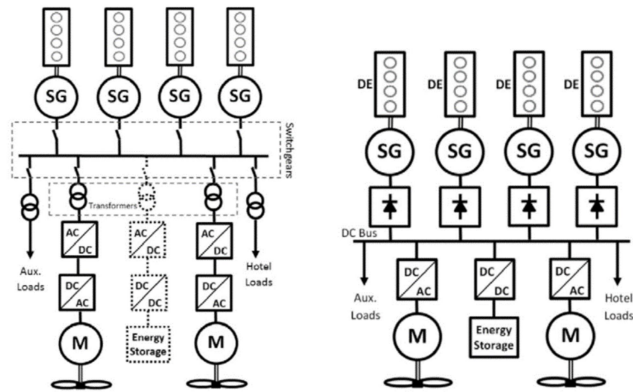
Elektronika daya mempunyai peranan penting dalam optimalisasi isu tersebut. Dikawal, elektronik konverter tenaga telah membuat terobosan dalam hal penghematan bahan bakar, ketika aplikasi Variable Speed Drives (VSD) pada tahun 1990 untuk sistem propulsi kapal listrik. Keberhasilan aplikasi VSD dalam pengembangan sistem propulsi listrik telah mempromosikan konsep kapal listrik dimana listrik akan mensuplai daya propulsi dan beban di kapal. Meskipun sebagian besar kapal listrik yang ada saat ini menggunakan sistem distribusi ac, penetrasi elektronik daya konverter ke dalam sistem tenaga listrik menimbulkan kecenderungan terhadap pengembangan sistem distribusi dc

Pengembangan terhadap transmisi DC ini berhubungan dengan terdapatnya kelemahan sistem pada distribusi daya ac kapal konvensional. Tantangan dari sistem distribusi ac kapal adalah untuk sinkronisasi unit pembangkit, aliran daya reaktif, arus masuk, arus transformator, arus harmonik, dan ketidakseimbangan tiga fase. Pada Gambar 2.1 menunjukkan gambaran diagram garis tunggal dari sistem daya ac kapal dibandingkan dengan jaringan dc kapal. Karena switchgears dan transformer yang besar tidak digunakan pada sistem dc, maka menjadi sebuah keuntungan sistem dc untuk penghematan ruang dan berat, dan pengaturan peralatan yang fleksibel. Selain itu, Distribusi tenaga listrik DC tidak memerlukan sinkronisasi unit pembangkit, sistem tenaga dc memungkinkan penggerak utama untuk beroperasi pada kecepatan optimal mereka, dan mengarah ke penghematan bahan bakar yang signifikan (Lan *et al.*, 2016). Pada Gambar 2.2 juga menunjukkan bahwa sistem dc memepersingkat untuk beberapa tahap konversi dan transformasi yang biasanya dibutuhkan sistem ac saat mengintegrasikan perangkat dengan output dc, seperti halnya perangkat penyimpanan energi.

2.3 Prinsip Sistem Distribusi Tenaga Listrik Arus DC

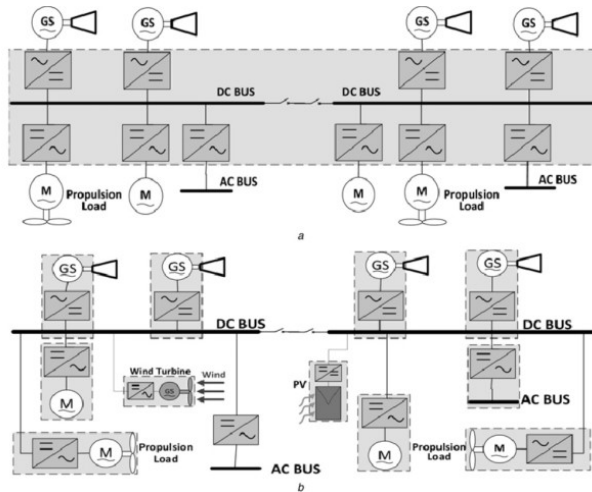
Dalam sistem pembangkit listrik kapal, sumber energi listrik dihasilkan oleh generator. Fungsi dari generator adalah untuk mengubah energi mekanik menjadi bentuk listrik. Ketika distribusi dc diterapkan, daya ac tiga fasa dikonversi menjadi daya dc melalui penyearah tiga fasa.

Penyearah dioda tiga fase dipilih karena kesederhanaan strukturnya, efisiensi energi yang tinggi, dan biaya rendah (Zahedi and Norum, 2013).



Gambar 2.2 :One line diagram di kapal (a) Distribusi AC (b) Distribusi DC
(Sumber : (Zahedi and Norum, 2013))

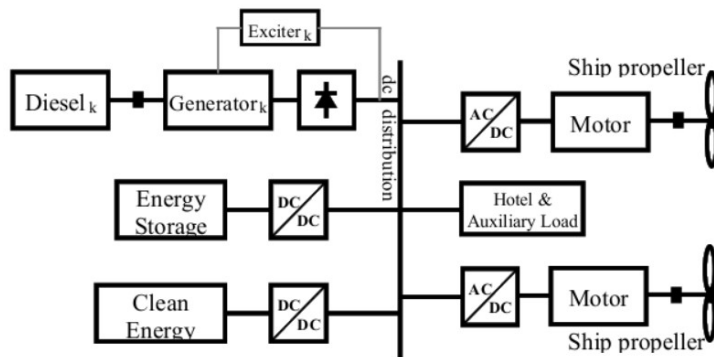
Prinsip pendistribusi tenaga listrik DC pada kapal dapat dijelaskan sebagai berikut, kapal memiliki pembangkit listrik AC, daya listrik yang dihasilkan generator dimasukkan ke dalam bus DC dan kemudian didistribusikan ke peralatan yang menggunakan. Pengubahan dari sistem distribusi tenaga listrik AC menjadi dilakukan oleh konverter (Zahedi and Norum, 2013). Setiap konsumen AC utama dipasok oleh konverter sendiri untuk memastikan keandalan maksimum. Semua konfigurasi yang mungkin dari *grid DC onboard* dapat dikategorikan ke dalam dua skema utama yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 yaitu berupa sistem terpusat dan terdistribusi penuh. Dalam sistem terpusat semua konverter berada di tempat yang sama, sementara di tempat terdistribusi masing-masing konverter berada di dekat generator listrik atau mesin listrik yang dilayaninya. Dalam hal ini, setiap generator listrik dilengkapi dengan rectifier yang dipasang langsung pada generator tersebut.



Gambar 2.3 : Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Kapal dengan Sistem Terpusat (a) dan Sistem terdistribusi (b)
(Sumber : (Kusuma, 2018))

2.4 Komponen Sistem Distribusi Pembangkit Tenaga Listrik DC

Komponen-komponen Sistem tenaga kapal hibrida DC terdapat dalam diagram one -line pada Gambar 2.4. Sel bahan bakar dan modul PV adalah sumber energi bersih yang diusulkan untuk kapal hemat bahan bakar dimasa depan. Tenaga surya dapat dikombinasikan dengan tenaga angin dengan menggunakan layar tetap yang dilengkapi dengan panel surya, yang menyediakan operasi nol-emisi. Penyimpanan energi di kapal semua-listrik dapat didasarkan pada teknologi yang berbeda, seperti baterai elektrokimia dan super kapasitor.



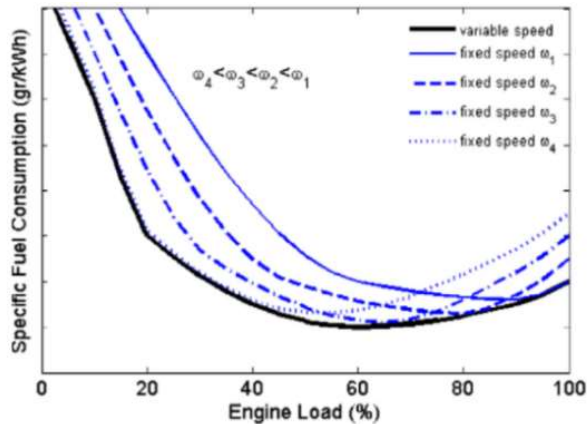
Gambar 2.4 : Komponen Sistem Distribusi Tenaga Listrik Hibrida
(Sumber : (Zahedi and Norum, 2013))

Sistem distribusi tenaga listrik arus DC terdiri dari unit pembangkit listrik, sistem penyimpanan energi listrik dengan baterai Li-Ion, beban propulsi, beban operasional kapal, dan beban tambahan. Di setiap unit

pembangkit, mesin penggerak digabungkan ke generator. Daya AC generator diubah menjadi daya dc melalui penyearah dioda tiga fasa. Kecepatan rotasi penggerak utama disesuaikan oleh *controller* untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar. Hal ini tidak mungkin dilakukan pada sistem daya ac konvensional, dimana referensi kecepatan konstan untuk menjaga sinkronisasi antara generator. Untuk mengelola pembagian daya di antara generator sambil mengatur tingkat tegangan dc, pemancar unit pembangkitan yang berbeda dapat dikoordinasikan oleh kontroller untuk mencegah tegangan jatuh. Sistem penyimpanan energi terdiri dari bank baterai Li-Ion dan konverter dc-dc dua arah memungkinkan untuk mengisi dan melepaskan baterai dengan cara yang terkendali. Pada bagian ini, unit pembangkit listrik dianalisis dan dimodelkan dalam bentuk konsumsi bahan bakar penggerak utama, dan efisiensi sistem pembangkit listrik. Efisiensi dari bank baterai dan konverter dc-dc juga dianalisis dan dimodelkan. Karena profil beban listrik dari sistem yang dipelajari tersedia, model efisiensi dari beban sistem tidak diperlukan.

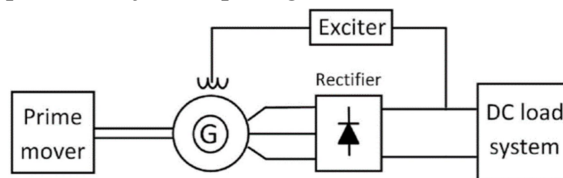
Generator sinkron sebagai pembangkit energi listrik utama dikapal, yang digerakkan oleh motorbakar dalam (ICE) berbahan bakar diesel atau Marine Diesel Oil. Kurva konsumsi bahan bakar khusus untuk ICE, yang diperoleh dari peta efisiensi mesin, memiliki perilaku kualitatif pada Gambar 5. Mesin pembakaran terus ditingkatkan efisiensinya dan pengurangan emisi. Namun, faktor pemanfaatan optimum bahan bakar mereka masih sekitar 40%, dan sisa energi yang tersimpan dalam bahan bakar dihamburkan melalui exhaust pipe.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5, pemanfaatan bahan bakar ICE dapat ditingkatkan dengan menyesuaikan kecepatan mesin berdasarkan beban mesin. Ini menyiratkan kerugian dari sistem distribusi tenaga listrik ac di kapal konvensional, dimana semua generator harus disinkronisasi pada frekuensi tetap, mencegah kontrol kecepatan yang optimal. Sedangkan pada sistem distribusi tenaga listrik DC memungkinkan mesin berputar secara mandiri dapat menyesuaikan dengan kecepatan optimal.



Gambar 2.5 : Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) pada Motor bakar Dalam
(Sumber : (Zahedi and Norum, 2013))

Dalam sistem distribusi tenaga listrik DC, daya ac tiga fasa harus diubah menjadi daya dc melalui penyearah tiga fasa. Karena aliran daya dua arah (*bidirectional power flow*) tidak diperlukan, maka penyearah arus dioda tiga fasa adalah pilihan yang menarik karena kesederhanaan struktural, efisiensi energi tinggi, dan biaya rendah. Mereka dapat dengan mudah digunakan dengan generator sinkron. Penyearah tiga fasa sudah digunakan dalam sistem propulsi listrik konvensional untuk memasok sambungan dc dari drive listrik propulsi. Transisi dari ac ke dc dapat dilihat sebagai peningkatan dari hubungan dc ini untuk membentuk bus dc terdistribusi, yang menyebabkan penghapusan switchboards besar, transformer ac, dan kehilangan daya yang terkait. Selain itu, akan ditunjukkan bahwa efisiensi pembangkit ditingkatkan, bila penggerak utama dikendalikan pada kecepatan optimalnya, seperti di tunjukkan pada gambar 2.6.

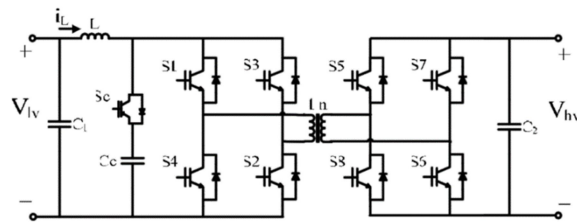


Gambar 2.6. Sistem penyearah arus generator sinkron

(Sumber : (Zahedi and Norum, 2013))

Konverter bidirectional digunakan untuk menggabungkan penyimpanan energi dalam sistem tenaga listrik DC. Fungsi dari alat ini adalah menyimpan energi listrik untuk memperbaiki kinerja sistem sementara, dan melakukan pembagian beban secara optimal di antara sumber-sumber energi listrik. Rangkaian topologi konverter bidirectional jembatan penuh digambarkan pada Gambar 2.7. Keuntungan topologi full-bridge bidirectional converter adalah untuk memberikan voltase tegangan dan arus yang lebih

rendah, sehingga menghasilkan penurunan kerugian yang signifikan dibandingkan dengan topologi half-bridge and push-pull.



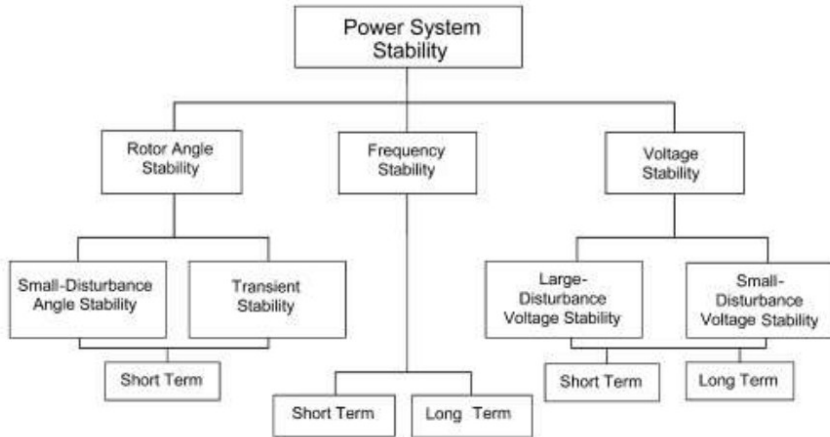
Gambar 2.7. Topological circuit of the full-bridge bidirectional dc-dc
(Sumber : (Zahedi and Norum, 2013))

2.5 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem untuk mendapatkan kembali kesetimbangan kondisi operasi setelah mengalami gangguan. Integritas sistem dipertahankan ketika keseluruhan sistem tenaga listrik tetap utuh tanpa pemutusan generator atau beban, kecuali untuk mengisolasi dari elemen yang mengalami gangguan atau sengaja diputuskan untuk mempertahankan kontinuitas operasi sistem.

Sistem tenaga listrik adalah sistem yang beroperasi dengan perubahan beban, keluaran generator, topologi, dan parameter operasi lain secara kontinyu. Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua, yaitu gangguan kecil dan besar. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban yang terjadi secara kontinyu dan sistem akan menyesuaikan dengan perubahan kondisi. Sistem harus dapat beroperasi dibawah setiap kondisi secara ideal dan sesuai dengan permintaan beban. Sistem juga harus dapat dipertahankan dari gangguan besar seperti hubungan singkat saluran transmisi. Pengklasifikasian stabilitas sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian, yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan (Nugroho, 2018).

Berdasarkan makalah Transaksi IEEE Pada Sistem Tenaga yang berjudul Definisi dan Klasifikasi Stabilitas Sistem Daya, stabilitas sistem listrik dapat dikategorikan seperti pada Gambar 2.8. Klasifikasi stabilitas sistem menjadi tiga yaitu stabilitas tegangan, stabilitas frekuensi dan stabilitas sudut rotor (Sarwito *et al.*, 2019).



Gambar 2.8. Kasifikas Stabilitas Listrik
(Sumber : (Sarwito *et al.*, 2019))

2.5.1 Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor adalah stabilitas yang berhubungan dengan kemampuan mesin sinkron (dalam hal ini generator) yang terkoneksi pada sistem tenaga listrik untuk tetap pada kondisi sinkron setelah mengalami gangguan. Kestabilan sudut rotor bergantung pada kemampuan untuk mengembalikan kesetimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik masing-masing mesin pada sistem. Ketidakstabilannya dapat menyebabkan kenaikan sudut ayunan pada generator yang berakibat kehilangan sinkronisasinya dengan generator lain. Kestabilan sudut rotor dibagi menjadi dua, yaitu stabilitas gangguan kecil (keadaan tunak) dan stabilitas keadaan transien (Nugroho, 2018).

2.5.2 Stabilitas Sudut Frekuensi

Stabilitas frekuensi terkait dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi tunak dengan kisaran nominal mengikuti beberapa gangguan sistem karena ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban. Hal ini bergantung pada pengembalian

keseimbangan antara sistem beban dan pembangkitan dengan meminimalkan pelepasan/kehilangan beban (Nugroho, 2018).

2.5.3 Stabilitas Sudut Tegangan

Stabilitas tegangan berhubungan dengan kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan tegangan tunak dalam seluruh rangkaian pada kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan. Akibat dari ketidak stabilan tegangan adalah lepasnya beban pada area dimana tegangan mencapai nilai rendah yang tidak dapat diterima atau kehilangan integritas sistem tenaga listrik.

Faktor utama penyebab ketidakstabilan tegangan biasanya adalah drop tegangan yang terjadi ketika daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi. Hal ini membatasi jaringan untuk mengirim daya. Transfer daya akan terbatas ketika generator mencapai batas dari maksimal daya reaktifnya. Berdasarkan rentan waktu terjadi, stabilitas tegangan dibagi menjadi stabilitas tegangan transien (*transient voltage stability*) dan stabilitas jangka panjang (*longer-term stability*).

2.6 Definisi Kestabilan Transien

Analisis Kestabilan Kondisi transien pada software transient digunakan untuk mencari tahu batas stabilitas sistem tenaga pada saat sebelum, sesudah, maupun pada saat terjadi perubahan atau gangguan pada sistem (Legowo, 2017). Pada simulasi stabilitas transien ini sistem dimodelkan secara dinamik, dimana kejadian gangguan yang terjadi di-set oleh user, dan penyelesaian persamaan jaringan dan persamaan diferensial mesin diselesaikan secara interaktif dalam melihat respon sistem maupun mesin dalam kawasan waktu. Dari respon tersebut, pengguna dapat menentukan kondisi transien sistem, melakukan studi stabilitas, menentukan pengaturan peralatan proteksi, dan mengaplikasikan suatu perubahan pada sistem untuk meningkatkan stabilitas. Performa dinamis sistem tenaga sangat penting dalam desain dan operasi. Studi transien dan stabilitas digunakan untuk menentukan sudut daya mesin / pergeseran kecepatan, frekuensi sistem, aliran daya aktif dan reaktif, dan level tegangan bus. Penyebab ketidakstabilan sistem antara lain :

- a. Perubahan mendadak pada pembangkitan atau beban
- b. Hubung singkat
- c. Lepasnya *tie-connection utility sistem*
- d. Starting motor
- e. Lepasnya salah satu generator

Dalam keadaan operasi yang stabil dari sistem tenaga listrik terdapat keseimbangan antara daya mekanis pada *prime mover* dengan daya listrik/beban listrik pada sistem (Kusuma *et al.*, 2017). Dalam keadaan ini semua generator berputar pada kecepatan sinkron. Hal ini terjadi bila setiap kenaikan dan penurunan beban harus diikuti dengan perubahan daya *input* mekanis pada *prime mover* dari generator-generator. Bila daya *input* mekanis tidak cepat mengikuti dengan perubahan beban dan rugi-rugi sistem maka kecepatan rotor generator (frekuensi sistem) dan tegangan akan menyimpang dari keadaan normal terutama jika terjadi gangguan, maka sesaat terjadi perbedaan yang besar antara daya mekanis pada generator dan daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Kelebihan daya mekanis terhadap daya listrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya, bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera maka percepatan dan perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem (Kundur *et al.*, 2004).

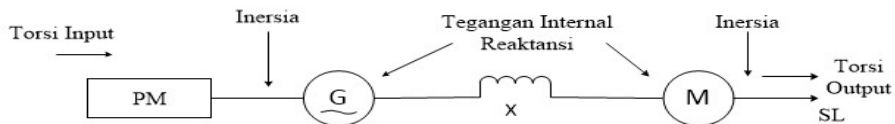
Stabilitas sistem tenaga listrik adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem. Batas stabilitas sistem adalah daya-daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem tanpa menyebabkan hilangnya stabilitas.

Berdasarkan sifat gangguan masalah stabilitas sistem tenaga listrik dibedakan atas:

1. Stabilitas tetap (*steady state*)
2. Stabilitas peralihan (*transient*)
3. Stabilitas sub peralihan (*dynamic*)

Stabilitas *steady state* adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (fluktuasi beban). Stabilitas transien adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak sekitar satu ayunan atau satu *swing* pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) belum bekerja (Nugroho, 2018). Sedangkan stabilitas dinamis adalah bila setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) sistem mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem dalam keadaan seimbang yang baru (stabilitas transien bila AVR dan governor bekerja cepat dan diperhitungkan dalam analisis) Ketidakseimbangan antara daya pembangkit dengan beban menimbulkan suatu keadaan transien yang menyebabkan rotor dari mesin sinkron berayun karena adanya torsi yang mengakibatkan percepatan atau perlambatan pada rotor tersebut. Kehilangan sinkronisasi ini

terjadi bila torsi tersebut cukup besar, maka salah satu atau lebih dari mesin sinkron tersebut akan kehilangan sinkronisasinya, misalnya terjadi ketidakseimbangan yang disebabkan adanya daya pembangkit yang berlebihan, maka sebagian besar dari energi yang berlebihan akan diubah menjadi energi kinetik yang mengakibatkan percepatan sudut rotor bertambah besar, walaupun kecepatan rotor bertambah besar, tidak berarti bahwa sinkronisasi dari mesin tersebut akan hilang, faktor yang menentukan adalah perbedaan sudut rotor atau daya tersebut diukur terhadap referensi putaran sinkronisasi.



Gambar 2.9 : Garis besar sistem tenaga listrik

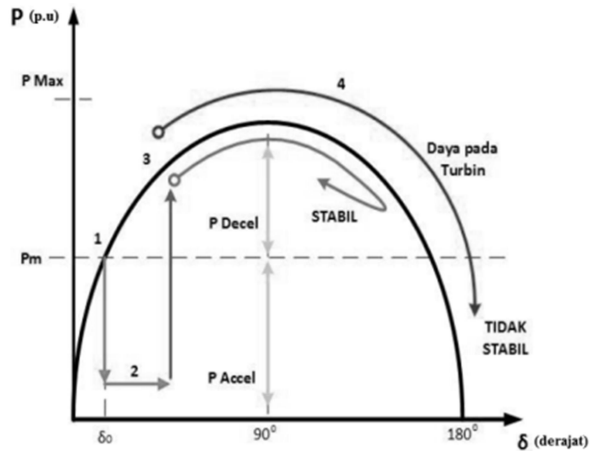
(Sumber : (Kundur *et al.*, 2004))

Faktor-faktor utama dalam masalah stabilitas adalah:

- 1) Faktor mekanis:
 - a. Torsi input *prime* beban
 - b. Inersia dari *prime mover* dan generator
 - c. Inersia motor dan sumbu beban
 - d. Torsi input sumbu beban

- 2) Torsi listrik:
 - a. Tegangan internal dari generator sinkron
 - b. Reaktansi sistem
 - c. Tegangan internal dari motor sinkron

Gangguan besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik mempengaruhi kinerja generator sehingga putaran rotor generator dapat mengalami fluktuasi kecepatan. Berikut pada Gambar 2.9 merupakan perilaku generator ketika sistem mengalami gangguan.



Gambar 2. 10 : Perilaku generator saat terjadi gangguan

(Sumber : (Kundur *et al.*, 2004))

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

Setelah gangguan hilang, daya *output* generator menjadi lebih besar daripada daya mekanis turbin. Hal ini mengakibatkan perlambatan pada rotor generator. Bila terdapat torsi lawan yang cukup setelah gangguan hilang untuk mengimbangi percepatan yang terjadi selama terjadinya gangguan, generator akan stabil setelah ayunan (*swing*) yang pertama dan kembali ke titik kerjanya dalam waktu kira-kira 0,5 detik. Bila kopel lawan tersebut tidak cukup besar, sudut rotor/daya akan terus bertambah besar sampai sinkronisasi dengan sistem hilang (Kundur *et al.*, 2004).

Pengaruh/penentuan stabilitas ditentukan dari beberapa faktor-faktor pendukung, antara lain:

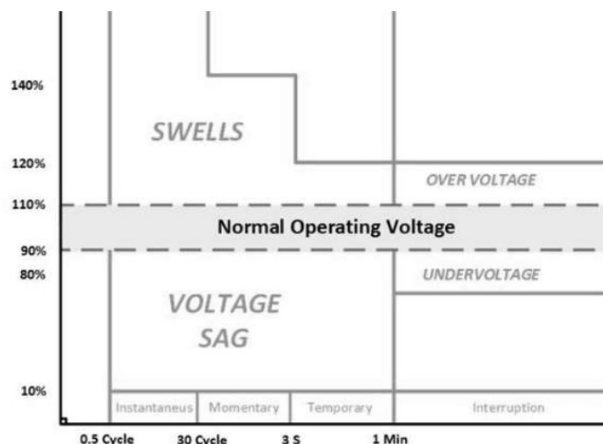
1. Kapasitas kemampuan alternator, semakin besar daya mampu sistem tersebut maka sistem akan semakin stabil.
2. Sifat dan kapasitas beban, pembebanan yang melebihi kapasitas daya pembangkitan akan mempengaruhi kestabilan sistem secara keseluruhan. Pembebanan melebihi kapasitas dalam jangka waktu yang lama juga berpotensi mengganggu kestabilan yang mengakibatkan kegagalan sistem.

3. Gangguan: jenis, lama, dan posisi gangguan pada kejadian gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan sementara/temporer mempunyai kondisi kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem yang mengalami gangguan lainnya (Kundur *et al.*, 2004).

Stabilitas sistem tenaga listrik menentukan keandalan sistem. Semakin tinggi stabilitas suatu sistem, maka kestabilan sistem juga semakin tinggi. Hal ini juga mempengaruhi umur peralatan pada sistem yang digunakan. Pengoperasian pada kestabilan yang baik tentu berdampak pada keekonomisan peralatan yang berarti penggantian peralatan akibat kerusakan dapat dihindari sebelum waktunya.

2.7 Standar Batas Operasi Tegangan

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dalah Badan Usaha Milik Negara Indonesia yang ditunjuk sebagai satu-satunya badan klasifikasi nasional untuk melakukan pengkelasan kapal niaga berbendara Indonesia maupun asing yang secara reguler beroperasi di perairan Indonesia. Kegiatan klasifikasi BKI merupakan pengklasifikasian kapal berdasarkan konstruksi lambung, mesin dan listrik kapal dengan tujuan memberikan penilaian teknis atas layak tidaknya kapal tersebut untuk berlayar. Dalam penentuan tegangan dan frekuensi pada sistem distribusi daya, BKI memilik standar mengenai batas tegangan operasi yang harus dipenuhi pada BKI Volume IV tentang peraturan instalasi listrik di kapal. terdapat standar pada kondisi operasi kapal untuk penggunaan distribusi sistem peralatan AC & DC seperti pada tabel 2.5 & 2.6.



Gambar 2. 11 : Batas tegangan operasi untuk transient stabilitas

(Sumber : (Sarwito *et al.*, 2019))

Tabel 2. 1 Standar variasi tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC

| Quantity in operation | Variations | |
|-----------------------|---------------|------------------|
| | permanent | transient |
| Frequency | ± 5 % | ± 10 % (5 sec) |
| Voltage | + 6 %, - 10 % | ± 20 % (1,5 sec) |

Tabel 2. 2 Standar variasi tegangan sistem distribusi DC

(Sumber : (BKI, 2000))

| Parameters | Variations |
|---|------------|
| Voltage tolerance (continuous) | ± 10 % |
| Voltage cyclic variation deviation | 5 % |
| Voltage ripple (a.c. r.m.s. over steady d.c. voltage) | 10 % |

Pada IEEE standard 45 diatur juga mengenai kondisi berapa nilai toleransi nilai tegangan saat kondisi transien dan waktu *recovery time* yang masih dalam kondisi yang dapat dipertanggung jawabkan. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2. 3 IEEE Std 45-2002, 4,5

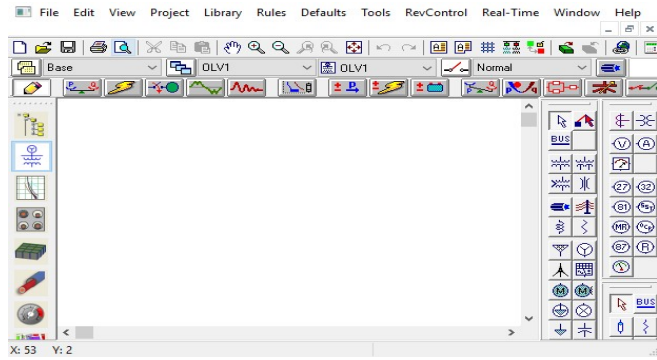
| Characteristics | Limits |
|--|--|
| Frequency a) Nominal frequency b) Frequency tolerances c) Frequency modulation d) Frequency transient: 1) Tolerance 2) Recovery time e) The worst-case frequency excursion from nominal frequency resulting from item b), item c), and item d) 1) combined, except under emergency conditions. | 50/60 Hz ± 3% ½% ± 4% 2 s ± 5½% |
| Voltage a) User voltage tolerance: 1) Average of the three line-to-line voltages 2) Any one line-to-line voltage, including item a) 1) and line voltage unbalances item b) b) Line voltage unbalance c) Voltage modulation d) Voltage transient: 1) Voltage transient tolerances 2) Voltage transient recovery time e) Voltage spike (peak value includes fundamental) f) The maximum departure voltage resulting from item a) 1) and item d) combined, except under transient or emergency conditions. g) The worst case voltage excursion from nominal user voltage resulting from item a) 1), item a) 2), and item d) 1) combined, except under emergency conditions. | ± 5% ± 7% 3% 5% ± 16% 2 s ± 2500 V (380–600 V) system; 1000 V (120–240 V) system ± 6% ± 20% |

2.8 Pemodelan Electrical Transient Analysis Program

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) merupakan suatu perangkat lunak (*software*) yang mendukung pemodelan sistem tenaga listrik (Multa and Aridani, 2013). Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Pengguna Electrical Transient Analysis Program digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi sistem baik secara *offline* dengan simulasi maupun secara *online(real time)*. Didalam simulasi *software Electrical Transient Analysis Program*, pengguna *software* tersebut dapat mensimulasikan suatu gangguan pada sistem tenaga listrik yang sebelumnya sudah dilakukan permodelannya sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem setelah terjadi gangguan dan bagaimana cara menanggulangnya. Salah satu simulasi gangguan yang digunakan pada *Electrical Transient Analysis Program* adalah analisa kestabilan kondisi transien.

Electrical Transient Analysis Program PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan Electrical Transient Analysis Program Power Station adalah :

- a. **One Line Diagram**
menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- b. **Library**
informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- c. **Standar yang dipakai**
biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai. Perbedaan anatar standart IEC dan ANSI terletak pada standart frekuensi yang digunakan yang mengakibatkan perbedaan spesifikasi peralatan yang digunakan. Jika pada standart IEC nilai frekuensi yang digunakan adalah 50Hz, sedangkan standart ANSI nilai frekuensi yang digunakan adalah 60Hz
- d. **Study Case**,
berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

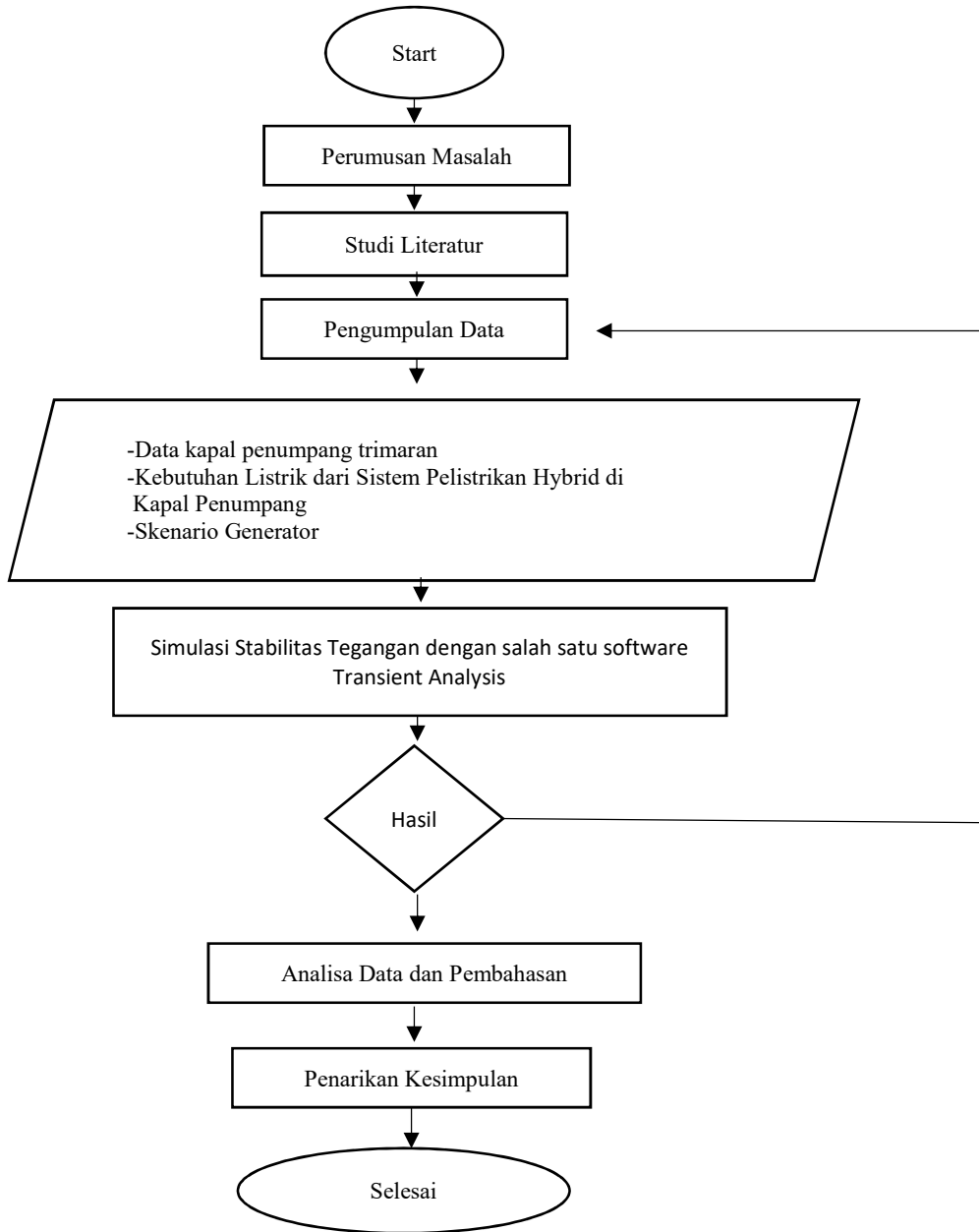


Gambar 2.12 : Tampilan Electrical Transient Analysis Program

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III ALUR PENELITIAN

Untuk memudahkan pengerjaan proposal dan kajian yang dilakukan terarah, maka dalam pembuatan proposal dilakukan proses yang terstruktur sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

3.1 Identifikasi dan Perumusan masalah

Langkah awal yang dilakukan untuk mengetahui jalannya suatu penelitian dengan melakukan identifikasi dan perumusan masalah. Diketahui gas buang yang dikeluarkan oleh generator kurang ramah lingkungan. Oleh sebab itu muncul ide untuk menerapkan kapal yang *eco-friendly ship* dan menggunakan *renewable energi* sebagai bahan bakarnya. Penggunaan sistem *hybrid* pada kapal. Permasalahan yang di fokuskan pada tugas akhir ini adalah bagaimana kondisi transient pada sistem distribusi listrik pada sistem hybrid pada kapal saat dioperasikan.

3.2 Studi Literatur

Studi pustaka adalah proses yang dilakukan untuk mencari informasi tentang masalah yang akan dibahas. Informasi bisa berasal dari penelitian yang sudah pernah ada, berita – berita yang telah tervalidasi dan hasil tugas akhir yang telah selesai. Tentunya yang sesuai dengan topik masalah yang akan dibahas dalam proposal ini yaitu tentang *renewable energi* dengan sistem hybrid pada kapal dan kondisi transien terutama dalam stabilitas tegangan

3.3 Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini dibutuhkan beberapa data pendukung yang dapat menunjang proses untuk menyelesaikan tugas akhir. Data yang diperoleh nantinya akan diolah untuk bisa menjadi acuan penilaian stabilitas transient dalam rangkaian listrik yang telah ditentukan. Beberapa data yang dibutuhkan seperti beban listrik (*power load*) pada kapal penumpang, Efisiensi daya generator. Nilai stabilitas tegangan dari hasil simulasi.

3.4 Simulasi

Simulasi Stabilitas Tegangan dengan salah satu software analisis transient. Dengan *software* tersebut dirancang single line diagram sekaligus melakukan simulasi Load Flow dan Analisis Transient. Difokuskan pada stabilitas tegangan. Setelah itu melakukan simulasi dengan memvariasikan kondisi-kondisi distribusi listrik pada kapal dan mengambil nilai serta grafik yang terbentuk dari hasil tersebut pada rancangan sistem hybrid di kapal penumpang trimaran.

3.5 Analisa Data dan Pembahasan

Dari hasil perancangan single line sistem hybrid pada software transient stability, didapatkan hasil simulasi Stabilitas Tegangan yang dilakukan. Dilakukan analisis bagaimana stabilitas tegangan pada bus distribusi listrik ketika dilakukan variasi pengoperasian sumber pembangkit listrik diterapkan pada kapal penumpang ini dan dari hasil tersebut dilakukan analisis bagaimana kondisi transient terutama stabilitas tegangan pada pengoperasian pembangkit listrik hibrid.

3.6 Kesimpulan

Hasil yang diharapkan adalah, dapat menentukan kondisi sumber listrik yang dapat memenuhi kestabilan distribusi tegangan pada kapal sesuai dengan standart IEEE.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV DATA PENELITIAN

4.1 Penjelasan Umum

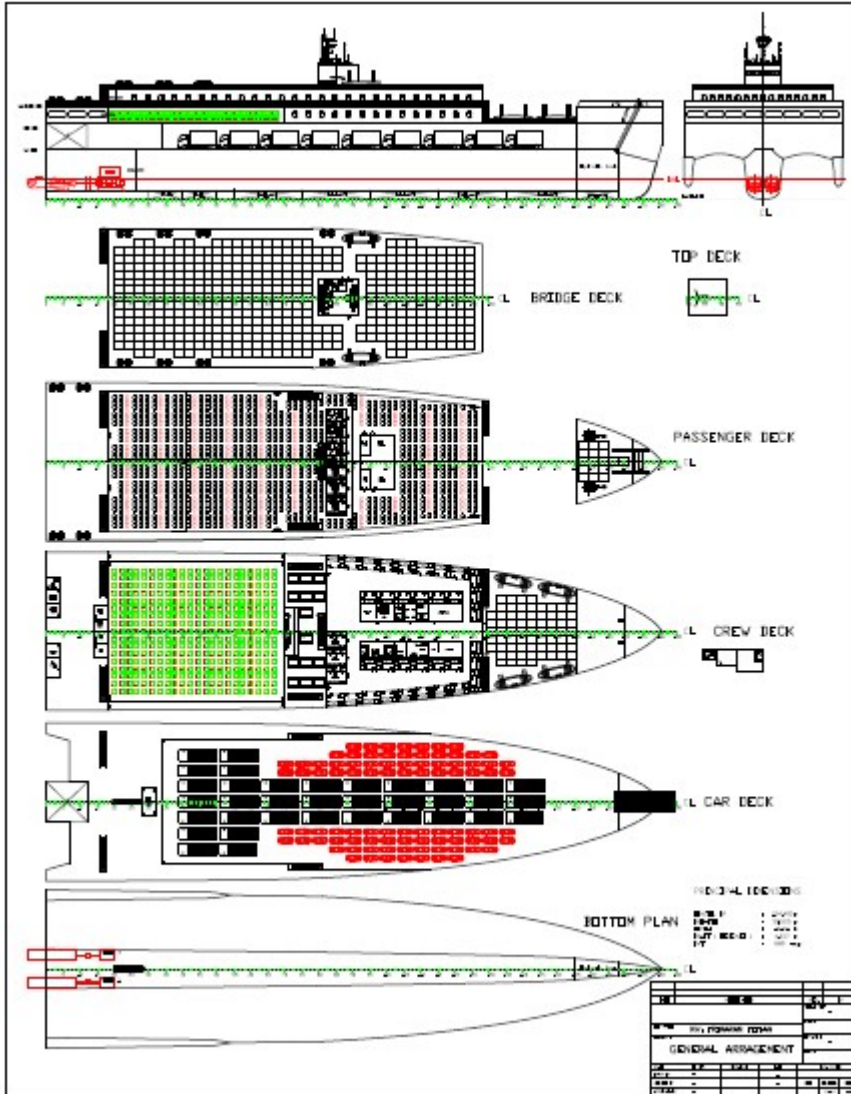
Pada penulisan tugas akhir ini penulis melakukan permodelan sistem kelistrikan/ *Single Line Diagram* kapal *trimaran cargo passenger ship* dengan menggunakan salah satu *software* analisis transien. Pengoreksian data perancangan perhitungan kebutuhan listrik yang telah diperhitungkan sebelumnya dilakuakna penulis untuk memperlengkap data yang ada. Simulasi yang penulis lakukan bertujuan untuk menganalisis kestabilan sistem distribusi ketika menggunakan pembangkit listrik *hybrid* dengan memvariasikan sumber listrik yang didistribusikan kedalam sistem. Pada simulasi juga akan dicoba kondisi sistem yang mengalami gangguan-gangguan besar contohnya seperti perubahan nilai tegangan yang terjadi.

4.2 Data Kapal

Ukuran utama kapal yang digunakan sebagai objek dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut

| | |
|----------------|--|
| LPP (m) | : 124,490 |
| B (m) | : 32,525 |
| H (m) | : 10,141 |
| T (m) | : 4,057 |
| Vs (Knot) | : 34 |
| Rute Pelayaran | : Kalianget-Kanginan-Sapeken-Masalembu |
| Jenis Kapal | : RoRo Penumpang dan Barang |

Tabel 4.1 : Data Ukuran Utama Kapal



Gambar 4.1 General Arrangement Trimaran *Cargo Passenger Ship*

4.3 Analisa perhitungan Electrical Load

Kebutuhan kelistrikan pada kapal Trimaran *General Cargo Passenger Ship* dikelompokkan menjadi 2 Bus utama distribusi yaitu trafo dari generator dan baterai yang terkoneksi dengan bus sistem *Auxillary Engine Service, Deck machinery part, General Service part, refrigeration and ventilation part dan electrical equipment*. Pada *electrical part* dibagi menjadi 2 bagian terdiri dari peralatan navigasi dan radio komunikasi serta lampu – lampu penerangan. Berdasarkan data yang didapat, dilakukan beberapa revisi. Dilakukan pemilihan spek motor serta alat listrik lainnya berdasarkan data hitungan yang telah

didapatkan sebelumnya. Setelah revisi data perhitungan komponen listrik dilakukan, didapatkan kebutuhan listrik yang dibutuhkan kapal Trimaran *General Cargo Passenger Ship*. Total kebutuhan listrik pada sistem *Auxillary Engine Service* sebesar 309 kW, *Deck machinery part* dan *General Service part* adalah sebesar 836,5 kW, kebutuhan listrik *Refrigeration and Ventilation Part* adalah sebesar 262,98 Kw, dan *electrical equipment* adalah sebesar 90,75kW, seperti tercantum pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 : Daftar beban listrik pada kapal

| Kebutuhan Listrik | kW |
|---|-----------|
| <i>Electric Motor Propultion</i> | 20000 |
| <i>Auxillary Engine Service</i> | 679,5 |
| <i>General Service Part</i> | 485,5 |
| <i>Deck Machinery Part</i> | 351 |
| <i>Refrigeration and Ventilation Part</i> | 262,98 |
| <i>Electrical Equipment</i> | 90,75 |

Tabel 4.3 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (1)

| Auxillary Engine Service | Qty | Power (kW) |
|--|------------|-------------------|
| Main Motor hydraulic | 2 | 11 |
| Main cooling capacity hydraulic | 2 | 30 |
| Main cooling capacity lubricating | 2 | 15 |
| Auxillary Motor hydraulic | 2 | 9,25 |
| Auxillary cooling capacity hydraulic | 2 | 22 |
| Auxillary cooling capacity lubricating | 2 | 11 |
| Electric motor ratings for engine | 5 | 7,5 |
| Electric motor ratings for pre- | 5 | 15 |

Tabel 4.4 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (2)

| General Service | Qty | Power (kW) |
|------------------------------|-----|------------|
| Transfer Pump FW | 2 | 5,5 |
| Transfer Pump SW | 2 | 5,5 |
| FW Hydrophore Set | 1 | 3 |
| SW Hydrophore Set | 1 | 3 |
| Oily Bilge Pump | 1 | 5,5 |
| Ballast Pump | 2 | 30 |
| Emergency Fire Pump | 1 | 45 |
| General Service Pump (BG&FI) | 2 | 75 |
| Sewage Pump | 1 | 5,5 |
| Ramp door | 4 | 45 |
| Oily Water Separator | 1 | 10 |
| Sewage Treatment Plant | 1 | 1,5 |
| General Service | Qty | Power (kW) |
| S Crew Deck | 34 | 0,18 |
| S Passanger Deck | 14 | 0,18 |
| S Bridge Deck | 3 | 0,18 |
| S E/R Supply Fan | 1 | 0,18 |
| E Car Deck | 4 | 0,18 |
| E Crew Deck | 12 | 0,18 |
| E Passanger Deck | 4 | 0,18 |
| E Bridge Deck | 2 | 0,18 |
| E/R Exhaust Fan | 1 | 0,18 |
| Air Handling Unit (AHU) | 1 | 248,40 |
| General Service | Qty | Power (kW) |
| Steering Gear | 2 | 46 |
| Capstan | 2 | 22 |
| Windlass | 2 | 55 |
| Provision Crane | 2 | 7,5 |
| Engine Room Ventilation | 1 | 45 |
| Accomodation leader winch | 1 | 45 |

Tabel 4.5 Daftar Peralatan Listrik Pada Kapal Trimaran (3)

| Lighting dan Stop Kontak | Qty | Power (kW) |
|--------------------------|-----|------------|
| Car Deck | 1 | 2,86 |
| Crew Deck | 1 | 20,38 |
| Passanger Deck | 1 | 13,97 |
| Bridge Deck | 1 | 0,92 |
| Engine Room | 1 | 6,49 |
| Mast Head Light | 2 | 0,06 |
| Portside light | 1 | 0,06 |
| Starboard Light | 1 | 0,06 |
| Stern Light | 1 | 0,04 |
| Anchor Light | 1 | 0,01 |
| Lighting dan Stop Kontak | Qty | Power (kW) |
| VHF Telephone | 1 | 2,864 |
| Internal Comunication | 1 | 20,38 |
| MV/HF DSC | 1 | 13,97 |
| Navtex Receiver | 1 | 0,92 |
| Wiper | 1 | 6,49 |
| Gyro Compass | 2 | 0,060 |
| Magnetic Compass | 1 | 0,06 |
| Radar | 1 | 0,06 |
| Speed Log | 1 | 0,04 |
| Echo Sounder | 1 | 0,01 |
| GPS | 1 | 0,03 |
| AIS | 1 | 0,01 |
| Horn | 1 | 0,05 |
| Fire Alarm Control | 1 | 0,14 |
| Heat Detector | 1 | 0,006 |
| Flame Detector | 15 | 0,006 |
| Smoke Detector | 71 | 0,006 |
| SART | 2 | 0,0004 |
| ECDIS | 1 | 0,20 |

4.4 Analisa Pemilihan Generator

Pemilihan generator ditentukan berdasarkan hasil perhitungan Macam kondisi operasional kapal, Load Faktor setiap peralatan, dan Diversity factor. Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil kebutuhan beban listrik pada kapal yaitu :

Tabel 4.6 Kebutuhan Beban Listrik Kapal Trimaran

| No. | ITEM | Sailing | Manuver | Cargo handling | At Port | |
|-----|---|-----------------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| 1 | MACHINERY PART | : Continue load | 18551,95474 | 21794,89105 | 255,2336842 | 13154,43895 |
| | | : Intermitten load | 244,0631579 | 257,4947368 | 249,4473684 | 152,3684211 |
| 2 | HULL PART | : Continue load | 847,1726316 | 847,1726316 | 951,0442105 | 937,9705263 |
| | | : Intermitten load | 231,7368421 | 231,7368421 | 77,47368421 | 77,47368421 |
| 3 | ELECTRICAL PART | : Continue load | 50,411205 | 50,411205 | 50,360205 | 50,401165 |
| | | : Intermitten load | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Total load | : Continue load | 19449,53857 | 22692,47489 | 1256,6381 | 14142,81064 |
| | | : Intermitten load | 475,8 | 489,2315789 | 326,9210526 | 229,8421053 |
| 5 | Diservity factor (e) | : (0,6-1) x (d) intermitten | 285,48 | 293,5389474 | 196,1526316 | 137,9052632 |
| 6 | Number of load | : (d) continue + (e) | 19735,01857 | 22986,01384 | 1452,790731 | 14280,7159 |
| 7 | Generator work | : kW x S.set | | | | |
| 8 | Working capacity | | 22800 | 28500 | 1452,790731 | 14280,7159 |
| 9 | Generator that available | : kW x S.set | 4 | 5 | 0 | 3 |
| 10 | Load Factor | : (f)/(h) x 100% | 86,55709901 | 80,65268013 | 100 | 100 |
| 11 | Shore Connection (1.15x number of cargo handling) | | - | - | 1670,709341 | - |

4.5 Perencanaan Distribusi Daya

Penggunaan sistem hybrid dikapal mengakibatkan adanya dua sumber listrik yang berupa generator dan baterai. Sehingga penggunaan dari keduanya harus direncanakan untuk mengetahui kebutuhan baterai dan beban yang akan mendapat distribusi daya. Sehingga saat penggambaran single line diagram pada software telah jelas pembagian beban listrik pada kapal. Dari perencanaan dan perhitungan didapatkan hasil distribusi daya kebutuhan beban listrik pada kapal yaitu

Tabel 4.7 Perencanaan Distribusi Daya pada Beban Listrik Kapal Trimaran

| No. | LOAD ITEM | Sailing | Manuver | Cargo Handling | At Port | |
|--|-----------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| 1 | MACHINERY PART | : Continue load | 18496,4 | 21749,4 | 408,9 | 12426,5 |
| | | : Intermitten load | 244,0631579 | 257,4947368 | 249,4473684 | 152,3684211 |
| 2 | HULL PART | : Continue load | 847,1726316 | 847,1726316 | 951,0442105 | 937,9705263 |
| | | : Intermitten load | 231,7368421 | 231,7368421 | 77,47368421 | 77,47368421 |
| 3 | ELECTRICAL PART | : Continue load | 50,411205 | 50,411205 | 50,360205 | 50,401165 |
| | | : Intermitten load | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL DAYA YANG DIBUTUHKAN TIDAP OPERASI | | | 19735,02 | 22986,01 | 1452,79 | 14280,7 |

Pada penelitian ini baterai yang digunakan dalam perhitungan perancangan menggunakan spesifikasi data sebagai berikut,

- Merk : Howell Energy
- Type : HW 8F600
- Nominal Voltage : 24 Volt
- Rates Capacity (20H) : 600 AH
- Weight : 180 kg
- Height : 300 mm
- Length : 1200 mm
- Width : 450 mm

4.6 Penggambaran Single Line Diagram Pada *Software Transient Analysis*

Penggambaran *single line diagram* dilakukan pada salah satu *software transient analysis* yang sering digunakan untuk mengetahui hasil dari permodelan desain kelistrikan sebelum diterapkan secara nyata. Data yang digunakan pada simulasi ini adalah data perhitungan *electrical load* yang telah didapatkan dan direvisi sebelumnya. *Software* ini merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik. Fitur yang terdapat pada *software* ini sangat beragam. Antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik. Pada *software* ini juga dapat digunakan dalam kondisi *online* atau *offline*. Online maksudnya *software* ini dapat menjadi control *real time* untuk suatu sistem tenaga listrik. Untuk *offline* adalah melakukan permodelan. Pada *software* ini juga selain untuk mengetahui *analisis load flow* dan analisis transient dari suatu sistem kelistrikan, *software* ini dapat melakukan simulasi seperti *short circuit*, *motor acceleration*, analisis keadaan harmonic, dan lain-lain.

Analisis stabilitas transient pada *software* ini digunakan untuk menginvestigasi batas stabilitas sistem tenaga pada saat sebelum, sesudah, maupun pada saat terjadi perubahan atau gangguan pada sistem. Pada simulasi stabilitas transien ini sistem dimodelkan secara dinamik, event dan action yang terjadi telah diatur sebelumnya, dan penyelesaian persamaan jaringan dan persamaan diferensial diselesaikan secara interaktif dalam melihat respon sistem maupun mesin dalam interval waktu. Sebelum melakukan simulasi analisis transient pada *software* ini, syarat utama untuk melakukan simulasi tersebut adalah dengan mensimulasikan terlebih dulu pada analisis *load flow* pada kondisi *sailing*. Jika simulasi *load flow* berjalan tanpa masalah, maka baru dapat dilakukan simulasi analisis transient. Pada gambar 4.8 adalah hasil penggambaran *single line diagram* serta hasil dari simulasi *load flow*.

4.7 Perencanaan Studi Kasus Kapal Trimaran *Cargo Passenger Ship*

Pengujian sistem distribusi tegangan pada sistem listrik *hybrid* berfungsi untuk mengetahui respon sistem kelistrikan terhadap gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis sistem dengan cara memberikan gangguan pada sistem kelistrikan. Gangguan-gangguan ini akan dicari tahu terlebih dahulu. Karena pengoperasian sistem pembangkit listrik *hybrid* yang akan dilakukan antara lain adalah terjadi perubahan mendadak pada pembangkit dan *starting motor*. Kondisi kapal yang menjadi objek simulasi kali ini adalah saat kapal kondisi *sailing*/berlayar.

Studi kasus yang akan dilakukan pada tugas akhir ini secara umum adalah sebagai berikut:

a. Variasi Penggunaan Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal

Hal ini bukan termasuk gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan. Namun perlu dilakukan simulasi untuk variasi penggunaan pembangkit listrik *hybrid* agar dapat diketahui bagaimana kondisi stabilitas tegangannya saat pembangkit listrik *hybrid* beroperasi

Tabel 4.8 Studi Kasus Penggunaan Pembangkit Listrik *Hybrid*

| No. | Studi Kasus | Keterangan |
|-----|------------------------------------|--|
| 1. | Generator beroperasi sendiri | 4 generator dalam kondisi menyala dan baterai tidak terhubung |
| 2. | Generator dan Baterai beroperasi | 2 sumber pembangkit dioperasikan. 4 generator dalam kondisi menyala dan baterai lepas 10 detik |
| 3. | 3 Generator dan Baterai beroperasi | 2 sumber pembangkit dioperasikan. 3 generator dalam kondisi menyala, 1 generator mengalami drop baterai lepas 10 detik |

b. Perubahan Mendadak Pada Beban Distribusi Listrik

Pada saat kapal kondisi berlayar, akan dilakukan percobaan dengan merubah beban yang dibebankan para pembangkit listrik. Pengoperasiannya divariasikan disaat sistem sedang beroperasi. Akan ditentukan pada detik ke berapa terjadi *close* atau *open* pada beban tertentu yang akan divariasikan. Setelah itu respon transien akan dilihat untuk mengetahui apakah sistem distribusi berjalan sesuai dengan standar yang telah ada. Respon sistem yang akan dipantau antara lain adalah respon tegangan sesaat setelah sistem mengalami gangguan. Beban yang divariasikan kondisinya ialah beban terbesar *steering gear* (2x46kW),

beban sedang *electric prelub pump* (5x15kW) dan beban kecil *motor supply fan* pada *passanger deck* (14x0,8kW).

Tabel 4.9 Studi Kasus Perubahan Mendadak Beban Distribusi Listrik
Hybrid

| No. | Studi Kasus | Keterangan |
|-----|---|---|
| 1a. | Generator beroperasi sendiri dengan beban terbesar lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban terbesar pada beban “bus trafo”. |
| 1b. | Generator beroperasi sendiri dengan beban sedang lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban sedang pada beban “bus trafo”. |
| 1c. | Generator beroperasi sendiri dengan beban kecil lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban kecil pada beban “bus trafo”. |
| 2a. | Generator dan Baterai beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban terbesar pada beban “bus trafo”. |
| 2b. | Generator dan Baterai beroperasi dengan beban sedang lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban sedang pada beban “bus trafo”. |
| 2c. | Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban kecil pada beban “bus trafo”. |
| 3a. | 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban terbesar pada beban “bus trafo”. |
| 3b. | 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban sedang lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban sedang pada beban “bus trafo”. |
| 3c. | 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik | Pada detik ke 30 terjadi perubahan beban kecil pada beban “bus trafo”. |

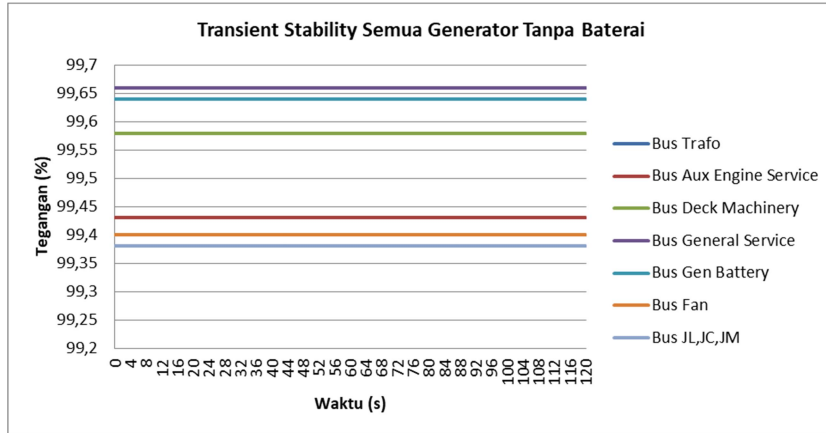
4.8 Analisa Hasil Simulasi Stabilitas Tegangan Distribusi

Pada simulasi stabilitas tegangan pada *software transient analysis* ini, dilakukan analisis dari hasil simulasi yang telah direncanakan studi kasusnnya. Hasil simulasi tersebut didapatkan dengan memfokuskan stabilitas tegangan pada “*Bus Trafo*” dan “*Bus Gen Battery*” yaitu busbar yang mendistribusikan tegangan dari sumber menuju *equipment* yang ada. Bus Trafo merupakan bus yang terhubung dengan output dari trafo. “*Bus Gen Battery*”mempertemukan aliran daya dari generator dengan baterai. Pada busbar ini kemudian dihubungkan dengan kabel serta *low circuit breaker* ke busbar *fan* dan *electrical part*. Pada busbar ini dilakukan

pengecekan busbar yang terhubung dengan *equipment* berbentuk simulasi dengan studi kasus yang telah direncanakan.

4.8.1. Simulasi Variasi Penggunaan Pembangkit Listrik Hybrid di Kapal.

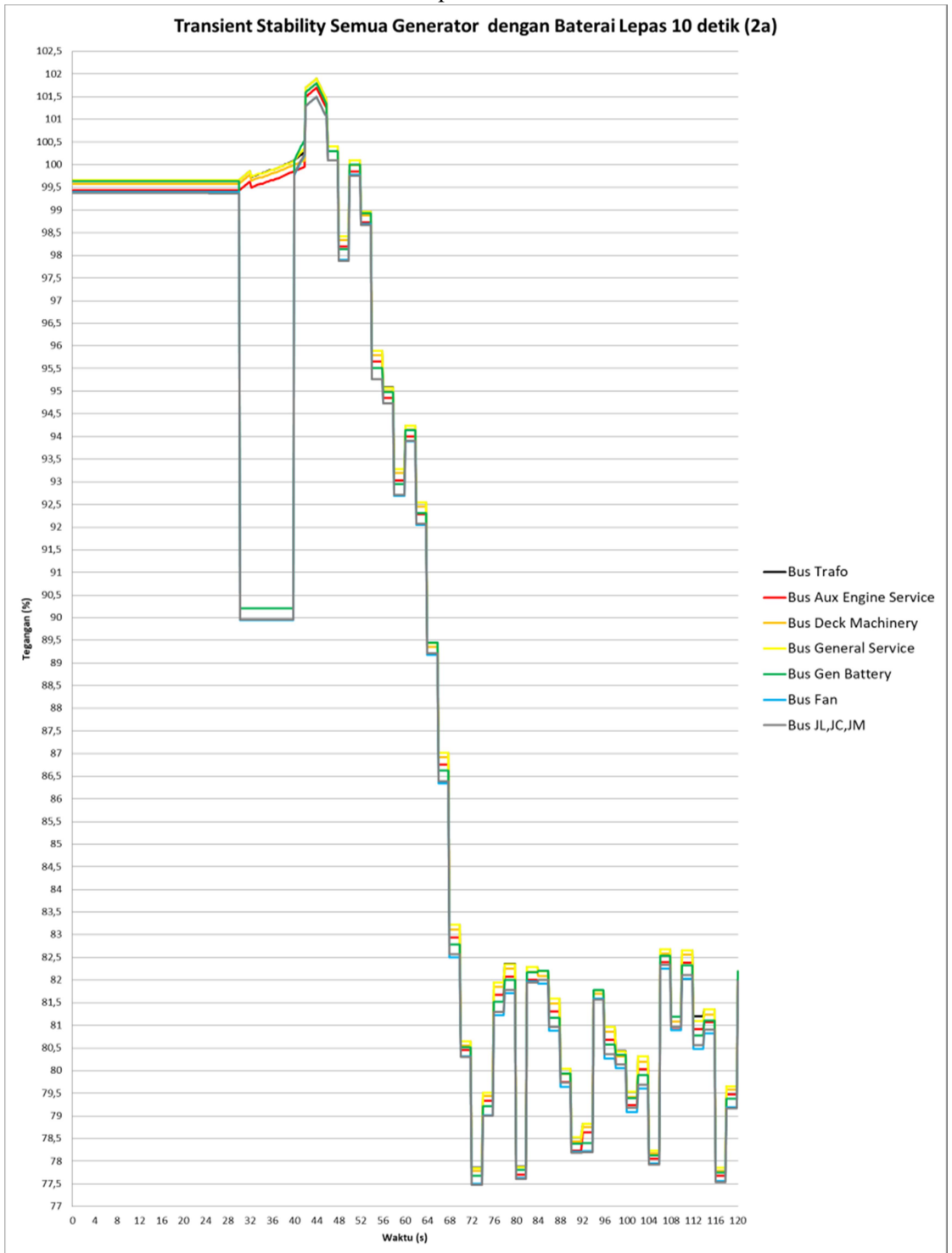
4.8.1.1 Generator beroperasi sendiri



Gambar 4.3 Grafik Generator Beroperasi Sendiri

Pada simulasi pertama yaitu studi kasus 1 pada Gambar 4.3 dapat terlihat pengoperasian 4 generator tegangan yang ada pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Tidak terjadi kondisi transient. Dalam simulasi ini dijalankan jika sistem bekerja selama 120 detik. Dan selama waktu tersebut tidak terjadi kondisi transient pada studi kasus ini

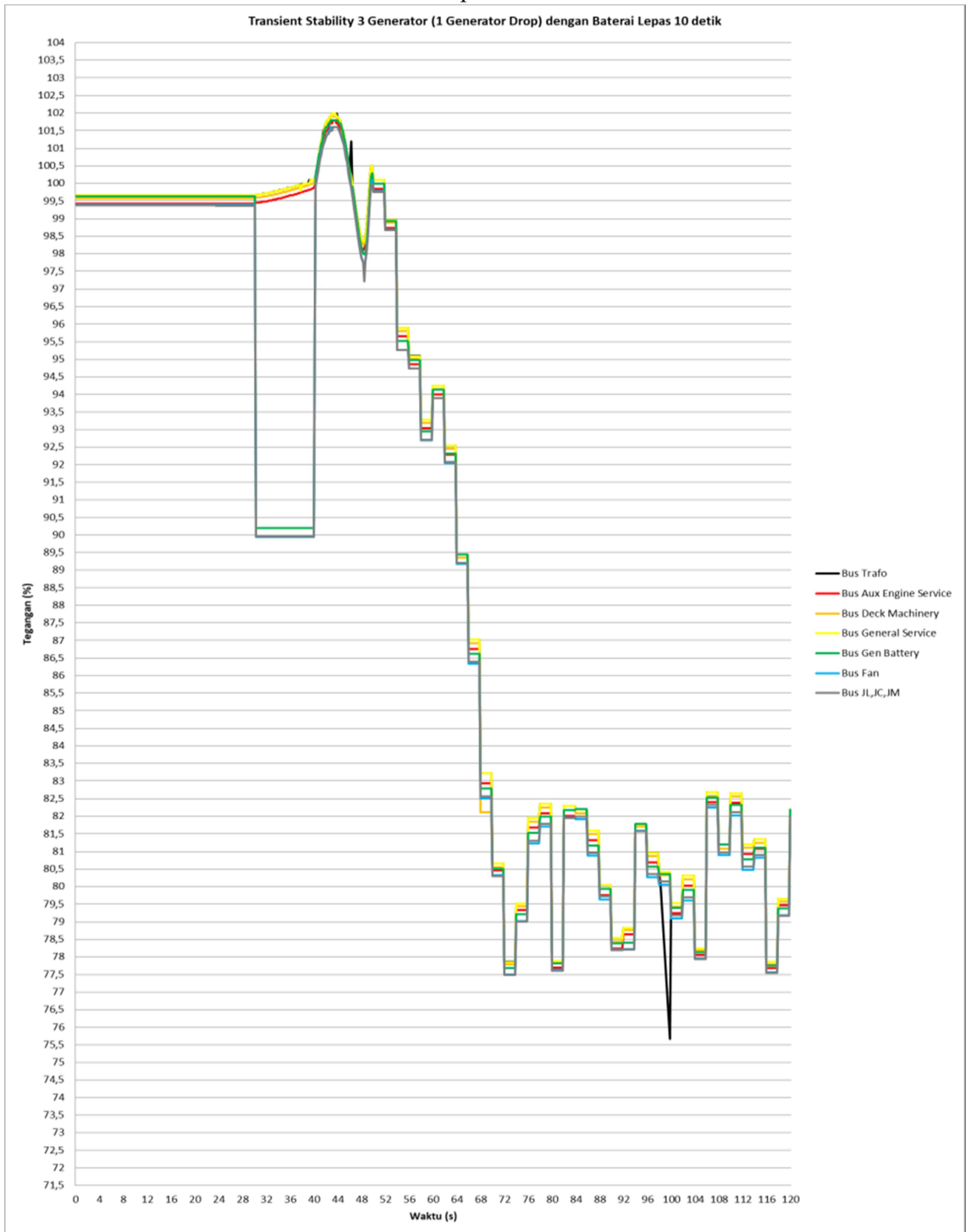
4.8.1.2 Generator dan Baterai beroperasi



Gambar 4.4 Grafik Generator dan Baterai Beroperasi

Pada studi kasus 2 pada Gambar 4.4 dapat terlihat pengoperasian 4 generator dengan baterai. Pada detik awal tegangan yang ada pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Namun saat memasuki detik ke 30, “Bus Gen Battery” mulai tidak memenuhi standard saat generator tidak terhubung. Dimulai dari detik 41 hingga detik ke 120 terlihat pada grafik pada setiap bus distribusi mengalami ketidakstabilan. Titik terendah pada grafik diatas terjadi pada detik ke 104 dimana nilai persentase tegangan mencapai 78,13% pada “Bus Gen Battery” dan pada “Bus Trafo” nilai presentase tegangan terendah 78,23%. Hal ini mengakibatkan tegangan sistem pada bus distribusi mengalami ketidak stabilan tegangan. Terjadi *undervoltage* dan dalam jeda yang sangat singkat dan dapat dikatakan dalam kondisi transient. Namun hal ini tentu tidak aman bagi peralatan listrik yang beroperasi dan kondisi transientnya tidak dapat dimaklumi.

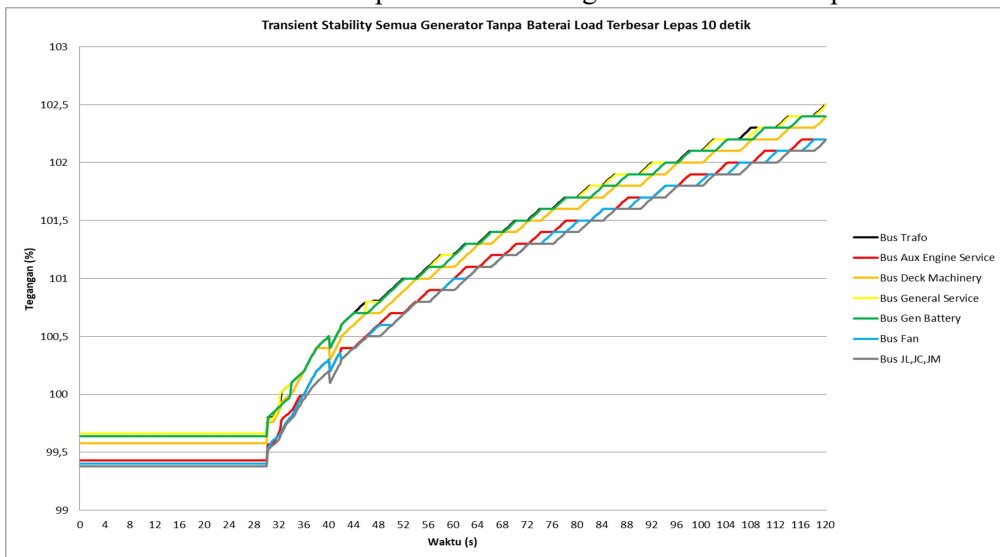
4.8.1.3 3 Generator dan Baterai Beroperasi



Gambar 4.5 Tiga Generator dan Baterai Beroperasi

Pada studi kasus 3 Generator dan Baterai beroperasi pada Gambar 4.5 hasil pengoperasian simulasi ini dapat terlihat. Pada detik awal tegangan yang ada pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” sama seperti simulasi sebelumnya yang memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Namun saat memasuki detik ke 30, terjadi lagi penurunan tegangan pada “Bus Gen Battery” yang tidak memenuhi standard saat generator tidak terhubung. Selanjutnya dari detik 41 hingga detik ke 120 terlihat pada grafik pada setiap bus distribusi mengalami ketidakstabilan. Titik terendah pada grafik diatas terjadi pada detik ke 72 dimana nilai persentase tegangan mencapai 77,68% pada “Bus Gen Battery” dan pada “Bus Trafo” nilai presentase tegangan terendah 77,86%. Hal ini mengakibatkan tegangan sistem pada bus distribusi mengalami ketidakstabilan tegangan dan tidak sesuai dengan standart karena tidak memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan yang sesuai. *Undervoltage* yang terjadi dan dalam jeda yang sangat singkat dan dapat dikatakan dalam kondisi transient. Kondisi ini tidak aman bagi peralatan listrik yang beroperasi dan kondisi transientnya tidak dapat dimaklumi.

4.8.2. Simulasi Perubahan Mendadak Beban Distribusi Listrik *Hybrid* 4.8.2.1 Generator beroperasi sendiri dengan beban terbesar lepas 10 detik

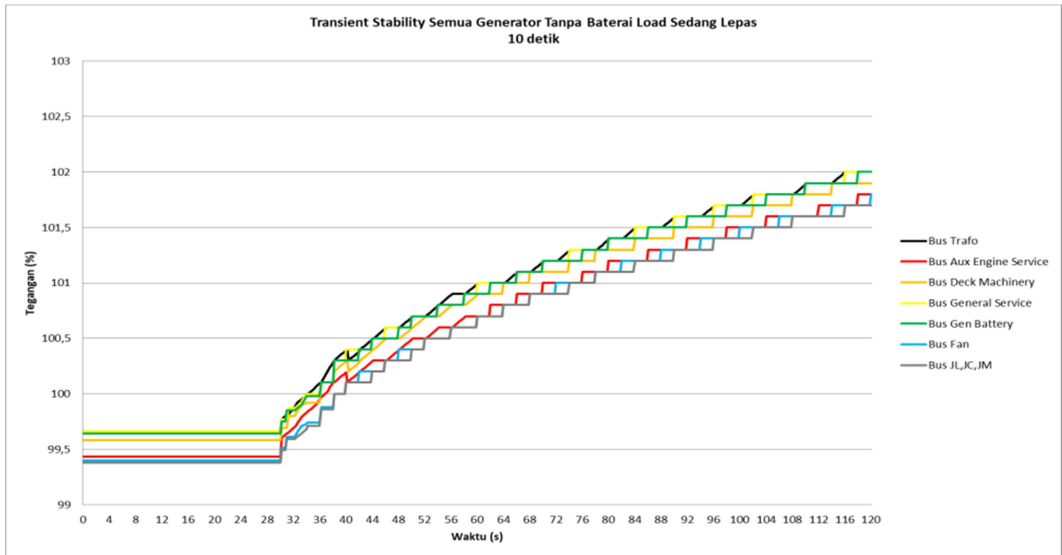


Gambar 4.6 Grafik Generator beroperasi sendiri dengan beban terbesar lepas 10 detik

Pada simulasi kedua dengan studi kasus 1 pada Gambar 4.6 dapat terlihat pengoperasian 4 generator dengan tegangan yang ada pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV pada mulanya. Pada detik ke 31 terjadi peningkatan tegangan hingga detik ke 120. Namun hal ini tidak termasuk dalam kondisi *overvoltage* karena masih dalam rentang toleransi

5% yang diizinkan. Kenaikan tegangan pada simulasi ini dikarenakan tidak diketahuinya kemampuan dari AVR yang terpasang pada generator dalam simulasi sehingga tegangan tidak dapat kembali stabil.

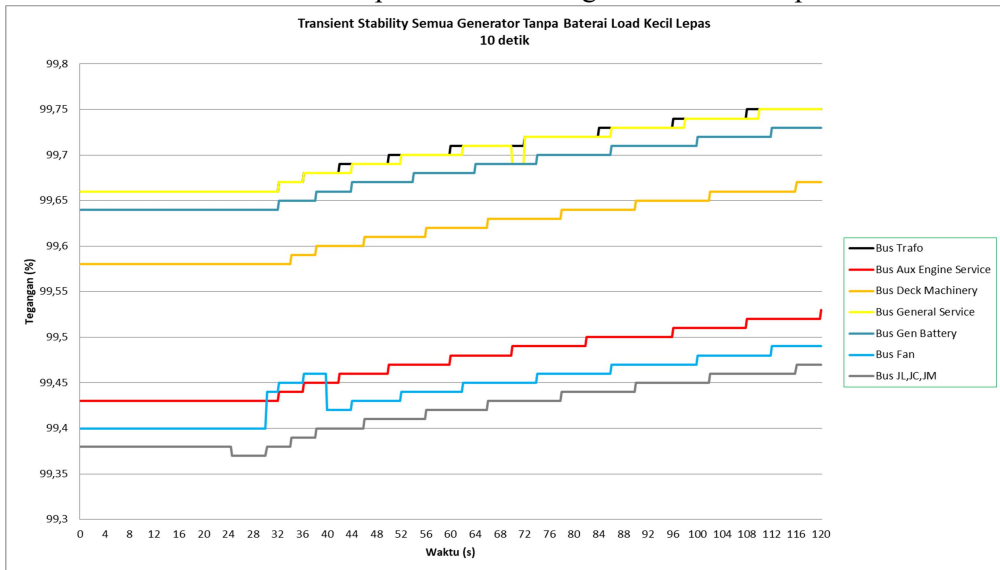
4.8.2.2 Generator beroperasi sendiri dengan beban sedang lepas 10 detik



Gambar 4.7 Grafik Generator beroperasi sendiri dengan beban sedang lepas 10 detik

Pada studi kasus 2 pada terlihat pada Gambar 4.7 hasil pengoperasian 4 generator memiliki perubahan tegangan pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” yang hampir sama dengan studi kasus sebelumnya namun dengan range perubahan yang kecil. Persentase tegangan yang dimiliki memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan yang sesuai dengan IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Pada detik ke 31 terjadi peningkatan tegangan hingga detik ke 120 dengan nilai tertinggi pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” sebesar 102% pada detik ke 120. Namun hal ini tidak termasuk dalam kondisi *overvoltage* karena masih dalam rentang toleransi 5% yang diizinkan. Kenaikan tegangan terjadi karena fluks pada AVR yang terpasang tidak dapat berubah pada simulasi sehingga tidak dapat mengembalikan stabilitas tegangan

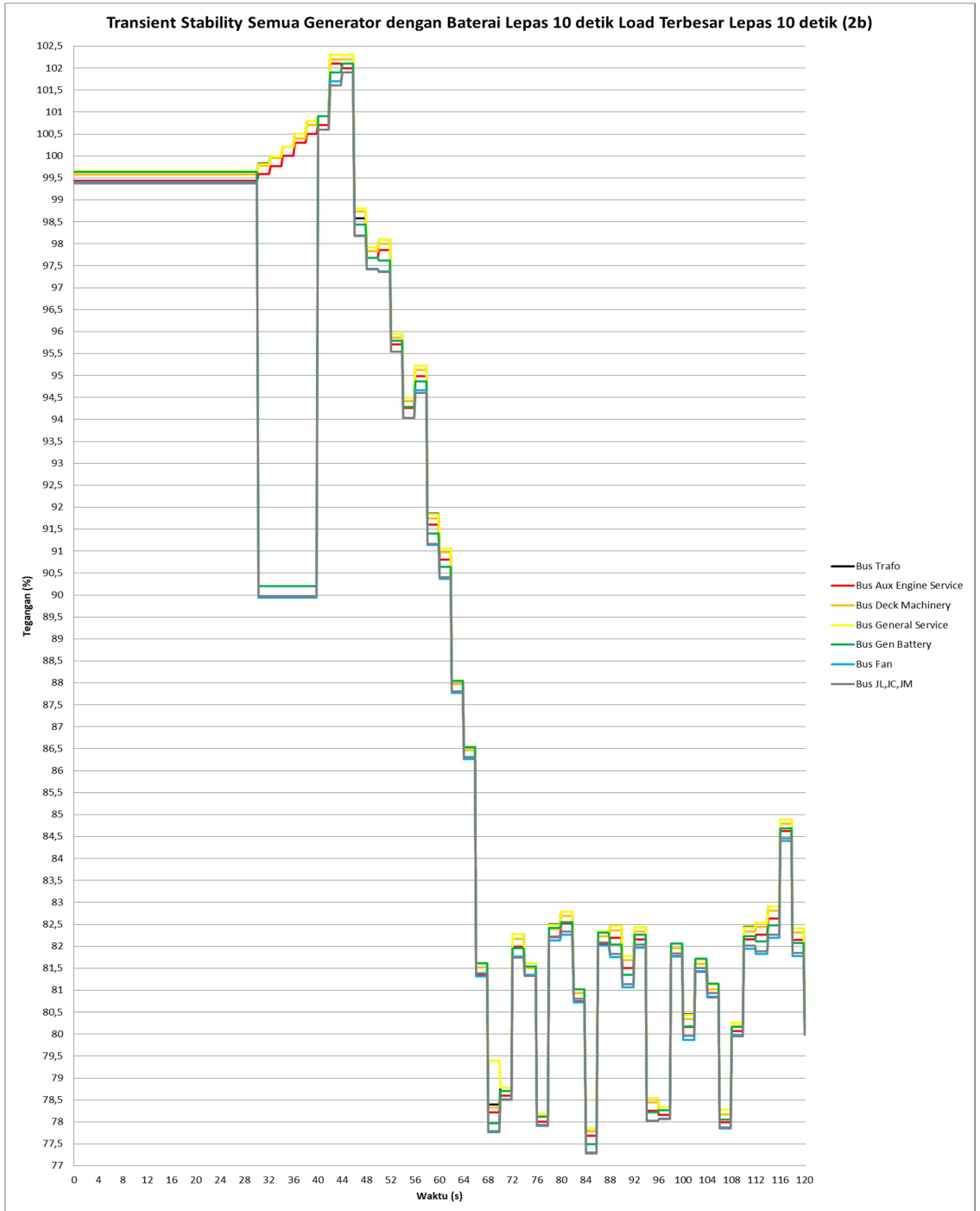
4.8.2.3 Generator beroperasi sendiri dengan beban kecil lepas 10 detik



Gambar 4.8 Grafik Generator beroperasi sendiri dengan beban kecil lepas 10 detik

Pada studi kasus terputusnya beban kecil selama 10 detik perubahan tegangan pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” yang terlihat pada Gambar 4.8 mengalami peningkatan pada detik ke 31 dengan nilai penambahan kurang dari 0,01 dtik setiap 2 detik perubahannya. Sehingga nilai persentase tegangan yang dimiliki memiliki nilai toleransi stabilitas tegangan yang sesuai dengan IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Nilai tertinggi dalam simulasi pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” berturut sebesar 99,75% dan 99,73% pada detik ke 120. Kenaikan tegangan pada simulasi ini dikarenakan tidak diketahuinya kemampuan dari AVR yang terpasang pada generator dalam simulasi sehingga tegangan tidak dapat kembali stabil.

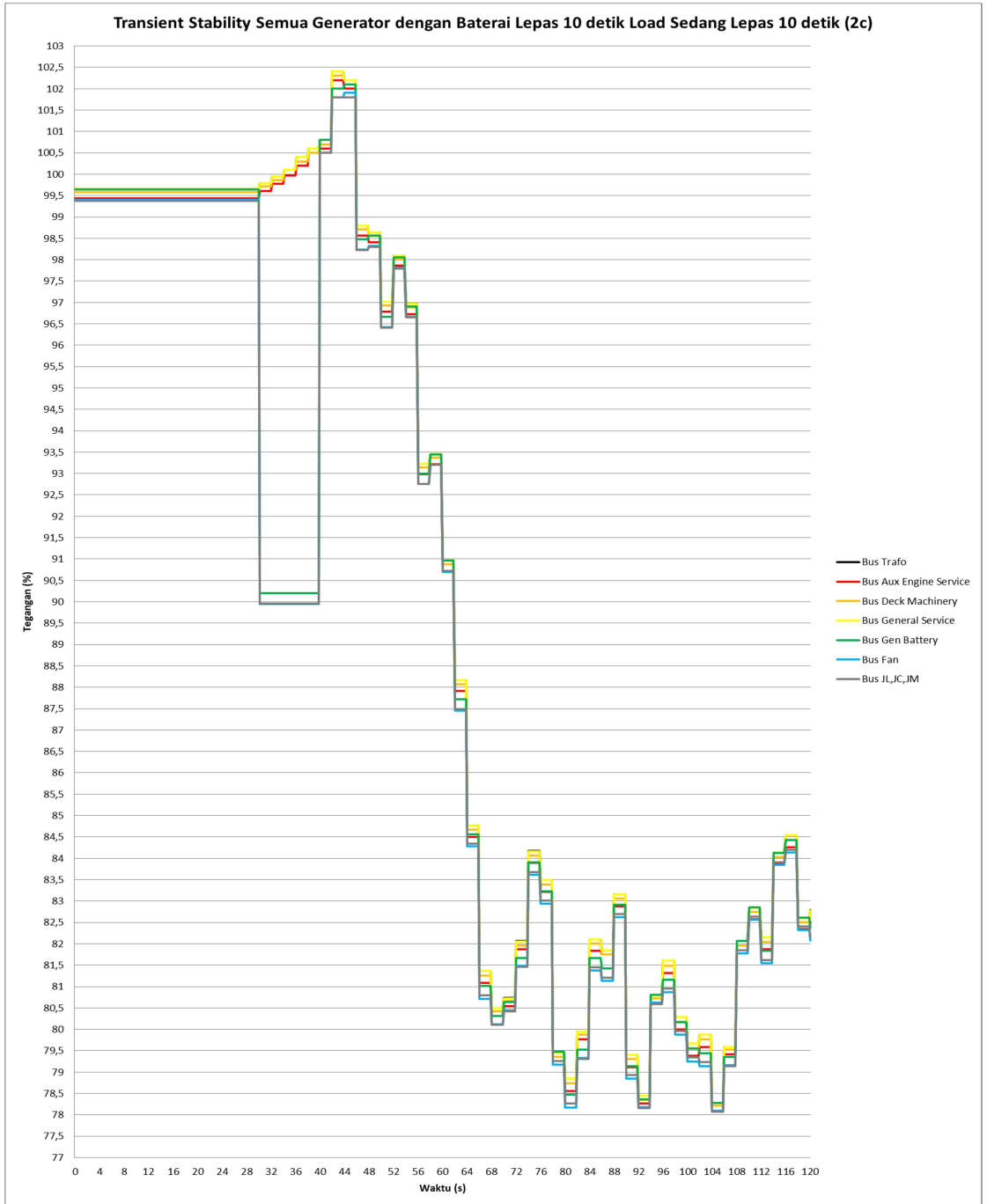
4.8.2.4 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik



Gambar 4.9 Grafik Generator dan Baterai beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik

Pada studi kasus generator dan baterai beroperasi dan pada saat detik ke 30 beban terbesar lepas selama 10 detik nilai persentase yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.9. Sempat terjadi peningkatan tegangan pada detik ke 44 pada “Bus Trafo dan “Bus Gen Battery” hingga pada titik tertinggi sebesar 102,3% dan 102,1%. Namun setelah itu terjadi penurunan hingga detik ke 120 dan nilai persentase tegangan menjadi dibawah dari nilai nilai toleransi stabilitas tegangan yang sesuai dengan IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Hal ini mengakibatkan tegangan sistem pada bus distribusi mengalami ketidak stabilan tegangan. Terjadi *undervoltage* dan dalam jeda yang sangat singkat dan dapat dikatakan dalam kondisi transient. Sehingga hal ini tentu tidak aman bagi peralatan listrik yang beroperasi dan kondisi transientnya tidak dapat dimaklumi.

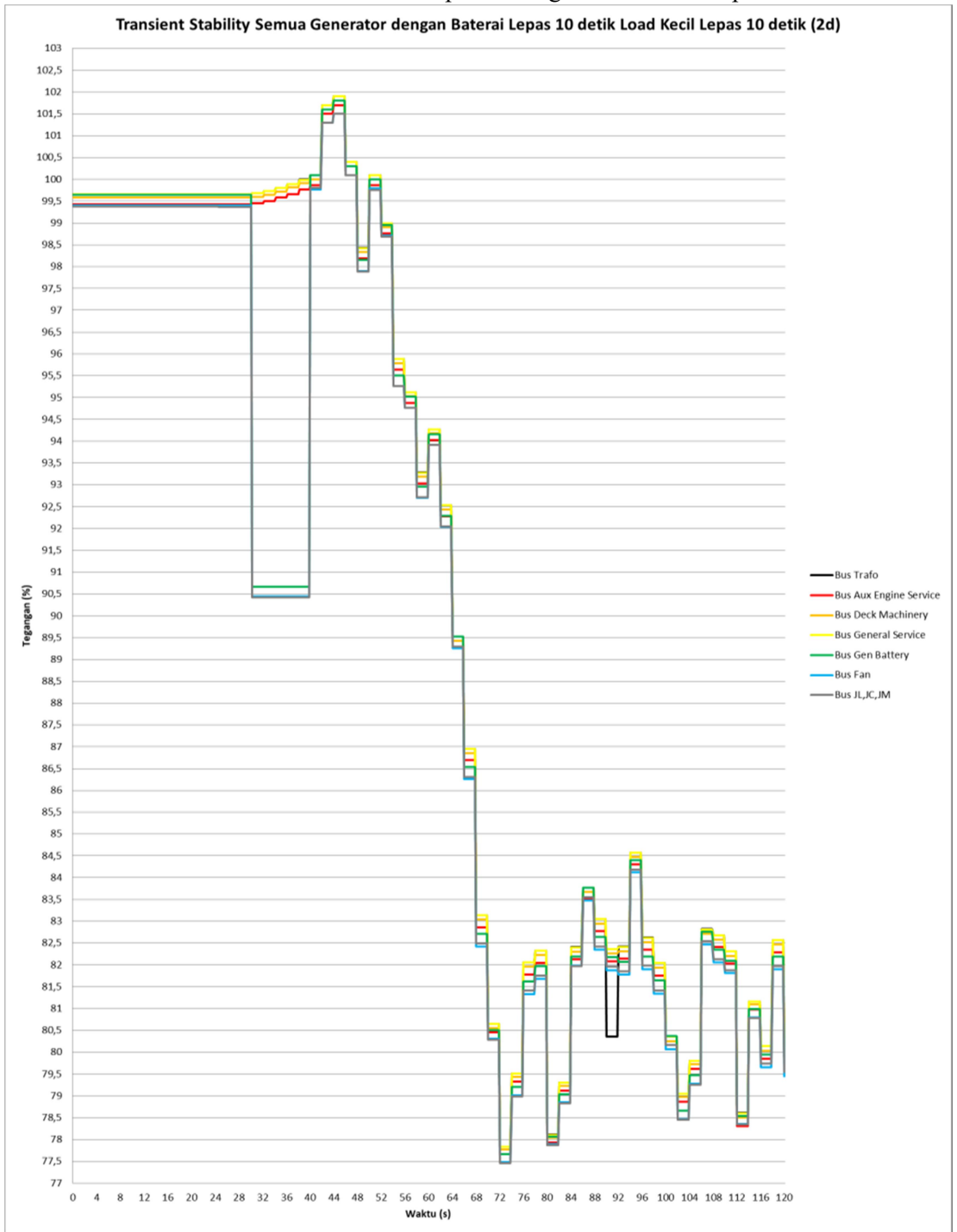
4.8.2.5 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban sedang lepas 10detik



Gambar 4.10 Grafik Generator dan Baterai beroperasi dengan beban sedang lepas 10 detik

Pada studi kasus ke 5 dalam simulasi 2, nilai persentase yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.10. Pada mulanya nilai presentase sesuai dengan nilai toleransi stabilitas tegangan yang sesuai dengan IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Hampir sama dengan studi kasus sebelumnya terjadi peningkatan tegangan pada detik ke 44 pada “Bus Trafo dan “Bus Gen Battery” hingga pada titik tertinggi sebesar 102,2% dan 102,1%. Namun berikutnya terjadi penurunan hingga detik ke 120 dan nilai persentase tegangan menjadi dibawah dari nilai toleransi stabilitas tegangan yang sesuai dengan IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV dengan tita terendah pada “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery” sebesar 78,28% pada detik ke 104. Hal ini mengakibatkan tegangan sistem pada bus distribusi mengalami ketidak stabilan tegangan. Terjadi *undervoltage* dengan jeda yang sangat singkat dan dapat dikatakan dalam kondisi transient. Hal ini tentu tidak aman bagi peralatan listrik yang beroperasi dan kondisi transientnya tidak dapat dimaklumi.

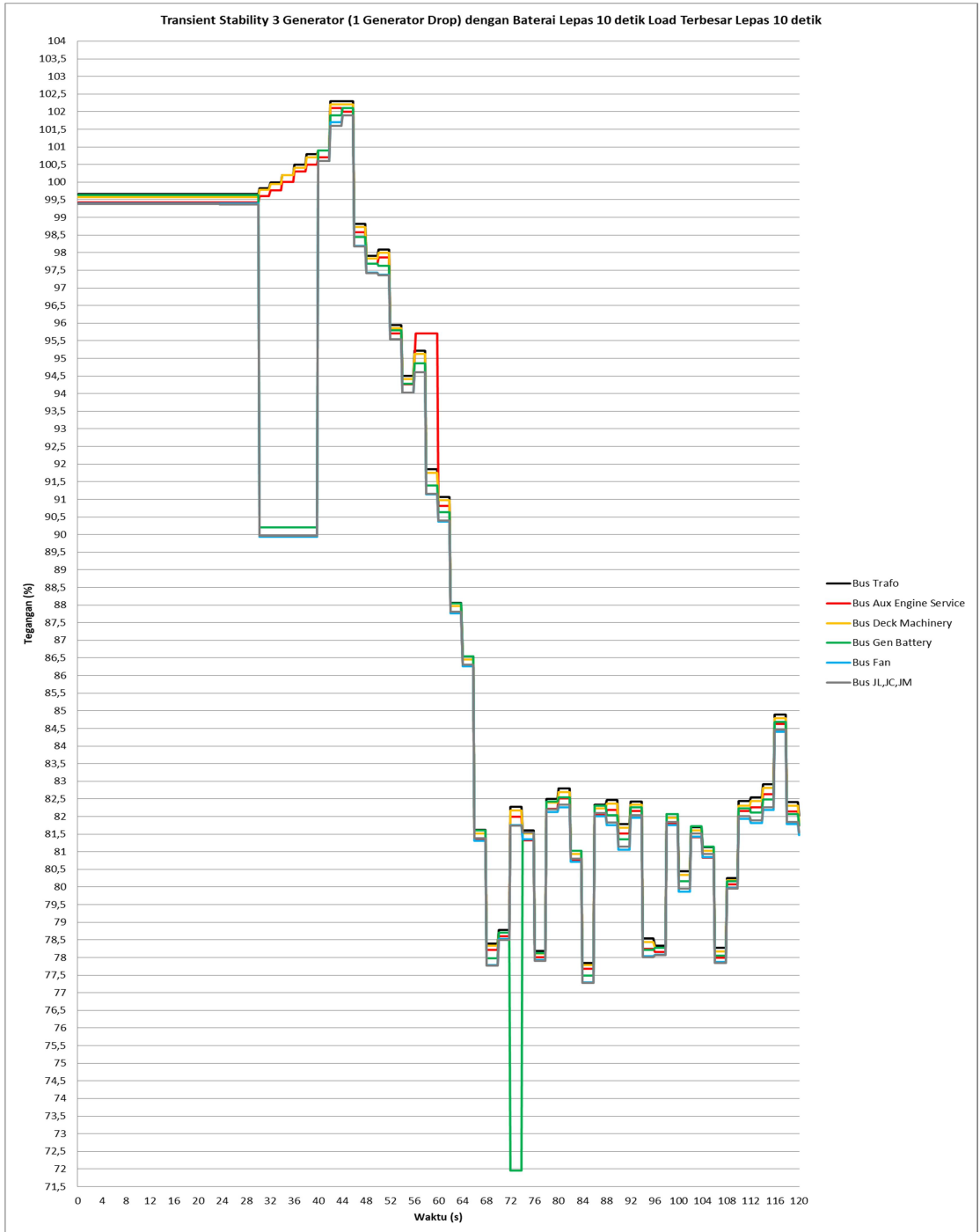
4.8.2.6 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik



Gambar 4.11 Grafik Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik

Dalam studi kasus lepasnya beban kecil selama 10 detik pada generator dan baterai yang beroperasi terjadi undervoltage setelah beban yang terlepas kembali. Penurunan tegangan yang terjadi berada di titik terendah saat detik 72 dengan persentase tegangan 77,84% pada “Bus Trafo” dan 77,67 % pada “Bus Gen Battery” dan dapat naik hanya pada titik 84,57% dan 84,4% pada detik ke 95 untuk “Bus Trafo” dan “Bus Gen Battery”. Kesimpulannya studi kasus ini tidak memenuhi standard untuk nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Dan juga tidak memenuhi standart tegangan stabil $\pm 5\%$.

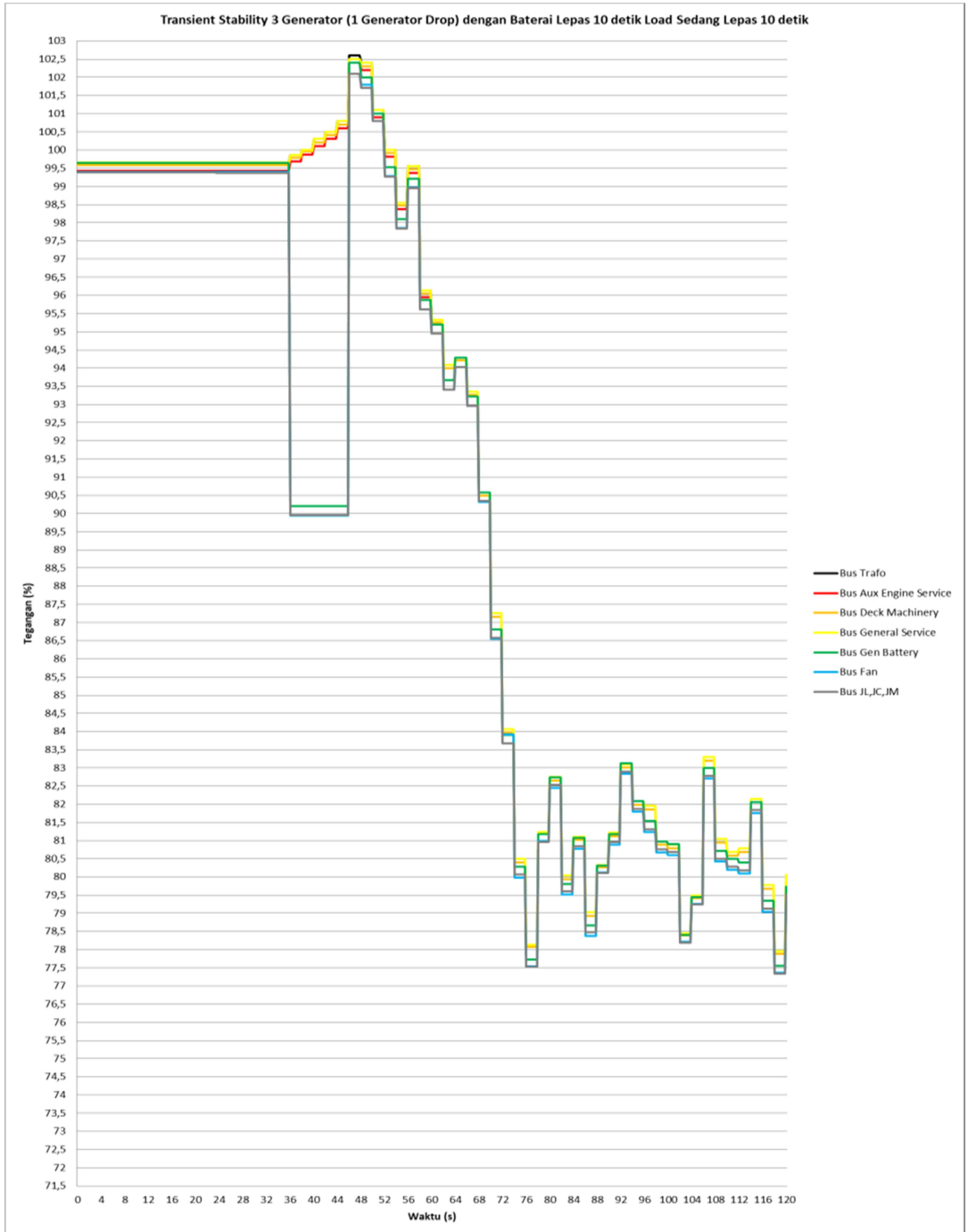
4.8.2.7 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik



Gambar 4.12 Grafik 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban terbesar lepas 10 detik

Dalam simulasi 2 pada studi kasus 7 hasil dari persentase perubahan tegangan pada Gambar 4.12. Tegangan terlihat stabil saat awal, hingga terjadi perubahan pada “Bus Gen Battery” pada detik ke 30 mengalami penurunan tegangan akibat aliran tegangan dari generator lepas selama 10 detik sehingga nilai persentase penurunan tegangan berada titik 90,2% dari detik 30,2 hingga detik 40. Kemudian semua bus distribusi mengalami peningkatan dan mengalami penurunan tegangan hingga menjadi *undervoltage* terendah pada detik 85 dengan nilai persentase “Bus Trafo” sebesar 77,85% dan 77,49% pada “Bus Gen Battery”. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa studi kasus ini tidak memenuhi memenuhi standard untuk nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Dan juga tidak memenuhi standart tegangan stabil $\pm 5\%$.

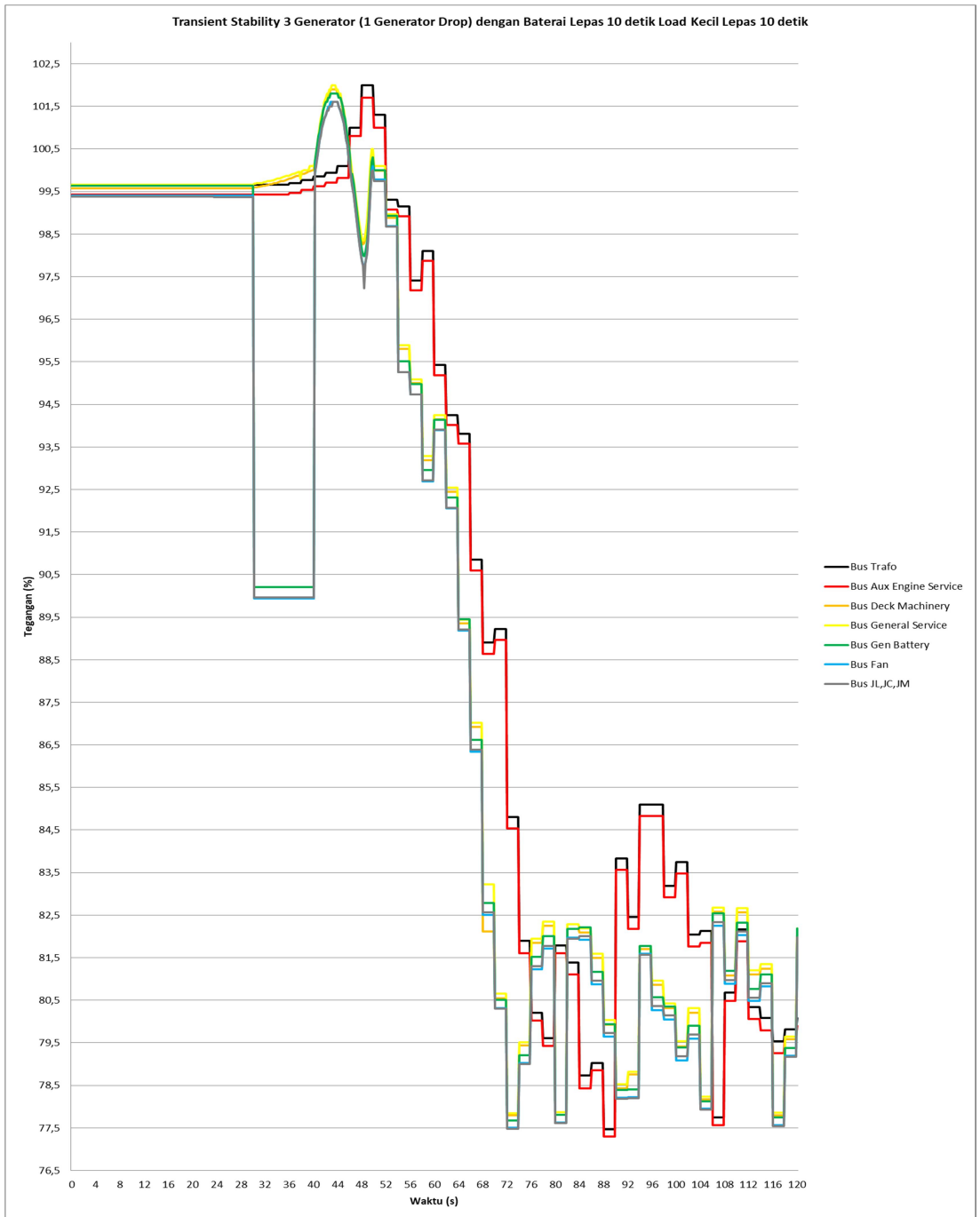
4.8.2.8 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban sedang lepas 10detik



Gambar 4.13 Grafik 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban sedang lepas 10 detik

Dalam simulasi 2 pada studi kasus 8 hasil dari persentase perubahan tegangan pada Gambar 4.13. Seperti studi kasus 7 sebelumnya yang mengalami penurunan pada detik ke 76 dengan persentase 78,13% pada “Bus Trafo” dan “77,73” pada “Bus Gen Battery” akan tetapi memiliki persentase tegangan yang lebih stabil dari studi kasus sebelumnya. Namun tetap tidak sesuai dengan standard untuk nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Dan juga tidak memenuhi standart tegangan stabil $\pm 5\%$.

4.8.2.8 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik



Gambar 4.14 Grafik 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik

Pada studi kasus 3 Generator dan Baterai beroperasi dengan beban kecil lepas 10 detik hasil dari persentase perubahan tegangan pada Gambar 4.14. Seperti studi kasus sebelumnya yang mengalami penurunan pada detik ke 88 dengan persentase 77,47% pada “Bus Trafo” dan “77,35” pada “Bus Gen Battery”. Hasil dari simulasi ini mendekati dengan hasil simulasi 1 studi kasus 3 karena beban yang lepas kecil, namun tetap tidak sesuai dengan standard untuk nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Dan juga tidak memenuhi standart tegangan stabil $\pm 5\%$.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis simulasi *transient analysis* yang difokuskan pada stabilitas tegangan pada sistem distribusi listrik *hybrid*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi variasi penggunaan pembangkit listrik hybrid di kapal:
 - a. Pada studi kasus pertama telah memenuhi standard untuk nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV. Karena pada stud kasus 1 grafik stabil pada presentase 99,6% pada “Bus Trafo” dan 99,64% pada “Bus Gen Battery”
 - b. Hasil studi kasus kedua dan ketiga nilai stabilitas mengalami penurunan hingga tidak menuhi nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV $\pm 5\%$.
2. Hasil simulasi perubahan mendadak beban distribusi listrik *hybrid* di kapal
 - a. Pada studi kasus 1a,1b dan 1c telah memenuhi standart untuk nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV walau terjadi peningkatan akan tetapi tidak termasuk dalam *overvoltage* karena kurang dari $\pm 5\%$.
 - b. Hasil studi kasus 2a,2b,dan 2c tidak cukup untuk memenuhi standart nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV karena terjadi penurunan dan stabil pada persentase rentang 82,79% - 77,81% pada “Bus Gen Battery” dalam studi kasus 2a, sedangkan dalam studi kasus 2b berada pada rentang 77,49% - 94,86% dan pada studi kasus 2c nilai rentang yang dimiliki lebih kecil dari 2a dan 2b yaitu 78,28%- 93,45%
 - c. Pada studi kasus 3a,3b,dan 3c tidak memenuhi standard untuk *recovery time* dan nilai toleransi stabilitas tegangan pada IEEE Std 45-2002, 4,5 dan BKI Vol IV.

5.2 Saran

Setelah dilakukan analisa tegangan dengan *software transient analysis* untuk sistem distribusi pada kapal bertenaga listrik *hybrid*,maka penulis merekomendasikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dalam tugas akhir ini hasil simulasi yang didapat hanya dari *software* tidak dilakukan perbandingan ataupun validasi dengan perhitungan rumus. Sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbandingan antara simulasi *software* dan perhitungan agar mendapat hasil yang lebih akurat
2. Dalam tugas akhir ini studi kasus yang diambil hanya terbatas pada kondisi sailing kapal. Sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan simulasi

yang lebih banyak dengan kondisi kapal yang lain agar hasil analisis simulasi menjadi lebih akurat.

3. Dalam tugas akhir ini tidak dilakukan langkah pencegahan dan solusi untuk mengatasi hasil simulasi stabilitas tegangan yang tidak sesuai standard kondisi transient pada pembangkit listrik *hybrid* pada objek tugas akhir ini. Sehingga dapat dilakukan penelitian untuk mengatasi masalah yang terjadi pada hasil simulasi *transient analysis* yang terdapat pada tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BKI (2000) 'Rules for electrical installations', IV, p. 507.
- IMO (2016) 'Prevention of Air Pollution from Ships Link to relevant Resolutions', (March 2019), pp. 17–18.
- Kundur, P. *et al.* (2004) 'Definition and Classification of Power System Stability IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions', *Power Systems, IEEE Transactions on*, 19, pp. 1387–1401. doi: 10.1109/TPWRS.2004.825981.
- Kusuma, I. R. *et al.* (2017) 'Transient stability analysis of general cargo shipboard power system', in *2017 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, pp. 171–175. doi: 10.1109/ICAMIMIA.2017.8387580.
- Kusuma, I. R. (2018) 'Pengembangan Jaringan Distribusi Listrik Arus Searah (DC) Pada Kapal Bertenaga Listrik Hibrida untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Kelistrikan dan Pengaruhnya Terhadap Konsumsi dan Emisi Bahan Bakar'.
- Lan, H. *et al.* (2016) 'Modeling and Stability Analysis of Hybrid PV/Diesel/ESS in Ship Power System', *Inventions*, 1, p. 5. doi: 10.3390/inventions1010005.
- Legowo, E. (2017) 'ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN DI KAPAL GENERAL CARGO'.
- Multa, L. and Aridani, R. P. (2013) 'Modul Pelatihan ETAP', *Modul Pelatihan ETAP*, p. 58.
- Nugroho, F. A. (2018) 'SIMULASI STABILITAS TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MENGGUNAKAN WIND TURBINE, PHOTOVOLTAIC, DAN DIESEL ENGINE GENERATOR DI KAPAL PENUMPANG HYBRID TRIMARAN'.
- Putri, D. P. and Koenhardono, E. S. (2016) 'Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel Surya dan Diesel Generator) Pada Kapal Tanker', *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), pp. 394–399. doi: 10.12962/j23373539.v5i2.19318.
- Sarwito, S. *et al.* (2019) 'Transient stability analysis on AHTS vessel electrical system using dynamic positioning system', *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(2), pp. 461–475.
- Sarwito, S., 1995. *Perencanaan Instalasi Listrik Kapal*. Surabaya: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi ITS.
- Zahedi, B. and Norum, L. (2013) 'Modelling and simulation of hybrid electric ships with DC distribution systems', in *2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2013*, pp. 1–10. doi: 10.1109/EPE.2013.6631762.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIOGRAFI PENULIS

Ruwinda Permatasari, lahir pada tanggal 26 Januari 1998 di Surabaya. Putri dari Bapak Rumpoko dan Ibu Perwi Darmajanti. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal di SD Negeri Kalisari II Surabaya, SMP Negeri 9 Surabaya, SMA Negeri 9 Surabaya. Penulis melanjutkan jenjang pendidikan Program S1 (Strata 1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2016. Pada semester 7 penulis bergabung dalam laboratorium MEAS (Marine Electrical & Automatical Sistem). Pada laboratorium tersebut penulis bertugas menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Listrik Perkapalan dan menyelesaikan tugas akhir di laboratorium tersebut. Pada bidang non akademik penulis mendapatkan amanah sebagai Bendahara Umum I Himasiskal FTK -ITS masa bakti 2019-2020 dan masih aktif mengikuti kegiatan yang diselenggarakan HIMASISKAL FTK-ITS. Pada tahun 2018 dan 2017 penulis aktif dalam kepanitiaan Marine Icon selaku staf pada divisi konsumsi. Penulis juga aktif dalam kepengurusan di Himasiskal sebagai staff PSDM masa bakti 2018-2019. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: ruwinda.permatasari@gmail.com .