

TUGAS AKHIR

ANALISA SISTEM DISTRIBUSI KELISTRIKAN PADA *EMERGENCY GENERATOR* DI KAPAL TANKER

*Diselesaikan Untuk Melengkapi Tugas-tugas
dan Memenuhi Syarat-syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

M.FADHIL
2107220020



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fadhil

NPM : 2107220020

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Sistem Distribusi Kelistrikan Pada *Emergency Generator* Di Kapal Tanker

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah Berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 30 September 2025

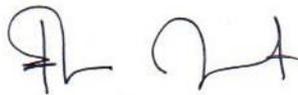
Mengetahui dan Disetujui

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, S.Pd., M.T

Dosen Pembanding I



Dr. Elvy Sanhur Nasution S.T., M.Pd

Dosen Pembanding II



Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T



Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Dr. Elvy Sanhur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Surat yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fadhil

Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 29 Januari 2003

NPM : 2107220020

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan Sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

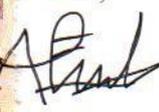
“Analisa Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Emergency Generator Di Kapal Tanker”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian kerja hasil milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 September 2025

atakan,

E8875ANX051584554
Muhammad Fadhil

ABSTRAK

ANALISA SISTEM DISTRIBUSI KELISTRIKAN PADA EMERGENCY GENERATOR DI KAPAL TANKER

Perairan Belawan yang terletak sekitar 24 km dari Medan adalah tempat pelabuhan terbesar di sisi barat Indonesia, yang menghadap Selat Malaka. Salah satu jenis kapal yang beroperasi di pelabuhan Belawan adalah Kapal MT, atau Kapal Tanker Bermesin. Kapal MT ini dilengkapi dengan berbagai mesin yang diperlukan untuk pengoperasian, termasuk mesin cadangan. Di dalam mesin cadangan terdapat *Emergency Generator* yang biasanya tersedia di dek atas. *Emergency Generator* berfungsi sebagai sumber listrik alternatif bagi kapal saat listrik dari mesin tambahan mati dan diperlukan untuk menyalakan perangkat penting yang ada di ruang kendali kapal. Penelitian ini akan menganalisis masalah-masalah yang terjadi untuk meningkatkan kecepatan torsi guna mendapatkan beban optimal dari generator darurat. Ini dilakukan untuk mendukung kinerja mesin darurat pada kapal tanker. Sistem distribusi listrik dari *Emergency Generator* beroperasi dengan baik dan stabil, yang dibuktikan melalui indikator teknis seperti tegangan nominal yang tepat, arus yang berada dalam batas aman, serta tingkat kehilangan daya dan ketidakstabilan yang sangat rendah. Semua parameter menunjukkan bahwa sistem *Emergency Generator* dapat diandalkan untuk menyediakan energi penting dalam situasi darurat, sesuai dengan standar instalasi kelistrikan untuk kapal dan peraturan kelistrikan PUIL.

Kata Kunci : Kapal Tanker Bermesin, Sistem Distribusi Listrik, *Emergency Generator*

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM IN EMERGENCY GENERATORS ON TANKERS

The waters of Belawan, located about 24 km from Medan, are home to the largest port on the west coast of Indonesia, facing the Malacca Strait. One type of ship that operates in the port of Belawan is the MT ship, or Motor Tanker. These MT ships are equipped with various engines necessary for operation, including backup engines. The backup engine contains an Emergency Generator that is usually located on the upper deck. The Emergency Generator serves as an alternative power source for the ship when the power from the auxiliary engine fails and is needed to turn on important devices in the ship's control room. This study will analyze the problems that occur in order to increase the torque speed to obtain the optimal load from the emergency generator. This is done to support the performance of the emergency engine on tanker ships. The electrical distribution system from the Emergency Generator operates well and stably, as demonstrated by technical indicators such as precise nominal voltage, current within safe limits, and very low levels of power loss and instability. All parameters indicate that the Emergency Generator system is reliable in providing critical energy in emergency situations, in accordance with electrical installation standards for ships and PUIL electrical regulations

Keywords: Engine-powered Tanker, Electrical Distribution System, Emergency Generator

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “*Analisa Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Emergency Generator Di Kapal Tanker*“ Dimana tugas akhir ini adalah suatu kewajiban yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa/i Teknik Elektro dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan hasil tugas akhir ini dilampirkan pada sebuah laporan yang wajib diselesaikan untuk para mahasiswa/i. Dalam penulisan tugas akhir ini saya menyadari masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana saya mengharapkan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini. Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof.Dr.Agussani, MAP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, sekaligus sebagai Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir .

7. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh staff Tata Usaha di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A3 dan teman saya Nashya Alifah Admiral yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh saudara dan saudariku yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas dukungan dan bantuan yang diberikan kepada saya.

Akhirnya saya mengharapkan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca. Dan kepada Allah SWT, saya serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Medan, 5 September 2025

M.FADHIL
2107220020

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penulisan	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Emergency Generator</i>	6
2.1.1 Beban kerja <i>Emergency Generator</i>	12
2.1.2 Faktor kesamarataan (<i>Diversity Factor</i>)	13
2.1.3 Distribusi sistem kelistrikan kapal	14
2.1.4 Cara kerja generator DC	14
2.2 Klasifikasi Sistem Kelistrikan Kapal	15
2.2.1 <i>Lighting Load</i> (Beban Penerangan)	15
2.2.2 <i>Power load system</i>	17

2.2.3	<i>Navigation, Communication and Safety Load System</i>	18
2.2.4	<i>Emergency Source System</i>	19
2.3	Beban Listrik.....	20
2.3.1	Karakteristik beban listrik	21
2.4	Daya Listrik.....	23
2.4.1	Daya aktif	24
2.4.2	Daya Semu.....	24
2.4.3	Daya reaktif	25
2.5	Faktor daya	26
2.5.1	Faktor Daya <i>Unity</i>	27
2.5.2	Faktor Daya <i>Leading</i>	27
2.5.3	Faktor Daya <i>Lagging</i>	28
2.6	Frekuensi	28
2.7	Ketidak seimbangan Beban	29
2.8	Kestabilan Tenaga Listrik	34
2.8.1	Kestabilan <i>Steady State</i>	35
2.8.2	Kestabilan Dinamis	36
2.8.3	Kestabilan Transient	36
2.8.4	Kestabilan Sudut Rotor (<i>Rotor Angle Stability</i>)	37
2.8.5	Kestabilan Tegangan (<i>Voltage Stability</i>)	38
2.9	Standar Batasan Operasi Tegangan	41
2.10	Gangguan Listrik Yang Mempengaruhi Kestabilan.....	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		43
3.1	Waktu dan Tempat.....	43
3.1.1	Waktu	43
3.1.2	Tempat.....	43
3.2	Data Penelitian	43

3.3 Alat Dan Bahan	44
3.4 Prosedur Penelitian	45
3.5 Analisis Data	46
3.6 <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Proses Sistem Distribusi Kelistrikan <i>Emergency Generator</i>	48
4.2 Pengukuran Beban Pada <i>Emergency Generator</i>	50
4.2.1 Data Pengukuran Beban <i>Feeder 440 VAC</i>	50
4.2.2 Data Rugi-rugi Daya Beban <i>Feeder 440 VAC</i>	53
4.2.3 Data Pengukuran Beban <i>Feeder 220 VAC</i>	57
4.2.4 Data Rugi-rugi Daya Beban <i>Feeder 220 VAC</i>	59
4.2.5 Data Ketidakstabilan Beban <i>Feeder 440 VAC</i>	63
4.2.6 Data Ketidakstabilan Beban <i>Feeder 220 VAC</i>	67
BAB V PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Diesel Generator</i>	9
Gambar 2. 2 Sistem Distribusi Kelistrikan Kapal.....	14
Gambar 2. 3 Cara Kerja Generator DC.....	14
Gambar 2. 4 <i>Lighting Load</i>	16
Gambar 2. 5 Lampu Flurescent ip 56	16
Gambar 2. 6 <i>Electro Motor Pada Booster Pump</i>	17
Gambar 2. 7 <i>Navigation, Communication and Safety Load System</i>	19
Gambar 2. 8 Tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh resistif	21
Gambar 2. 9 Tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh induktif	22
Gambar 2. 10 Tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh kapasitif.....	23
Gambar 2. 11 Sumber Daya.....	24
Gambar 2. 12 Gelombang Faktor Daya <i>Unity</i>	27
Gambar 2. 13 Gelombang Faktor Daya <i>Leading</i>	27
Gambar 2. 14 Vektor beban tidak seimbang	30
Gambar 2. 15 Vektor beban seimbang	30
Gambar 2. 16 <i>Klasifikasi Stabilitas Sistem tenaga</i>	35
Gambar 2. 17 (a) <i>contoh analisis ayunan pertama untuk sistem stabil</i> , (b) <i>contoh analisis ayunan pertama untuk sistem tidak stabil</i>	37
Gambar 2. 18 <i>Single line Diagram Generator dan Motor</i>	38
Gambar 2. 19 <i>Diagram Impedansi Generator dan Motor</i>	38
Gambar 2. 20 <i>Tm dan Te</i>	40
Gambar 3. 1 <i>Flow chart Menganalisa Siatem Distribusi</i>	47
Gambar 4. 1 <i>Flowchart Sistem Distribusi Kelistrikan Emergency Generator</i>	48
Gambar 4. 2 Pengukuran Tegangan Pada Beban <i>Feeder 440 VAC</i>	51
Gambar 4. 3 Pengukuran Frekuensi Pada Beban <i>Feeder 440 VAC</i>	51
Gambar 4. 4 Pengukuran Arus Pada Beban <i>Feeder 440 VAC</i>	52
Gambar 4. 5 Pengukuran Tegangan Pada Beban <i>Feeder 220 VAC</i>	57
Gambar 4. 6 Pengukuran Frekuensi Pada Beban <i>Feeder 220 VAC</i>	57
Gambar 4. 7 Pengukuran Arus Pada Beban <i>Feeder 220 VAC</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar ketidakseimbangan beban dan tegangan (IEE Std 446-1987).....	31
Tabel 2. 2 Standar Variasi Tegangan dan Frekuensi Sistem Distribusi AC	41
Tabel 2. 3 Standar Variasi Tegangan Sistem Distribusi DC.....	42
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	43
Tabel 4. 1 Data Pengukuran Beban <i>Feeder</i> 440 VAC.....	52
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Pada Beban <i>Feeder</i> 440 VAC.....	54
Tabel 4. 3 <i>Analisa Standart Puil Relevan Beban Feeder 440 VAC</i>	56
Tabel 4. 4 Data Pengukuran Beban <i>Feeder</i> 220 VAC.....	58
Tabel 4. 5 <i>Analisa Standart Puil Relevan Beban Fedeer 220 VAC</i>	62
Tabel 4. 6 <i>Analisa Standart Puil Beban Feeder 440 VAC</i>	66
Tabel 4. 7 <i>Analisa Standart Puil Beban Feeder 220 VAC</i>	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Medan merupakan kota yang aktif di bidang transportasi laut dan medan aktif dalam ekspor dan impor minyak salah satunya dipelabuhan belawan. Hal ini dijelaskan langsung menurut Paramitha (2014) didalam (Tanjung et al., 2020)

Perairan Belawan yang berjarak ± 24 km dari Kota Medan merupakan lokasi pelabuhan terbesar di bagian barat Indonesia yang berhadapan dengan Selat Malaka yang sangat padat lalu lintas kapal dan merupakan salah satu pelabuhan utama di Indonesia yang banyak disinggahi oleh kapal-kapal dengan berbagai ukuran. Perairan Belawan juga digunakan sebagai alur transportasi pengangkutan hasil penangkapan ikan oleh nelayan baik dalam skala kecil maupun skala besar. Aktivitas yang terjadi di Perairan Belawan adalah kapal bongkar muat minyak, dimana kapal tanker besar dalam negeri maupun luar negeri terkadang melepaskan air ballast di sekitar perairan ini. Hal ini mengakibatkan Laut Belawan sangat rentan terhadap pencemaran laut yang disebabkan oleh limbah minyak dari aktivitas tersebut.

Didalam kapal MT (Kapal Tanker Bermesin) terdapat banyak mesin untuk menggerakkan kapal tersebut salah satunya *back up* mesin, di dalam *back up* mesin tersebut terdapat *emergency generator* yang biasa dijumpai pada *upper deck*.

Emergency generator merupakan sistem *back up* listrik kapal saat operasional bila listrik kapal dari *Auxiliary engine* yang tidak bisa hidup/mengeluarkan daya listrik dan guna untuk menghidupkan perangkat perangkat penting pada ruang kendali kapal seperti navigasi, radar, dan kemudi kapal. *Emergency generator* juga tidak mengeluarkan daya listrik sebesar *auxiliary engine* dan *emergency generator* juga merupakan hal yang wajib ada saat kapal beroperasi di lautan indonesia maupun internasional dikarenakan *emergency generator* sebagai listrik darurat apabila terjadi *black out*.

Sistem *back up* otomatis oleh *emergency generator* ketika kapal *black out* sistem langsung mengrespon untuk menghidupkan *generator* dan *generator*

yang digunakan merupakan *generator type engine high speed* jadi perputaran awal atau *start* nya langsung dengan 1800 rpm dan bisa juga saat mesin tidak digunakan selama 2 minggu lebih maka start awalnya harus idle dulu dikecepatan 800 rpm , jadi saat sudah *running* 1800 rpm dan 60 hz maka beberapa menit kemudian dan RPM sudah stabil maka generator akan memberikan tegangan ke panel *emergency switchboard* dan *relay* akan otomatis bekerja dan mem-*back up* daya listrik kapal

Sehingga, tipe *engine* yang akan di analisa merupakan *Generator Stamford dan engine cummins* yang menggunakan PLC sebagai indikator dan *trip engine* dari *safety device* dan selain itu beban yang diberikan oleh *emergency generator* juga lebih sedikit dan terbatas dari pada *auxilliary engine* dan hanya mem-*back up* beberapa peralatan seperti *emergency light*, alat navigasi, beberapa pompa yang penting, serta *compressor*.

Proses yang membuat *engine generator* mensuplai energi listrik dari generator merupakan kumparan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan kumparan yang berputar (rotor) oleh *engine* yang berputar dan diakibatkan piston piston yang bergerak melalui ledakan bahan bakar yang dibantu oleh dinamo *start* dan dinamo *charger* dan juga membutuhkan tegangan DC untuk mensuplai listrik ke dinamo *start*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini untuk mendukung Sistem distribusi kelistrikan pada *emergency generator* sangat lah penting. Maka sesuai judul yang diambil oleh peneliti di atas berdasarkan sumber data dan pengalaman kerja praktik yang peneliti alami selama di kapal tanker sebagai acuan untuk membuat skripsi ini, maka pembahasan ini dapat di tentukan pada beberapa *point* penting dalam rumusan mas ini yaitu:

1. Bagaimana menganalisa sistem distribusi daya listrik yang berpindah dari generator utama ke emergency generator saat terjadi kegagalan listrik (black out) pada emergency generator ?
2. Bagaimana menganalisa kerugian daya listrik pada emergency generator ?
3. Bagaimana cara menganalisa beban yang tidak stabil pada emergency generator pada kapal tanker ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang didapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisa sistem distribusi daya listrik yang berpindah dari generator utama ke emergency generator saat terjadi kegagalan listrik (*black out*) pada *emergency generator*.
2. Untuk menganalisa kerugian daya listrik pada *emergency generator*.
3. Untuk menganalisa beban yang tidak stabil pada kapal tanker.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di paparkan di atas, maka penelitian ini memfokuskan dari pokok permasalahan yang terjadi dalam rangka untuk mengoptimalkan kecepatan torsi untuk menghasilkan beban yang optimal pada *emergency generator* guna menunjang performa dari mesin *emergency generator* untuk kapal *tanker*. Maka dilakukan pembatasan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Melakukan analisa distribusi daya listrik yang berpindah dari generator utama ke *emergency generator* saat terjadi kegagalan listrik (*black out*) pada *emergency generator* agar lebih aman dan terkontrol.
2. Melakukan kajian dalam menganalisa kerugian daya listrik pada *emergency generator* agar lebih aman dan optimal.
3. Menganalisa cara untuk menganalisa beban yang tidak stabil pada *emergency generator* pada kapal tanker.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang ingin di capai penulis dalam pembuatan skripsi/tugas akhir ini adalah :

1. Pengetahuan dalam pengembangan studi akan cara bagaimana dapat menganalisa serta mengoperasikan *emergency generator* saat keadaan *black out* dan pindahanya dari generator utama ke *emergency generator*, untuk menghasilkan kecepatan dan daya yang optimal guna menunjang kinerja dari mesin *emergency generator*.

2. Menambahnya kajian tentang ilmu pengetahuan untuk dalam menganalisa kerugian daya listrik pada *emergency generator* agar sistem distribusi lebih aman dan optimal. sehingga bukan hanya jurusan kuliah perkapalan saja yang tahu, melainkan jurusan kuliah umum juga tahu gambaran dari kegiatan yang dilakukan di *deck* maupun *engine room* di kapal sehingga menambah wawasan baru yang dimiliki.
3. Dengan kajian ilmu pengetahuan dapat mengetahui cara untuk menganalisa sistem distribusi pada *emergency generator* yaitu terjadinya ketidakseimbangan beban yang mempengaruhi trafo distribusi .

1.6 Metode Penulisan

Adapun metode penulisan yang digunakan untuk mendapatkan data dalam membahas permasalahan sesuai dengan judul yang di atas adalah :

1. Metode literatur

Metode ini merupakan pengumpulan data dari berbagai buku tentang teori-teori.

2. Metode survei analitik

Metode ini merupakan pengumpulan data dengan cara survei observasi, survei penilaian, insiden kritis, dan analisis faktor.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam upaya untuk mencapai pembuatan tugas akhir yang maksimal sehingga mencapai sebuah pemahaman ilmu pengetahuan. Maka penelitian tugas akhir ini disusun dengan sistematika yang terdiri dari 5 bab, yang setiap bab nya memiliki penjelasan berdasarkan pengalaman kerja praktik di perusahaan pelayaran disusun secara berkesinambungan yang dalam pembahasannya merupakan satu rangkaian yang tidak terpisahkan, adapun sistematika penelitian tersebut disusun sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini peneliti menjelaskan mengenai uraian dan penjelasan yang melatar belakangi pemilihan judul skripsi, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berisikan teori dan gambaran pengetahuan yang ada saat ini sehingga disusun dalam satu kesatuan utuh untuk dijadikan landasan penyusunan kerangka pemikiran dan definisi tentang istilah lain dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini menjelaskan mengenai jenis metode penelitian, waktu dan tempat penelitian, sumber data, teknis analisis data dan prosedur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan mengenai uraian hasil penelitian dan pemecahan masalah guna memberikan jalan keluar atas masalah yang dihadapi.

BAB V PENUTUP

Pada bagian penutup berisikan kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan masalah yang menghasilkan saran yang dapat bermanfaat bagi pihak yang terkait sesuai dengan fungsi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Emergency Generator*

Penggunaan genset telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk memenuhi kebutuhan listrik cadangan saat terjadinya pemadaman sumber tenaga listrik pusat dari PLN. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, genset atau generator set ini adalah sebuah perangkat yang bisa menghasilkan listrik. Tetapi, yang disebut dengan generator set karena merupakan sebuah mesin atau perangkat yang terdiri dari pembangkit listrik (generator) dengan mesin penggerak yang disusun menjadi satu kesatuan untuk menghasilkan suatu tenaga listrik dengan besaran tertentu. Sejarah Generator Set adalah sebuah mesin yang ditemukan oleh dua ilmuwan dunia, yaitu Michael Faraday dan Rudolph Diesel. Pada tahun 1831, Faraday menemukan sebuah induksi elektromagnetik yang kemudian dikembangkan menjadi generator modern. Sedangkan, generator diesel ditemukan oleh Rudolph Diesel yang kemudian di hak paten pada tahun 1892.

Seiring penemuan ini sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, maka mesin penghasil listrik ini mulai dikembangkan dan diproduksi secara massal. Sejak saat itu, genset mudah ditemukan karena sudah banyak tersedia di pasaran dan umumnya digunakan di rumah sakit, pabrik, hotel, supermarket dan kapal juga. Namun, saat ini tidak jarang rumah-rumah penduduk yang mulai menggunakan genset untuk mengantisipasi jika terjadi pemadaman listrik.

Menurut (Inkarois, 2022) setiap kapal mempunyai sistem distribusi dan sistem pembangkit listrik yang dapat menghasilkan tegangan serta frekuensi kontinu dan daya yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik di kapal meskipun padan kondisi sandar, berlayar ataupun persiapan berlayar Kapal Cepat Rudal (KCR 60m) salah satunya dalam Kapal Perang KCR 60 m ini mempunyai 2 sistem penggerak pada kapal dan 3 generator utama serta 1 *Emergency generator* untuk keadaan darurat yang terhubung secara paralel serta bekerja secara bergantian pada kondisi operasi kapal.

Pada *Emergency generator* merupakan pembangkit darurat di beberapa tempat maupun transportasi laut yang kita kenal sebagai kapal yang dapat mengangkut penumpang,

minyak, bahkan batu bara dalam sistem mengemudinya dan bahkan sistem navigasi kapal juga membutuhkan listrik untuk beroperasi jadi sumber pembangkit pada kapal itu ada pada *Generator engine* atau sebutannya dikapal ialah *Auxiliary engine* yang berfungsi untuk membangkitkan daya listrik dan mendistribusikan listrik ke beban seluruh kapal. Generator juga memiliki kekurangan dan kelebihan juga dalam hal menghasilkan listrik ialah :

a. Kelebihan

- Generator yang dapat menghasilkan daya yang besar
- Mudah menemukan bahan bakar
- Mampu beroperasi dalam jangka waktu yang lama
- Berfungsi sebagai sumber daya untuk perangkat elektronik saat listrik padam.

b. Kekurangan

- Kurang perawatan dan pemeliharaan dapat menyebabkan kerusakan pada *Emergency Generator*
- Genset diesel industri bersuara keras dan bising
- Generator diesel industri membutuhkan pemanasan ekstensif dan waktu pendinginan mutlak
- Biaya awal yang diperlukan untuk memasang generator diesel umumnya lebih tinggi daripada generator gas
- Genset bensin memiliki risiko terbakar lebih tinggi jika tidak cermat dan hati-hati dalam pengoperasiannya
- Perawatan genset bensin lebih rumit dan banyak dibandingkan genset bensin.

Menurut (Breker et al., 2015) terdapat berbagai jenis generator, berikut beberapa jenis generator terbagi menjadi :

1. Jenis generator berdasarkan letak kutubnya

- a. Generator kutub dalam : Bagian yang berputar dari kutub generator ini memiliki medan magnet (rotor).
- b. Generator kutub luar : Bagian stasioner kutub luar generator memiliki medan magnet (stator).

2. Jenis generator berdasarkan putaran medan

- a. Generator sinkron : perangkat yang menggunakan induksi medan magnet

- untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
- b. Generator asinkron : generator yang menggunakan prinsip motor asinkronus untuk menghasilkan listrik.
3. Jenis generator berdasarkan jenis arus yang di bangkitkan,
- a. Generator arus searah (DC) : fitur bagian dasar yang pada dasarnya sama dengan yang terdapat pada bagian mesin listrik lainnya. Generator arus searah pada umumnya mengubah energi mekanik berupa gerak rotasi menjadi energi listrik arus searah.
 - b. Generator arus bolak balik (AC) : Dikenal sebagai generator sinkron karena jumlah putaran rotor sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Perangkat ini mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
4. Jenis generator di lihat dari fasanya
- a. Generator satu phase : Kabel fase dan kabel netral adalah dua kabel output dari generator fase tunggal. Generator AC fase tunggal biasanya menghasilkan tegangan output 220 volt ketika alternator koil tunggal digabungkan secara seri.
 - b. Generator tiga phase : Struktur generator tiga fase terdiri dari stator dan rotor. Stator adalah komponen tetap generator dan termasuk badan generator, belitan stator, sikat arang, dan kotak terminal. Rotor adalah komponen bergerak generator dan termasuk kutub rotor dan slip ring.
5. Jenis generator berdasarkan bentuk rotornya
- a. Generator rotor kutub yang populer sering digunakan pada generator RPM rendah seperti pembangkit listrik tenaga air dan generator diesel
 - b. Pembangkit listrik dan generator putaran tinggi seperti PLTG dan PLTU sering menggunakan generator rotor kutub datar (silinder).

Jadi, generator memiliki kekurangan dan kelebihan masing – masing dari segi letak kutupnya, putaran medan magnetnya, jumlah arus yang dibangkitkan, dari fasanya, maupun dari bentuk rotornya. dan tentu generator memiliki sisi mekanisnya juga untuk melakukan pembakaran dari *diesel oil* untuk terjadinya langkah usaha yang baik .



Gambar 2. 1 Diesel Generator

Sumber : (John D. Mc Donald 2007 *Electric Power Substations Engineering*, CRC Press : London)

Selain itu generator juga memiliki beberapa komponen yang penting untuk membangkitkan suatu listrik :

1. Rotor

Rotor yang merupakan bagian dari alternator berfungsi untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan untuk induksi elektromagnetik, bagian ini berputar saat generator hidup atau beroperasi. rotor biasanya berisi kumparan kawat tembaga yang dililitkan di sekitar inti besi, biasanya gesekan atau beban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan rotor tersebut aus atau terkikis.

2. Stator

Stator yang merupakan bagian dari alternator kumparan yang berbentuk kawat tembaga atau logam yang berbentuk kumparan jadi ketika komponen generator yaitu rotor berputar dan menghasilkan medan magnet dan memotong stator, lalu menghasilkan arus listrik, biasanya stator sering rusak pada isolasi akibat jangka waktu atau korosi dan mengakibatkan arus pendek dan kebocoran arus.

3. Kumparan

Kumparan yang menghasilkan magnet yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan ataupun arus dari stator dan rotor walaupun demikian, kerusakan yang sering terjadi pada gulungan tersebut merupakan isolasi yang rusak atau pun kebocoran arus serta hubung singkat.

4. *Brushes* (sikat)

Sikat atau *brushes* yang berfungsi untuk mengantarkan arus listrik dari rotor ke

sistem luar generator dan masalah yang sering terjadi ialah korosi yang di akibatkan jangka waktu pakai dan aus yang mengakibatkan penghantaran arus tidak maksimal.

5. Regulator tegangan

Regulator tegangan fungsi untuk menjaga kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh generator agar sesuai dengan kebutuhan beban yang inginkan biasanya kerusakan yang terjadi adalah ketidak seimbangan tegangan yang mengakibatkan peralatan generator rusak yang diakibatkan oleh waktu pakai maupun kegagalan sistem.

6. *Bearings* (bantalan)

Berfungsi untuk mengurangi gesekan anatar sistem penggerak pada rotor dan memungkinkan berputar dengan lancar tanpa hambatan, masalah yang sering terjadi adalah *bearing aus* ataupun terkikis seiring waktu pakai dan suhu panas ataupun sistem pelumas yang kurang maksimal.

7. Kopling atau penggerak

Merupakan penghubung antara poros yang menggabungkan antara motor dan generator yang menghasilkan penggerakan yang maksimal dan menghasilkan tegangan yang maksimal.

8. Motor

Komponen generator yang berfungsi menghasilkan energi mekanik yang mana membutuhkan bahan bakar dan pelumas yang mengkonversi energi mekanik ke listrik melalui kopling.

9. *Cooling system (Radiator)*

Sistem pendingin pada setiap mesin ataupun motor agar menjaga suhu tetap stabil dan tidak *overheated* saat generator dijalankan secara *idle* maupun *running*.

10. *Fuel system*

Sistem bahan bakar yang berfungsi untuk menjadi sistem untuk mengalirkan bahan bakar ke ruang bakar untuk di bakar dan menjadi sistem untuk menghalangi kebocoran ataupun penyumbatan.

11. *Exhaust*

Merupakan buangan gas ataupun knalpot berfungsi untuk membuang sisa bakaran dari ruang bakar untuk meredam bising dan memberi sirkulasi udara yang baik.

12. *Lubricant system*

13. Merupakan system pelumas untuk penggerak alternator dan motor agar halus dan tidak bergesek sehingga pelumas sangat dibutuhkan agar generator tahan lama dan

genset mengalami performa yang baik dalam menghasilkan arus listrik yang maksimal pula.

14. Baterai

Merupakan tegangan listrik yang digunakan generator untuk memicu awal mesin melalui dinamo start untuk menggerakkan motor.

15. Panel

Tempat untuk *menstart* *menstop* yang berisi komponen *relay*, PLC, kontaktor, *timer*, *overload relay*, serta PCB board dan *speed control*.

Menurut (Hanafi, 2006) mesin *diesel* merupakan jenis mesin dengan pembakaran dalam karena gas panas yang diperoleh dari proses pembakaran didalam mesin itu sendiri dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dan dipakai untuk melakukan kerja mekanis, yaitu menjalankan mesin tersebut. Sehingga mesin pancar gas untuk pesawat terbang, sistem turbin gas untuk pembangkit listrik, mesin induk kapal, dan motor roket termasuk dalam golongan mesin *diesel*.

Sehingga, generator di gerakkan oleh pembakaran mesin diesel yang bertemperatur tinggi dan tekanan yang tinggi agar mesin diesel menggerakkan rotor pada generator untuk menciptakan gelombang *electromagnetic* yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan.

Menurut (Yuswidjanto, 2021) mesin *diesel* terbagi menjadi dua jenis yaitu; mesin *diesel* 2 tak dan mesin *diesel* 4 tak. Berikut adalah penjelasan mengenai perbedaan antara mesin *diesel* 2 tak dan mesin *diesel* 4 tak.

A. Mesin Diesel 2 Tak

Mesin *diesel* 2 tak mempunyai perbedaan dari mesin *diesel* 4 tak, perbedaan tersebut adalah pada mesin *diesel* 2 tak dalam menyelesaikan siklusnya hanya perlu satu kali putaran saja pada poros engkol (*crank shaft*). Kemudian pada mesin *diesel* 2 tak hanya mempunyai satu katup (*valve*) yaitu *exhaust valve*, yang dimana udara kompresi masuk melalui *blower* pada *turbocharge* menuju *scaving air* atau dengan sebutan udara bilas. Disebut sebagai udara bilas karena udara yang masuk melalui *scaving port* akan menggantikan gas hasil pembakaran dengan udara bersih yang kemudian akan digunakan untuk proses pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar.

Keuntungan bila memakai mesin *diesel* 2 tak daripada mesin *diesel* 4 tak tak, terdapat pada *responsive*, karena tenaga yang dihasilkan oleh mesin *diesel* 2 tak lebih besar daripada mesin *diesel* 4 tak. Selain keuntungan terdapat juga kerugian yang dimiliki oleh mesin *diesel* 2 tak yang sebanding dengan besarnya tenaga yang dihasilkan oleh mesin *diesel* 2 tak. Sehingga konsumsi bahan bakar pada mesin *diesel* 2 tak lebih besar daripada konsumsi bahan bakar mesin *diesel* 4 tak.

B. Mesin *Diesel* 4 Tak

Pada mesin *diesel* 4 tak dalam menyelesaikan siklus kerjanya hanya memerlukan 2 kali putaran poros engkol (*crank shaft*). Proses yang dilalui pada mesin *diesel* 4 tak untuk mendapatkan hasil satu kali usaha pembakaran terdiri dari empat proses yaitu ; proses isap, proses kompresi, proses usaha, dan proses buang. Pada mesin *diesel* 4 tak tidak mempunyai *scaving port* karena mesin *diesel* 4 tak hanya memiliki satu pasang katup (*valve*) yaitu ; *valve inlet* dan *valve outlet*.

Keuntungan bila menggunakan mesin *diesel* 4 tak dibandingkan mesin *diesel* 2 tak terdapat pada konsumsi bahan bakarnya lebih sedikit daripada mesin *diesel* 2 tak. Selain itu kekurangan yang terdapat pada mesin *diesel* 4 tak terdapat pada kurangnya *responsive*, karena tenaga yang dihasilkan dari putaran mesin cenderung lebih rendah dibandingkan dengan mesin *diesel* 2 tak.

2.1.1 Beban kerja *Emergency Generator*

Load factor peralatan kapal adalah perbandingan waktu dan pemakaian peralatan yang dinyatakan dalam presentase. Untuk peralatan yang jarang digunakan dianggap mempunyai beban nol seperti *fire pump*, *anchor windlass*, *capstan* dan *boat winches* (Hadi, E.S., 2009).

Merupakan jumlah daya yang dikonsumsi oleh peralatan yang terhubung pada emergency generator emergency generator dikapal dalam bentuk presentase dan mempengaruhi tingkat efisiensi dan rugi daya semakin tinggi beban kerja maka semakin kecil rugi daya, beban kerja pada generator yang tidak merata mengakibatkan *emergency generator* bekerja lebih dan bisa mengakibatkan *overheated*.

Terkait beban kerja ada beberapa hal yang perlu diperhatikan merupakan fluktuasi beban dapat menyebabkan indikasi pada generator seperti arus dan

tegangan. Perubahan parameter ini harus tetap stabil agar generator stabil dan menghasilkan performa yang baik.

2.1.2 Faktor kesamarataan (*Diversity Factor*)

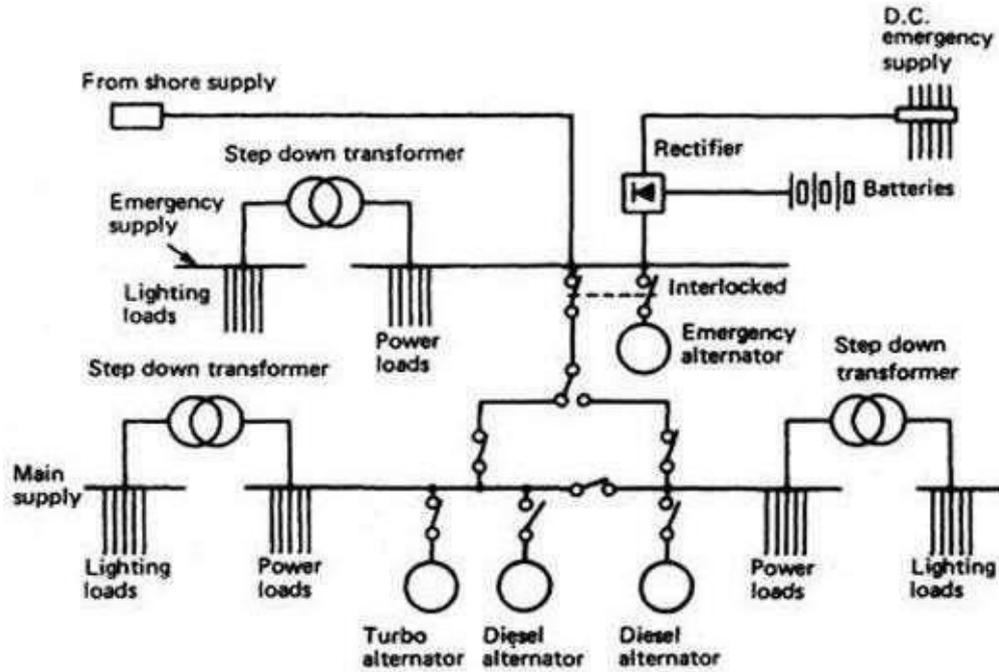
Diversity factor atau faktor kesamarataan adalah perbandingan antara jumlah kebutuhan daya intermitten yang beroperasi selama periode waktu tertentu dengan jumlah total kebutuhan daya listrik.

Dalam menentukan faktor kesamarataan, perlu mempertimbangkan beban tertinggi yang diharapkan terjadi pada waktu yang sama. Jika penentuan yang tepat tidak mungkin, faktor kesamaan waktu yang digunakan tidak boleh lebih kecil dari 0,5. Generator adalah alat yang menghasilkan energi listrik dengan memutar kumparan dalam medan magnet sehingga timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi.

Peralatan listrik diatas kapal memiliki karakter pembebanan yang spesifik dimana peralatan bekerja tidak pada waktu pemakaian yang teratur dan secara bersamaan. Adapun jenis pembebanan dalam operasional peralatan listrik diatas kapal dibagi menjadi :

- a. Beban kontinu (*Continous Load*) Ini merupakan peralatan yang dalam operasionalnya bekerja secara terus menerus pada kondisi pelayaran normal seperti, lampu-lampu navigasi, pompa bantu CPP, dll.
- b. Beban Terputus – putus (*Intermitten Load*) Peralatan yang dalam operasionalnya tidak bekerja secara kontinu dalam pelayaran normal, melainkan berkerja secara periodik. Misalnya, pompa transfer bahan bakar, pompa air tawar, dll. Faktor kesamarataan ini didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah dari kebutuhan daya intermitten yang beroperasi selama periode waktu tertentu dengan jumlah dari total kebutuhan daya listrik

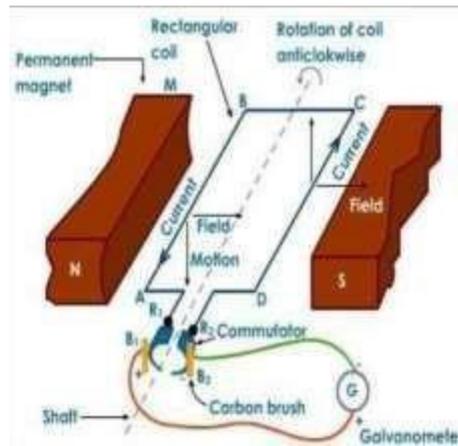
2.1.3 Distribusi sistem kelistrikan kapal



Gambar 2. 2 Sistem Distribusi Kelistrikan Kapal

Sumber : (Spada 2018 Sistem Kelistrikan Kapal Niaga, Ristekdikti: Jakarta)

2.1.4 Cara kerja generator DC



Gambar 2. 3 Cara Kerja Generator DC

Sumber : google.com(generator DC)

Terlihat pada gambar 2.3 cara kerja generator ialah melalui pergerakan pada medan magnet yang ada pada rotor terhadap kumparan tetap yang ada di stator, medan magnet tersebut dihasilkan dengan cara memberikan tegangan DC pada kumparan penguat medan yang ada pada rotor, generator listrik yang akan dihasilkan berupa arus listrik DC.

2.2 Klasifikasi Sistem Kelistrikan Kapal

Biro Klasifikasi Indonesia dalam rules, Vol. IV 2004 mengisyaratkan sekurangnya 2 agregat yang terpisah dari mesin penggerak utama harus disediakan untuk pemberian daya listrik. Daya keluaran generator cukup untuk menutupi kebutuhan daya dalam pelayaran ketika agregat rusak ataupun dihentikan (di-off-kan). Daya cadangan harus dimasukkan perhitungan untuk menutup kebutuhan daya pada puncak beban dalam waktuyang singkat, misalnya bila secara otomatis mengasut motor – motor besar. Apabila tidak ada petunjuk yang terperinci untuk menentukan persediaan daya yang cukup, daya keluaran dari generator yang sekurang- kurangnya diperlukan untuk pelayanan selama pelayaran harus 20% lebih besar dari kebutuhan daya yang ditetapkan dalam Electric Balance Day (Sakti & Nurhayati, 2020).

Jadi, dalam kelistrikan kapal ada peralatan yang sangat penting, penting, biasa, dan tidak penting dalam halnya klasifikasi dibedakan menjadi 4 bagian :

2.2.1 *Lighting Load* (Beban Penerangan)

Penerangan di dalam kapal merupakan penerangan yang sangat penting seperti penerangan di ruangan atau di lorong – lorong kapal. Agar penerangan tetap terjaga lampu sebagai sumber utama penerangan harus dijaga agar tidak mudah terpengaruh oleh gangguan seperti debu dan benda cair yang akan mengakibatkan pencahayaan akan berkurang sehingga mengganggu aktifitas yang sedang berjalan. Agar penerangan terhindar dari debu maka penerangan harus memiliki IP (indeks Proteksi) yang bisa melindungi pencahayaan dari bahaya debu maupun benda cair. maka dari pencahayaan harus memiliki Indeks proteksi IP 22 dengan lampu yang memiliki indeks IP 22 Lampu tahan dari debu dan tetesan air dari segala arah. (Akhmad Fajar Ubaidillah et al., 2022)



Gambar 2. 4 Lighting Load
Sumber : google.com(generator DC)

Kalau di dalam menggunakan lampu flurescent ip 22 kalau diluar kapal biasanya menggunakan lampu berupa flurescent ip 56 Untuk mencegah penerangan memasuki ruang peralatan penerangan dan mengganggu penerangan saat kapal dilanda badai laut, penerangan luar harus kedap air dan memiliki ketahanan yang sempurna terhadap debu. Lampu di luar kapal harus memiliki IP (Indeks Proteksi) yang dapat melindungi lampu dari gangguan arus agar aman dari debu dan air. Indeks Proteksi minimum IP 56 diperlukan untuk lampu. Oleh karena itu, lampu dengan indeks IP 56 dapat sepenuhnya kedap terhadap debu dan air badai yang datang dari semua sisi.



Gambar 2. 5 Lampu Flurescent Ip 56
Sumber : google.com

Beban penerangan atau beban yang dipakai untuk menerangi seluruh *deck* dan *engine room* yang berupa lampu biasa ataupun lampu darurat yang berada pada *gangway*, Lampu navigasi Lampu ini dipasang di berbagai bagian kapal untuk menunjukkan arah, posisi, dan jenis kapal pada malam hari. Dan lampu buritan, dan setiap kamar oficer maupun *engineer* beserta chef dan *sea man* dan ruang *meeting*, ruang kerja maupun ruang makan, dll. Seluruh nya yang membutuhkan penerangan.

2.2.2 Power load system

Power Load System. Sistem ini merupakan sistem yang berfungsi untuk menyuplai pemersinan kapal berupa *electric power source*. Sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu *engine room machinery (mechanical, pneumatic, hydraulic, pump, fan, dan heater)*, *hull/ deck machinery (crane, windlass, acc ladder dan winch)*, dan *galley, pantry, dan laundry*. (Nugraha et al., 2023)



Gambar 2. 6 Electro Motor Pada Booster Pump
Sumber : (Spada 2018 Sistem Kelistrikan Kapal Niaga, Ristekdikti: Jakarta)

Merupakan sistem dimana sistem yang menyuplai aliran listrik pada permesinan yang ada pada kapal dan dibagi menjadi 3 yaitu :

- Permesinan yang ada di *engine room* dan *deck* berupa ; *el mot pump, ME(Main Engine), sistem hydraulic, sistem pneumatic, heater, mechanical, fan, blower* dll .
- Yang paling banyak digunakan ialah *el mot pump* yang banyak berguna untuk sistem pengoperasian pada ME maupun boiler dan sistem *lubricant* .
- Permesinan /dek (*crane, windlass, acc.ladder, dan winch*). banyak juga di *deck* untuk mensuplai listrik untuk menggerakkan sistem *hydraulic* dari tangga maupun *windlass* maupun *crane*.

- Yang terakhir adanya untuk mensuplai ke *galley* (ada kompor listrik, oven, kulkas,
- *Freezer, exhaust fan), pantry, maupun laundry room* (mesin cuci dan pompa air).

2.2.3 Navigation, Communication and Safety Load System

Navigation, Communication and Safety Load System. Sistem ini merupakan pengaman penggunaan energi listrik untuk kebutuhan navigasi, komunikasi, dan keselamatan. Sistem ini terdiri dari lampu navigasi (*morse light, anchor light, mast head light, dan sidelight*), peralatan navigasi (RADAR, Gyro Compass, Echo Sounder, GPS, dan NavTex), AIS (Automatic Identification System), dan komunikasi (INMARSAT-B, INMARSAT-C, public addressor dan intercom). (Nugraha et al., 2023)

Jadi selanjutnya, listrik yang disuplai ke sistem navigasi dan sistem darurat keselamatan seperti *general alarm* dan *fire alarm* beserta *water mist* dengan sensor yang ada di deck maupun engine room di segala ruangan yang membutuhkan safety sistem bila terjadi kebakaran berlangsung ataupun kegagalan sistem yang terjadi akibat human eror ataupun mesin, beberapa peralatan navigasi dan keselamatan dibagi menjadi 4 yaitu :

- (1) Lampu navigasi (*morse, anchor light, mast head light, dan side light*) yang berguna untuk memberikan indikasi pada kapal lain atau perlabuhan *station* agar tidak terjadi kecelakaan dan kapal dapat di deskripsikan oleh lampu yang dipasang .
- (2) Peralatan navigasi (RADAR, Gyro Compass, Echo Sounder, GPS, dan NavTex), AIS (Automatic Identification System) beberapa untuk mendeteksi kapal dan hewan laut maupun benda besar pulau yang dapat menghalangi lajunya kapal dan alat komunikasi .
- (3) (INMARSAT-B, INMARSAT-C, public addressor dan intercom) untuk alamat kordinasi ataupun posisi kapal.

- (4) General alarm untuk memberikan indikasi alarm untuk kebakaran maupun ada kegagalan sistem yang terjadi .



Gambar 2. 7 *Navigation, Communication and Safety Load System*
Sumber : (Spada 2018 Sistem Kelistrikan Kapal Niaga, Ristekdikti: Jakarta)

2.2.4 Emergency Source System

Emergency Source System. Sistem ini dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan yang bersifat darurat di atas kapal.(Nugraha et al., 2023) Merupakan beban untuk kepentingan darurat diatas kapal sama halnya seperti sistem *water mist* maupun *smoke* maupun *fire dectetion* yang ada di seluruh bagian deck maupun *engine room*, dan ada 4 listrik yang harus disuplai oleh *emergency generator* yang sangat darurat yaitu :

1. Menggunakan baterai sebagai sumber tenaga tegangan kerja sesuai dengan pedoman yang terdapat pada ruangan *Emergency Source of Electrical Power (ESEP)*.
2. Generator darurat menyediakan perlengkapan sebagai berikut: sistem navigasi, kompresor, perangkat kemudi darurat, dll.
3. Setiap perlengkapan keselamatan, komunikasi, dan navigasi yang menggunakan arus searah (DC).
4. Semua lampu darurat, misalnya lampu gang dan lampu ruangan.
5. Pada rute kapal yang terpanjang, kapasitas baterai harus cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik kapal paling sedikit setengah perjalanan.

2.3 Beban Listrik

Beban listrik adalah segala sesuatu yang ditanggung oleh pembangkit listrik atau segala yang membutuhkan tenaga listrik. Pemilihan beban listrik akan mempengaruhi pemakaian listrik. Pada kehidupan sehari-hari beban listrik mencakup peralatan listrik seperti lampu, televisi, kulkas, setrika, AC, kipas angin, 9 7 dll. Beban listrik dikenal sebagai hambatan atau resistan pada suatu rangkaian listrik, yang mempunyai hubungan dengan tegangan dan arus listrik seperti yang disebutkan pada hukum ohm. Dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan, karena dapat menghalangi aliran arus (Fajar, G.S., 2010).

Beban listrik (*Load*) merupakan total daya aktif dan/atau reaktif yang dikonsumsi oleh suatu peralatan yang terkoneksi ke sistem daya. Pada beban seimbang jumlah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit tiga fasa diperoleh dengan menjumlahkan daya tiap-tiap fasa. Pada sistem yang seimbang, daya total sama dengan daya tiga kali fasa dengan perbedaan sudut antara tiap fasa yaitu 120° .

Dalam suatu rangkaian listrik selalu terdapat sumber dan beban. Bila sumber daya DC, maka sifat bebannya adalah resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan bernilai nol yang berarti induktor akan mengalami hubung singkat. Reaktansi kapasitif (X_C) akan bernilai tak terhingga yang berarti kapasitif akan mengalami rangkaian terbuka (Pasaribu, 2018), (Putri & Pasaribu, 2018). Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber daya AC bebannya dibagi menjadi 3 sebagai berikut:

Keadaan seperti itu. R adalah singkatan dari resistansi, sedangkan Ohm (Ω) adalah satuannya. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menyatakan hukum Ohm secara matematis.

$$\begin{aligned} I &= V/R \dots\dots\dots 1 \\ R &= V/I \dots\dots\dots 2 \\ V &= I \times R \dots\dots\dots 3 \end{aligned}$$

Ket :

I = Arus dalam satuan Ampere (A) V

= Tegangan dalam satuan Volt (V)

R = Hambatan dalam satuan Ohm (Ω)

2.3.1 Karakteristik beban listrik

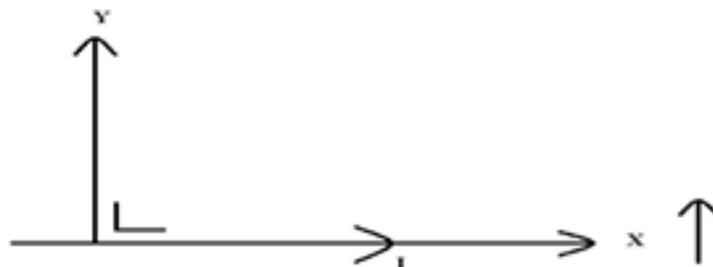
Untuk beban listrik sendiri terdapat 3 jenis karakteristik yang dapat dibedakan, Karakteristik beban listrik dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

2.3.1.1 Beban resistif

Beban resistif dihasilkan oleh perangkat listrik dan memiliki sifat tahanan (resistor) yang banyak digunakan pada peralatan listrik seperti *rice cooker*, *solder*, komponen pemanas dan lampu pijar. Resistor memblokir arah elektron yang melewatinya, sehingga membawa perubahan energi listrik menjadi panas. Dengan sifat seperti itu, resistor tidak akan mengubah sifat listrik AC yang melewatinya. Beban resistif tidak mempengaruhi gelombang tegangan dan arus sehingga posisi gelombang tegangan dan arus tetap sefase. (Abdussamad, 2022)

Hanya komponen ohm (resistansi) yang menyusun beban ini. Ide di balik perangkat listrik yang merupakan bagian dari beban resistif adalah bahwa perangkat tersebut berfungsi dengan menghalangi aliran listrik yang melaluinya, yang menyebabkan perangkat listrik menghasilkan panas. Lampu pijar dan komponen pemanas adalah contoh beban resistif. Beban resistif memiliki faktor daya satu dan hanya menggunakan beban aktif. Rumus berikut dapat digunakan untuk memformulasikan secara matematis beban resistif.

Beban resistif yang merupakan resistor murni, contohnya: lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan sama sekali tidak menyerap daya reaktif. Tegangan listrik pada resistansi murni tersebut sefase dengan arus listrik yang mendahuluinya. Dan secara vektor hubungan antara arus dan tegangan dapat digambarkan seperti pada Gambar. (Pasaribu et al., 2021)



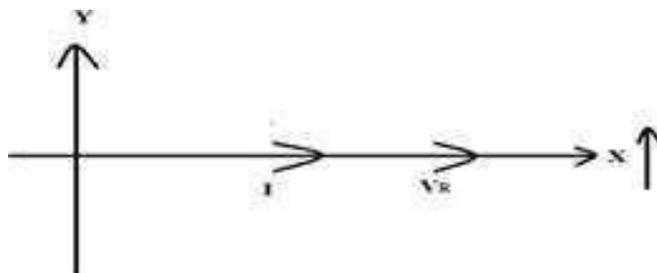
Gambar 2. 8 tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh resistif
Sumber : (Pasaribu et al., 2021)

2.3.1.2 Beban induktif

Umumnya beban di suatu industri kebanyakan bersifat induktif yang mempunyai faktor daya rendah sehingga menyebabkan daya reaktif meningkat dan menyebabkan arus bebanyang tinggi sehingga perlu adanya suatu peralatan untuk mengatasi hal tersebut. (Fauzan, F. Danang Wijaya, 2010)

Beban seperti kumparan, transformator, atau solenoida terdiri dari kumparan kawat yang melingkari inti. Pergeseran fasa pada arus yang menyebabkannya tertinggal 90° dari tegangan dapat disebabkan oleh beban induktif. Hal ini terjadi ketika arus fasa bergeser untuk tertinggal dari tegangan karena energi yang tersimpan dalam bentuk medan magnet. Daya diserap oleh beban induktif, baik yang aktif maupun yang reaktif. Lampu hemat energi, motor listrik, dan peralatan las listrik adalah beberapa contoh beban induktif dalam kehidupan sehari-hari.

Beban induktif adalah beban yang berisi kumparan kawat yang dililitkan di sekitar inti, biasanya inti besi, misalnya: motor listrik, induktor, dan transformator. Pada beban induktif, arus i tertinggal 90° terhadap tegangan V_L , dan digambarkan secara vektor pada Gambar . (Pasaribu et al., 2021)



Gambar 2. 9 tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh induktif
Sumber : (Pasaribu et al., 2021)

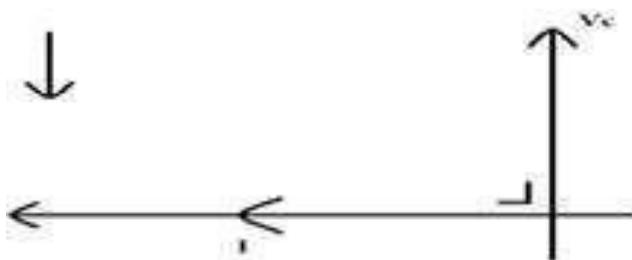
2.3.1.3 Beban kapasitif

Beban seimbang memiliki daya total yang setara dengan tiga kali daya per fase, karena setiap fase memiliki daya yang sama. Sebaliknya, dalam sistem tidak seimbang, daya pada tiap fase memiliki nilai yang berbeda. Dalam rangkaian arus bolak-balik (AC), beban kapasitif dan induktif memiliki dampak pada rangkaian, sehingga komponen-komponen beban terdiri dari beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif, kapasitif, dan induktif memiliki karakteristik yang berbeda. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan menghasilkan daya

reaktif, dan biasanya melibatkan komponen kapasitor sebagai komponen pasifnya [5]. Beban kapasitif. (Widyasmara et al., 2024)

Beban kapasitif adalah beban yang dapat menyimpan energi dari pengisian daya listrik (juga dikenal sebagai pelepasan daya listrik) dalam rangkaian listrik. Karena itu, arus dapat mendahului tegangan. Daya reaktif dilepaskan dan daya aktif diserap oleh beban kapasitif. Kapasitor dan kondensator adalah contoh perangkat listrik yang termasuk dalam kategori beban kapasitif.

Beban kapasitif adalah beban yang berisi serangkaian kapasitor. Beban ini memiliki faktor daya antara 0-1 "leading". Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan menghasilkan daya reaktif (kVAR). Arus i mendahului tegangan sebesar 90° terhadap V_C . (Pasaribu et al., 2021).



Gambar 2. 10 tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh capasitif
 Sumber : (Pasaribu et al., 2021)

2.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt.

Di mana $1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/detik}$. $P=E/t$ (1)

Keterangan :

P = Daya Listrik

E = Energi dengan satuan joule

t = waktu dengan satuan detik (Setiaji et al., 2022)

Secara tidak langsung daya listrik merupakan Ada tiga bentuk daya yang berbeda dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik (AC): daya semu, daya reaktif, dan daya

aktif. Segitiga kekuasaan menggambarkan hubungan antara ketiga bentuk :



*Gambar 2. 11 Sumber Daya
Sumber : Google.com*

2.4.1 Daya aktif

Daya nyata atau daya aktif (Watt) Daya nyata merupakan daya sebenarnya yang dibutuhkan beban dan biasanya daya aktif nilainya lebih rendah dibandingkan dengan daya semu. Daya Aktif dihasilkan dari hasil perkalian Daya Semu dengan Faktor Daya (Cosphi). Daya aktif akan mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif.

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

P =Daya Aktif

V = Tegangan

I = Arus Listrik

Cos ϕ = Faktor Daya (Setiaji et al., 2022)

Daya aktif yang dikeluarkan oleh generator juga penting dihitung untuk menunjang kualitas generator yang maksimal agar tidak ada terjadinya gangguan yang tidak diinginkan dan juga agar konsumsi beban yang optimal saat terjadinya *black out* di kapal dan sistem serta loistrik ynag dihasilkan setiap saat terjaga kualitasnya dan beban pun mengkonsumsi energi daya ini lebih efektif.

2.4.2 Daya Semu

Daya Semu merupakan daya yang dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan bebanbeban listrik. Satuan daya nyata adalah VA (Volt.ampere). beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R). Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik memiliki nilai faktor daya adalah

$$S = V \times I \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

S = Daya semu

V = Tegangan

I = Arus (Setiaji et al., 2022)

Daya semu merupakan hasil trigonometri dari nilai daya aktif dan daya reaktif dan daya semua juga merupakan daya yang di konsumsi oleh beban jadi dengan menghitungnya juga kita bisa tahu nilai beban yang dihasilkan optimal dan bila ada terjadi gangguan dalam daya aktif maupun reaktif tentu itu juga akan mempengaruhi dari nilai semu tersebut.

2.4.3 Daya reaktif

Daya reaktif (VAR) Daya Reaktif merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya kerugiankerugian daya, sehingga daya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai factor daya (Cosphi). Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt. Amper Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

Q = Daya reaktif

S = Daya semu

P = Daya Aktif (Setiaji et al., 2022)

Daya reaktif yang merupakan termasuk dari segi tiga daya yang dimanfaatkan energinya oleh beban dan demi menghasilkan energi yang optimal kita juga perlu menghitung setiap jamnya daya reaktif yang kita keluarkan oleh

generator tersebut.

2.5 Faktor daya

Pahami Faktor Daya Sudut fasa adalah perbedaan fasa antara arus dan tegangan, dan cosinus sudut fasa adalah perbedaan fasa. ($\cos\phi$) adalah faktor daya. Faktor daya (Power Factor = PF) adalah faktor penting yang menunjukkan seberapa efektif sebuah beban melakukan fungsinya sehubungan dengan disipasi daya. Faktor daya didefinisikan sebagai: $PF=P/S$ Jadi, faktor pendorong Perbandingan daya nyata P (Watt) dan daya tampak S (VA) disebut PF. Cosinus sudut antara daya aktif dan daya tampak digambarkan sebagai PF pada diagram daya. Faktor daya dapat diuraikan sebagai :

$$\text{Jadi, } R = \frac{P}{vI} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Volt Ampere}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Atau, } R = \frac{P}{S} = \frac{S\omega OS\phi}{s} \dots\dots\dots (2)$$

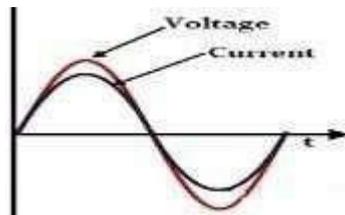
$$PF = \text{Cos } \phi \text{ (Wibowo et al., 2023)}$$

Sudut ϕ adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif P dan daya tampak S, sedangkan daya reaktif Q tegak lurus terhadap daya aktif P. Efisiensi daya yang lebih adalah ketika P sama atau mendekati S, yaitu ketika $\cos\phi = 1$ atau mendekati 1. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi, oleh karena itu dalam perbaikan PF diperlukan keseimbangan antara sifat kapasitif dan induktif dalam rangkaian (Dani, 2018).

Jadi faktor daya itu sangat penting untuk emergency generator biasanya yang diizinkan oleh pln $\cos \phi$ 0,85 ,tidak boleh kurang dari 0,85 daya reaktif dikarenakan dapat mempengaruhi performa dari emergency generator itu sendiri agar beban yang di hasilkan tidak mengalami daya yang kurang yang berakibat fatal pada pemakaian beban jadi salah satu tindakan yang harus dilakukan dengan memasang capasitor bank. Faktor daya menjadi tiga bagian yaitu :

2.5.1 Faktor Daya *Unity*

Faktor daya *unity* merupakan keadaan ketika nilai $\cos \varphi$ adalah satu dan tegangan sefasa dengan arus. Faktor daya *unity* akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni. (Farhany, 2016).

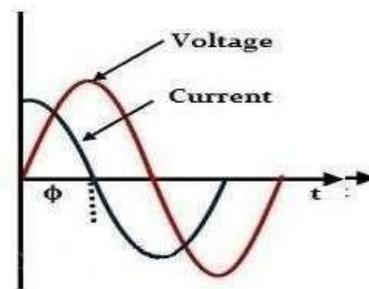


Gambar 2. 12 Gelombang Faktor Daya *Unity*
Sumber : (Purwadi, 2019)

Dan ketika gelombang tegangan dan arus sama atau selaras itu dinamakan daya *unity* dan daya yang stabil tegangan dan arus yang stabil membentuk gelombang sinusoidal.

2.5.2 Faktor Daya *Leading*

Faktor daya mendahului, juga dikenal sebagai „*leading*“, adalah keadaan faktor daya ketika kondisi beban atau peralatan listrik memberikan daya reaktif kapasitif dari beban. Kondisi kondisi fase arus mendahului fase tegangan sebesar sudut φ , dan faktor daya ini disebut "mendahului" (Farhany, 2016).

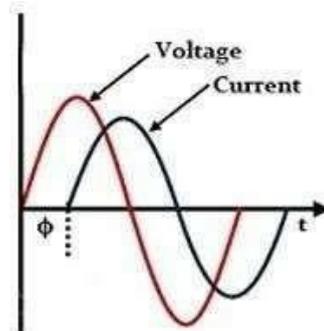


Gambar 2. 13 Gelombang Faktor Daya *Leading*
Sumber : (Purwadi, 2019)

Leading yang berarti mendahului yaitu merupakan gelombang arus mendahului tegangan di mana kondisi beban memberikan daya reaktif pada sistem atau beban bersifat kapasitif .

2.5.3 Faktor Daya *Lagging*

Saat kondisi beban atau perlatan listrik membutuhkan daya reaktif sistem atau beban bersifat induktif, faktor daya disebut „*lagging*“. Dalam keadaan ini, fase tegangan mendahului arus sebesar sudut ϕ . Farhany (2016)



Gambar 2. 14 Gelombang Faktor Daya *Lagging*
Sumber : (Purwadi, 2019)

Faktor daya *lagging* merupakan beban yang bersifat induktif dimana fase gelombang tegangan mendahului arus yang membentuk sudut ϕ dengan waktu ditetapkan.

2.6 Frekuensi

Tegangan dan arus listrik bolak-balik sinusoidal digunakan dalam sistem kelistrikan. Karena mereka adalah gelombang berulang, gelombang sinusoidal memiliki frekuensi. Jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu tertentu disebut frekuensi. (Zein, 2022).

Satuan yang digunakan untuk menunjukkan frekuensi disebut hertz (Hz), dan nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz adalah nama orang yang pertama kali menemukan fenomena ini. Frekuensi sebesar Hz menunjukkan peristiwa yang terjadi satu kali per detik, di mana frekuensi (f) adalah hasil kebalikan dari periode (T). Persamaan tersebut menunjukkan bahwa $f=1/T$. Keterangan : F adalah frekuensi (Hz) dan T adalah periode (detik).

Frekuensi unik untuk setiap negara. Misalnya, Amerika Serikat memiliki frekuensi 60 Hz, sedangkan Indonesia memiliki 50 Hz. Dan juga kalau diatas kapal ada yang menggunakan 50hz yang cenderung di 220v dan penggunaan 60hz ada di 110v dan tergantung kegunaannya.

Lalu juga frekuensi sangat berpengaruh pada pemakaian beban contohnya sebuah elmot yang memerlukan frekuensi 60hz dan tegangan berupa 440v lalu elmot running start awal yang stabil tapi kemudian selang beberapa menit pasokan beban dari emergency generator frekuensinya tidak stabil dan turun di 58hz maka elmot yang tadinya bagus menjadi cepat panas pada bagian rotornya dan bisa terjadinya kenaikan suhu yang tidak wajar dan bisa merusak belitan pada motor tersebut.

Dan juga diatas kapal tugboat lebih banyak menggunakan 60hz atapun 110v untuk stop kontak dikapal dan juga untuk beberapa elmot saja dan bila membutuhkan 220v biasanya kapal memiliki transformator sendiri untuk menaikkan frekuensi dan tegangan ke 220v untuk kebutuhan sehari-hari dikapal.

Frekuensi juga dapat di atur lewat AVR (*Automatic Voltage Regulation*) pada *emergency generator* yang cara kerja yaitu, Mengidentifikasi tegangan dan arus dari output generator, mengubah level tegangan yang berubah menjadi level tegangan yang konstan, dan menyesuaikan tegangan atau *voltage* terhadap genset jika terjadi perubahan beban yang tidak terduga.

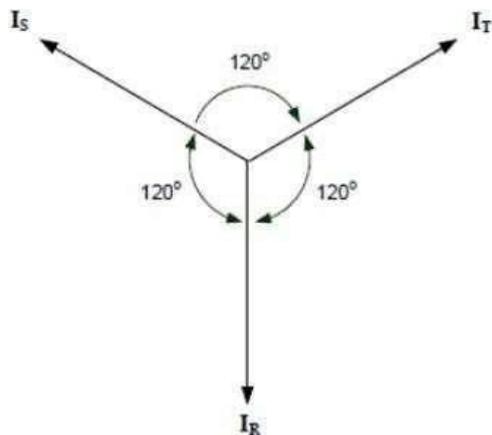
2.7 Ketidak seimbangan Beban

Dengan pertumbuhan ekonomi dan kemajuan teknologi, kebutuhan listrik Indonesia terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan ini, terjadi pembagian beban yang pada awalnya merata menjadi tidak seimbang karena perbedaan waktu pemakaian.

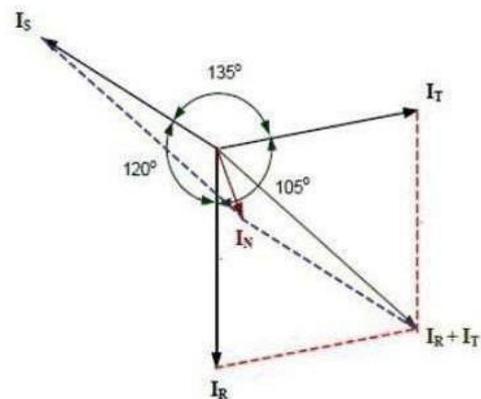
[1]. Untuk menjaga stabilitas beban tersebut, analisis pembebanan diperlukan. Analisis pembebanan dilakukan untuk menemukan ketidakseimbangan beban antar fasa (R, S, T) yang menyebabkan arus mengalir ke netral trafo.

[2]. Jika arus netral mengalir melalui netral trafo, itu dapat menyebabkan kehilangan dua bagian: kehilangan arus netral yang mengalir ke tanah dan kehilangan arus netral pada penghantar netral trafo. Akibat beban yang tidak seimbang, proses pemerataan beban yang ada saat ini sangat sulit untuk dilakukan secara konsisten dan berkala. Karena itu, gangguan pembatas arus (NH-Fuse) yang tinggi dapat menyebabkan pemadaman aliran listrik.(Ginting et al., 2022).

Dalam keadaan ideal, transformator tiga fasa akan memiliki nilai yang sama untuk setiap fasanya, dengan satu-satunya perbedaan sudut 120° . Namun, keadaan ideal ini sangat sulit untuk diterapkan karena fasa sekunder transformator akan menyalurkan daya untuk setiap fasa dengan beban yang berbeda, menyebabkan beban tidak seimbang pada setiap fasa transformator. Arus netral akan muncul sebagai hasil dari ketidakseimbangan fasa ini



Gambar 2. 16 Vektor beban seimbang
 Sumber : (Anwar, 2021)



Gambar 2. 15 Vektor beban tidak seimbang
 Sumber : (Anwar, 2021)

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. (Sentosa Setiadji et al., 2008) Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain

Jadi, kalau ketiga syarat dia atas tidak terpenuhi maka sistem itu dapat di analisa untuk pembebanan trafonya apakah trafo tersebut bekerja optimal dalam beban puncak ataupun beban normal.

Tabel 2. 1 Standar ketidakseimbangan beban dan tegangan (IEE Std 446-1987)

<i>Parameters</i>	<i>Range or Maxium</i>
1) <i>3φ, Phase Voltage Unbalance</i>	2.5 to 5%
2) <i>3φ, Load Unabalance</i>	5 to 20% maximum for anyone phase

Ketidakseimbangan tegangan (*Voltage Imbalance* atau *Unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem tiga fasa tegangan atau arus listrik, dibagi dengan nilai rata-rata tegangan tiga fasa atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam persen.

Berdasarkan standar (IEEE Std 446-1987) Besarnya ketidakseimbangan tegangan pada sumber utama tidak boleh lebih dari 2,5%. Nilai kritis dari keadaan ketidakseimbangan tegangan adalah jika nilai persentase perbandingannya melebihi 5%, hal ini biasanya terjadi karena terputusnya salah satu fasa dari sistem tenaga listrik tiga fasa.

Menurut (Fahrurozi et al., 2014; Ridwan et al., 2015) dalam menghitung persentase pembagian beban menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

- a) Untuk menentukan rata-rata persentase pembebanan, maka terlebih dahulu menghitung persentase pembebanan perfasanya, dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\%b = \frac{I_{p-}}{IFL} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Jadi untuk menentukan rata-rata persentase pembebanan adalah:

$$\%b = \frac{\%bR + \%bS + \%bT}{3} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Dimana: %b = Persentase pembebanan pada setiap fasa IPh = Arus yang mengalir pada masing-masing fasa IFL = Arus beban penuh pada generator listrik (Full Load).

- b) Dalam mencari nilai ketidak seimbangan pembagian beban pada instalasi listrik tiga phasa perlu diketahui dulu nilai rata-rata arus tiga phasa pada instalasi tersebut dan nilai koefisien ketidak seimbangan pada masing-masing fasanya. Untuk

menentukan besarnya arus rata-rata menggunakan persamaan berikut (Demeianto, 2019; Demeianto et al., 2020):

$$I \text{ Rata - Rata} = \frac{IR \pm IS \pm IT}{3} \dots\dots\dots(3)$$

Besarnya nilai arus listrik ketika keadaan seimbang pada setiap phasa nilainya sama dengan besarnya nilai arus listrik rata-rata.

$$IR = a. I \text{ dimana } a = \frac{IR}{I \text{ Rata-Rata}} \dots\dots\dots(4)$$

$$IS = b. I \text{ dimana } b = \frac{IS}{I \text{ Rata-Rata}} \dots\dots\dots(5)$$

$$IT = c. I \text{ dimana } c = \frac{IT}{I \text{ Rata-Rata}} \dots\dots\dots(6)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1. Sehingga dengan demikian, rata – rata ketidakseimbangan beban (dalam%) yaitu:

$$\%TS = \frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Dimana, %TS = Persentase rata-rata ketidakseimbangan beban.

Perhitungan nilai daya listrik dapat ditentukan melalui hasil perkalian antara nilai tegangan dan arus listrik yang didapatkan dari hasil pengukuran pada panel induk KM. Sumber Rezeki. Pada listrik arus bolak-balik (arus AC), terdapat 3 jenis daya listrik yaitu daya semu (S), daya aktif (P), dan daya reaktif (Q) yang ketiganya membentuk suatu segitiga daya. Pencarian nilai daya listrik khususnya daya semu diperlukan untuk kemudian dipergunakan dalam mencari nilai efisiensi generator, dimana nilai efisiensi generator didapatkan dengan membandingkan nilai daya semu hasil perhitungan dengan kapasitas daya dari generator pada KM. Sumber Rezeki. (Luo et al., 2005; Weedy et al., 2015)

$$Efisiensi = \frac{Power \text{ Output}}{Power \text{ Input}} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

Arus penghantar netral dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada penghantar netral dalam sistem distribusi tegangan rendah tiga phasa empat kawat. Arus netral ini terjadi ketika:

- a). Kondisi beban tidakseimbang, dan
- b). Karena adanya arus harmonisa akibat beban non-linear. Arus yang mengalir dalam

penghantar netral, yang merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat, adalah jumlah vektor dari arus tiga fasa dalam komponen simetris. Untuk arus tiga fasa dari sistem yang tidak seimbang, dapat juga diselesaikan dengan menggunakan metode komponen simetris. Menurut (Ginting et al., 2022) Menggunakan notasi yang sama seperti untuk tegangan, mendapatkan persamaan berikut untuk arus fasa :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \dots\dots\dots(9)$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \dots\dots\dots(10)$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \dots\dots\dots(11)$$

Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini, jumlah arus utama sama dengan penghantar netral yang mengalir kembali melalui penghantar netral, yaitu menjadi :

$$I_N = I_a + I_b + I_c \dots\dots\dots(12)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan maka diperoleh :

$$I_N = 3I_0 \dots\dots\dots(13)$$

Arus yang mengalir melalui kabel netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi (*losses*). Rugi-rugi dari penghantar netral dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{N=I}^2 = R_N \dots\dots\dots(14)$$

Arus beban penuh dari sisi daya tegangan tinggi pada transformator distribusi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(15)$$

Mendapatkan perhitungan arus beban penuh (*full load*), maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(16)$$

Maka untuk menghitung persentase pembebanan ialah sebagai berikut :

$$\%b = \frac{I_p}{FL} \dots\dots\dots(17)$$

A. Rugi Histeresis

Rugi-rugi besi terdiri dari rugi histeresis dan rugi eddy. Rugi histeresis karena fluks bolak-balik di inti besi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = K \times f \times Bm^2 \dots\dots\dots (18)$$

B. Rugi – Rugi Arus Eddy

Sementara itu, rugi-rugi arus eddy akibat arus eddy pada inti besi diberikan sebagai berikut:

$$p^e = K_e \times f^2 \times Bm^2 \dots\dots\dots (19)$$

C. Rugi – Rugi Tembaga (PCU)

Nilai rugi-rugi tembaga (PCU) berubah secara konstan, hal ini dipengaruhi oleh arus beban yang mengalir pada tahanan transformator. Besarnya arus beban ini tergantung pada beban yang dioperasikan oleh transformator, oleh karena itu rugi-rugi tembaga (Pcu) adalah :

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} = (I_1^2 \times R_1) + (I_2^2 \times R_2) \dots\dots\dots (20)$$

Perbandingan antara daya *output* dengan dengan daya input ialah efisiensi transformator. Menurut (Ginting et al., 2022) Secara sistematis ditulis sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out+Rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (21)$$

2.8 Kestabilan Tenaga Listrik

Kemampuan sistem tenaga listrik untuk menjaga keadaan sistem tetap sinkron dan seimbang saat terjadi gangguan disebut kestabilan sistem tenaga listrik. Dua jenis gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah :

1. Gangguan Kecil: Ini adalah gangguan yang menyebabkan perubahan pembebanan pada pembangkit karena permintaan beban yang sangat berubah.
2. Gangguan Besar: Sebuah gangguan besar adalah perubahan nilai yang signifikan pada sistem tenaga listrik yang terjadi secara mendadak, yang dapat mengganggu kestabilan sistem dan mengganggu kinerja generator. Agar sistem tidak terganggu, masalah ini tidak boleh dibiarkan terlalu lama. Masalah kestabilan sistem listrik dapat disebabkan oleh kerusakan sistem.

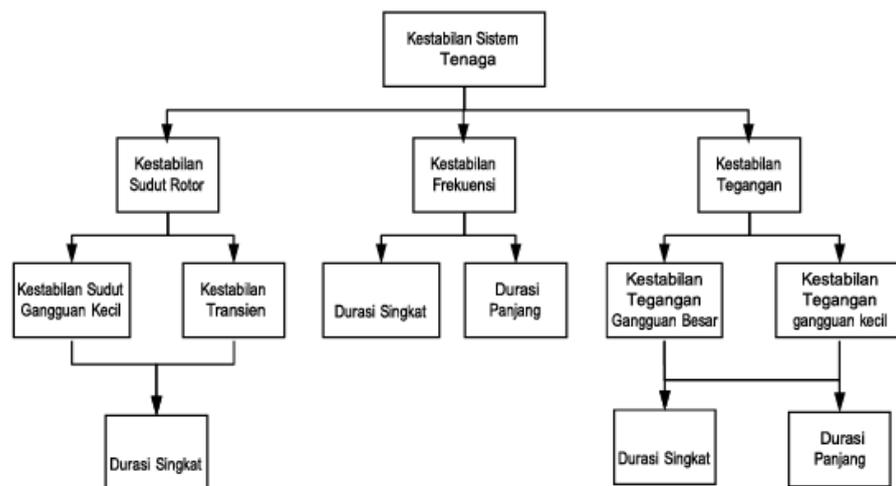
Pertimbangan kestabilan tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu :

1. Kestabilan Keadaan Tetap (*Steady State Stability*)

2. Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)
3. Kestabilan Transien (*Transient Stability*)

Kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori (Murthy, P.S.R, 2007):

1. Kestabilan Sudut Rotor
2. Kestabilan Frekuensi
3. Kestabilan Tegangan



Gambar 2. 17 Klasifikasi Stabilitas Sistem tenaga
 Sumber : (Murthy, P.S.R., 2007)

2.8.1 Kestabilan *Steady State*

Kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap stabil saat terjadi gangguan kecil yang terjadi berulang kali disebut kestabilan *steady state*. Generator sangat bergantung pada torsi elektromagnetik dan torsi mekanik untuk menjaga kestabilannya. Sementara torsi mekanik dipengaruhi oleh pengaturan putaran turbin yang diatur oleh gubernor, torsi elektromagnetik dipengaruhi oleh pengaturan tegangan pada generator AVR. Beralihnya titik operasi pembangkit dari area aman ke area kritis sebagai akibat dari perubahan sistem yang terjadi secara perlahan namun konsisten merupakan salah satu masalah kestabilan *generator steady state* (Rusilawati, 2015).

Kondisi dimana sistem yang mampu memiliki pencegahan terhadap gangguan dari luar maupun dalam sistem dan dapat mengatasinya sendiri atau *automatically* untuk menstabilkan gangguan yang terjadi pada sistem yang salah

satu komponen yang penting dalam kestabilan *steady state*.

2.8.2 Kestabilan Dinamis

Kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama, atau periode stabilitas transien, hingga sistem mencapai kondisi keseimbangan *steady-state* baru dikenal sebagai stabilitas dinamis. Analisa kestabilan dinamis lebih sulit karena menghitung komponen kontrol otomatis. (Priawan, A.R., 2015).

Jadi, kestabilan dinamis merupakan kemampuan suatu sistem untuk mencegah suatu ketidak stabilan suatu sistem dari gangguan yang ada yang menggunakan sistem kontrol dengan nilai-nilai yang rumit yang dikontrol sedemikian rupa untuk mencegah gangguan tersebut.

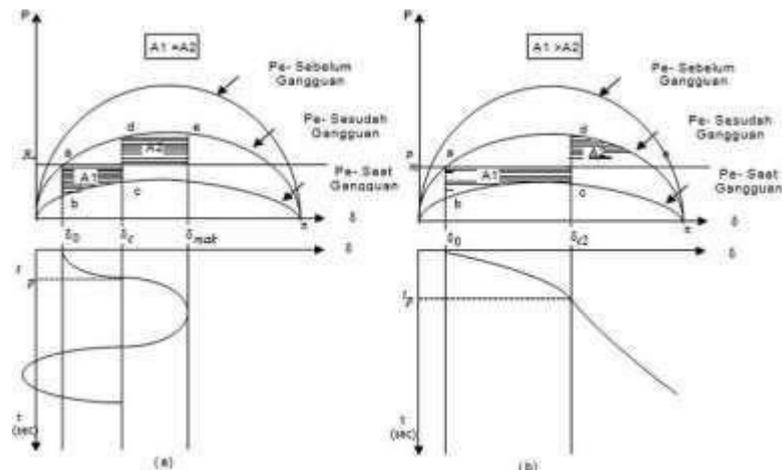
2.8.3 Kestabilan Transient

Kestabilan transient didefinisikan sebagai kemampuan sistem daya untuk kembali sinkron setelah gangguan yang signifikan. Oleh karena itu, efek gangguan-gangguan yang besar dikaitkan dengan penelitian stabilitas transien 9–13. Studi kestabilan transien, selain melihat kondisi kestabilan sistem, juga bertujuan untuk menentukan waktu pemutusan kritis atau batas maksimum gangguan dihilangkan. Kestabilan ayunan pertama (*First Swing*) dan ayunan majemuk (*Multiswing*) adalah dua komponen studi kestabilan transien (Aprilia dkk, 2015).

Kestabilan ayunan pertama generator dimodelkan secara sederhana tanpa sistem pengaturannya. interval waktu yang dipelajari adalah detik pertama setelah gangguan terjadi pada sistem. Jika semua generator sistem tetap dalam keadaan serempak sebelum berakhirnya detik pertama, sistem dianggap stabil. Namun, selama bertahun-tahun, studi kestabilan biasanya menggunakan waktu 2 hingga 3 detik untuk menunjukkan bentuk kurva ayunan sudut rotor (Kundur, P., 1994). Batas kestabilan terdiri dari dua hal:

1. Batas daya maksimum yang masih dapat disalurkan tanpa kehilangan kesinkronan sistem setelah terjadi gangguan. Batas ini terkait dengan batas tenaga maksimum yang dapat disalurkan dengan jaminan kestabilan akan tetap terjaga ketika terjadi gangguan.

2. Waktu pemutusan kritis, juga dikenal sebagai waktu pemutusan kritis



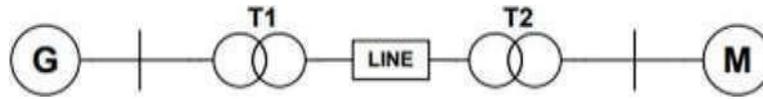
Gambar 2. 18 (a) contoh analisis ayunan pertama untuk sistem stabil,
 (b) contoh analisis ayunan pertama untuk sistem tidak stabil.
 Sumber : (Kundur, P., 1994 : 834)

2.8.4 Kestabilan Sudut Rotor (Rotor Angle Stability)

Kemampuan beberapa mesin sinkron yang terhubung pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi agar tetap sinkron setelah terjadi gangguan pada sistem dikenal sebagai kestabilan sudut rotor. Kemampuan mesin sinkron untuk mempertahankan kestabilan dipengaruhi oleh kemampuan masing-masing mesin sinkron untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik. Ketidakstabilan dapat menyebabkan perubahan kecepatan sudut rotor yang signifikan, yang dapat menyebabkan kehilangan sinkronisasi generator (Kundur, P., 1994).

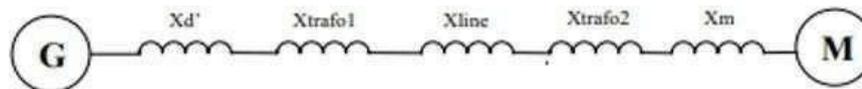
Perbedaan sudut ini dapat terjadi karena adanya gangguan yang terjadi pada sistem. Berdasarkan gangguan yang terjadi pada sistem, kestabilan sudut rotor dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu (Kundur, P., 1994) :

1. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil atau dapat disebut dengan kestabilan steady state. Gangguan kecil yang sering terjadi dikarenakan perubahan beban secara bertahap dan terus menerus.
2. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar atau dapat disebut kestabilan transient. Gangguan besar yang terjadi biasanya disebabkan karena adanya hubung singkat pada sistem. Salah satu karakteristik terpenting dalam kestabilan sistem tenaga listrik adalah hubungan antara perubahan daya dan posisi rotor pada mesin sinkron.



Gambar 2. 19 Single line Diagram Generator dan Motor
 Sumber : (Kundur. P., 1994)

Gambar diatas merupakan *Single Line Diagram* generator dan motor yang terhubung oleh line transmisi pada suatu jarak tertentu. Line transmisi memiliki nilai resistansi dan reaktansi yang bergantung dari panjang line transmisi yang digunakan. Semakin panjang line transmisi maka akan menghasilkan line charging yang semakin besar sehingga nilai reaktansinya semakin dominan. Dalam proses penggambaran diagram impedansi dari saluran transmisi hanya nilai reaktansi yang digambarkan karena nilai resistansinya yang kecil. X_L adalah reaktansi induktif yang diperhitungkan pada reaktansi line transmisi dari kasus ini. Simbol G mewakili generator, sedangkan simbol M mewakili motor sinkron. Baik generator dan motor memiliki nilai impedansi yang berbeda-beda (X_G dan X_M). Trafo juga memiliki nilai impedansi yang berbeda-beda bergantung pada nilai kapasitas trafo itu sendiri.



Gambar 2. 20 Diagram Impedansi Generator dan Motor
 Sumber : (Kundur. P., 1994)

2.8.5 Kestabilan Tegangan (*Voltage Stability*)

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem untuk menjaga tegangan pada setiap bus tetap stabil saat terjadi gangguan pada sistem. Sistem tidak stabil dapat menyebabkan turun atau naiknya tegangan pada beberapa bus, atau bahkan kegagalan tegangan dapat menyebabkan beban lepas atau transmisi lepas. Tidak sinkronnya generator dapat disebabkan oleh pelepasan atau kondisi arus yang melewati batas tertentu. Kestabilan tegangan dapat diklasifikasikan dalam dua kategori, yaitu (Kundur. P., 1994):

1. Kestabilan Tegangan Akibat Gangguan Besar: Kemampuan sistem tenaga untuk menjaga kondisi tegangan tetap stabil setelah mengalami gangguan besar, seperti gangguan generator yang lepas dari jaringan dan short circuit.

2. Kestabilan Tegangan Akibat Gangguan Kecil: Kemampuan sistem tenaga untuk menjaga kondisi tegangan tetap stabil ketika mengalami gangguan kecil, seperti perubahan mendadak dan berulang pada permintaan beban sistem. Dalam halnya kestabilan tegangan merupakan sistem yang menstabilkan tegangan dari gangguan anatar beban dengan bus dan mencegahnya kegagalan sistem sinkron pada emergency generator.

2.8.6 Kestabilan Frekuensi (*Frequency Stability*)

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan frekuensi operasinya pada harga nominalnya setelah gangguan terjadi. Ayunan frekuensi yang terus- menerus menunjukkan ketidakstabilan ini, yang dapat menyebabkan generator atau beban lepas.

Frekuensi sistem tenaga listrik menunjukkan keseimbangan antara daya yang dihasilkan dan beban total sistem. Jika ada kekurangan pembangkitan atau kelebihan beban, frekuensi sistem akan turun. Penurunan frekuensi yang signifikan dapat menyebabkan kegagalan-kegagalan unit pembangkitan secara beruntun, yang pada akhirnya akan menyebabkan kegagalan sistem secara keseluruhan. Dengan menggunakan rele frekuensi (*Under Frequency Relay*), sebagian beban dapat dilepaskan secara otomatis. Ini mencegah penurunan frekuensi dan mengembalikan frekuensi ke kondisi normal. Dengan sistem tenaga listrik semakin berkembang dan pembangkit-pembangkit baru masuk ke sistem interkoneksi, penyetelan rele frekuensi harus ditinjau kembali. Frekuensi sistem listrik adalah komponen yang sangat penting untuk menjaga stabilitasnya.

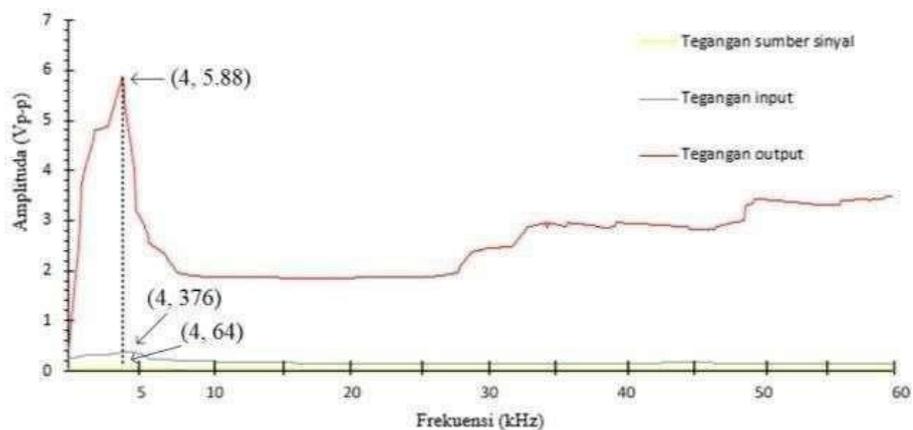
Upaya untuk menyediakan sumber energi berkualitas tinggi kepada pelanggan sangat terkait dengan menjaga frekuensi. Kualitas frekuensi yang baik akan melindungi peralatan pengguna dari kerusakan (alat biasanya dirancang untuk berfungsi dengan baik pada batasan frekuensi 50 hingga 60 Hz) (Arifai, 2017).

Pengendalian frekuensi tidak semata untuk memuaskan pelanggan semata, tindakan ini juga bertujuan untuk menjaga kestabilan sistem. Pertama kita lihat hubungan antara torsi mekanik (T_m), torsi elektrik (T_e), jumlah total moment inersia dari rotor (J), dan percepatan angular dari rotor :

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} T_a = T_m - T_e \dots \dots \dots (22)$$

Dari rumus diatas terlihat bahwa ketika :

1. Torsi mekanik = torsi elektrik maka $T_a = 0$ yang berarti pula tidak ada percepatan yang dialami oleh rotor. Karena tidak ada percepatan, maka rotor berputar pada kecepatan yang tetap sehingga menghasilkan tegangan dengan frekuensi yang konstan. Keadaan ini terjadi ketika tercapai keseimbangan antara jumlah energi yang dibangkitkan dengan energi yang diserap beban.
2. $T_m > T_e$ maka tercipta kelebihan torsi sebesar T_a yang menyebabkan timbulnya percepatan $d^2\theta_m/dt^2$ rotor sebesar sehingga frekuensi tegangan yang dibangkitkan naik sampai tercapai nilai tertentu dan tercipta keseimbangan baru antara T_m dan T_e .
3. $T_m < T_e$ maka tercipta kekurangan torsi sebesar T_a yang menyebabkan timbulnya perlambatan $d^2\theta_m/dt^2$ rotor sebesar sehingga frekuensi tegangan yang dibangkitkan turun sampai tercapai nilai tertentu dan tercipta keseimbangan baru antara



Gambar 2. 21 T_m dan T_e
Sumber : (Arifai, 2017).

Gambar di atas menunjukkan bahwa ketidakseimbangan antara beban dan pembangkitan akan menyebabkan frekuensi berbeda dari nilai normalnya. Dalam kasus ini, frekuensi sistem akan lebih dari 50 Hz ketika pembangkitan lebih besar daripada beban, dan sebaliknya, karena itu harus selalu ada keseimbangan antara pembangkitan dan beban agar frekuensi sistem normal 50 Hz dapat dicapai. Untuk menangani situasi di mana frekuensi kurang dari 50 Hz, penanganan dapat dilakukan dengan cara berikut:

1. Menambah unit pembangkit yang bekerja
2. Memanfaatkan fasilitas Load Fluctuation Center (LFC).
3. Pengurangan beban harus dilakukan melalui pembuangan beban manual (pembuangan beban) atau melalui relai UFR ketika frekuensi sistem di bawah nilai settingnya. Ini terjadi ketika unit pembangkit sudah beroperasi pada tingkat maksimalnya (Arifai, 2017).

2.9 Standar Batasan Operasi Tegangan

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) adalah Badan Usaha Milik Negara Indonesia yang ditunjuk sebagai satu-satunya badan klasifikasi nasional untuk melakukan pengkelasan kapal niaga berbendera 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 memiliki 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 1 dan 2.

Tabel 2. 2 Standar Variasi Tegangan dan Frekuensi Sistem Distribusi AC

<i>Quantity in Operation</i>	<i>Variations</i>	
	<i>Permanent</i>	<i>Transient</i>
<i>Frequency</i>	+/-5%	+/- 10% (5sec)
<i>Voltage</i>	+6% - 10%	+/- 20% (1,5sec)

Sumber : BKI Vol. IV (2002)

Tabel 2. 3 Standar Variasi Tegangan Sistem Distribusi DC

<i>Parameters</i>	<i>Variations</i>
<i>Voltage Tolerance (Continous)</i>	+/- 10%
<i>Voltage Cyclic Variation Deviation</i>	5%
<i>Voltage Ripple (a.c.r.m.s Over Steady d.c Voltage)</i>	10%

Sumber : BKI Vol. IV (2002)

2.10 Gangguan Listrik Yang Mempengaruhi Kestabilan

Ada 2 jenis gangguan yang mempengaruhi kestabilan listrik yaitu :

- **Motor Starting**

Disaat motor starting motor akan menyerap seluruh arus pada baterai untuk terjadinya ledakan untuk sistem mekanis dan menyebabkan stator bekerja dan mengakibatkan turunnya frekuensi dan tegangan akan menjadi turun, bila kapasitas pembangkit yang tersedia lebih besar dari beban yang ditampung maka tidak akan terjadi penurunan frekuensi dan tegangan tersebut, walaupun hal ini terjadi pada motor yang starting memiliki kapasitas rendah maka penurunan frekuensi dan tegangan terjadi berskala .

- **Perubahan beban**

Perubahan beban juga memiliki dampak yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan sistem tenaga listrik, karena terjadi perubahan beban yang sangat tiba – tiba besar yang melebihi kapasitas pembangkit maka akan terjadi lonjakan frekuensi atau bahkan pelepasan beban (*Black Out*) sedangkan apabila dilakukan pengurangan beban secara tiba – tiba maka akan terjadi *overspeed* pada *emergency generator* , perubahan pada frekuensi berbanding lurus dengan perubahan tegangan pada sistem .

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat pada pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.1.1 Waktu

Waktu yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dari 2024 sampai 2025.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Keterangan	Bulan ke						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Kajian Literatur							
2	Penyusunan Proposal Penelitian							
3	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3							
4	Analisa Data							
5	Seminar Proposal							
6	Seminar Hasil							
7	Sidang Akhir							

3.1.2 Tempat

Tempat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini di Jln, Bagan Deli Lama, Medan, Belawan I, Medan Kota Belawan, Kota Medan, Sumatera Utara 20411.

3.2 Data Penelitian

Data dalam penelitian “*Analisa Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Emergency Generator Di Kapal Tanker*” adalah sebagai berikut, yaitu :

a. Studi pendahuluan

Yang dimaksud dalam studi pendahuluan adalah melakukan bimbingan kepada dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk dapat Menganalisa *Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Emergency Generator Di Kapal Tanker*.

b. Data kepustakaan

Data kepustakaan merupakan pengumpulan data – data dengan cara membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, maupun tulisan – tulisan, dan bahan – bahan kuliah yang di dapatkan selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini.

c. Penelitian lapangan (*field research*)

Penelitian lapangan adalah penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap objek penelitian yaitu melakukan secara langsung analisa dari *Distribusi Kelistrikan Pada Emergency Generator* di kapal.

d. Tahapan Analisa

Adapun tahapan Menganalisa pada alat tugas akhir yang berjudul “*Analisa Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Emergency Generator Di Kapal Tanker* ” menggunakan Beberapa rumus dan alat ukur untuk yang bersumber pada jurnal jurnal terdahulu dengan nilai yang *real*.

3.3 Alat Dan Bahan

Dalam mengerjakan Skripsi ini membutuhkan Alat untuk menyusun dan mengetik yaitu saya menggunakan laptop dengan spek :

Device name : LAPTOP-FCS2IE82
Processor : Intel(R) Core(TM) i5-1035G1 CPU @ 1.00GHz 1.19 GHz
Installed RAM: 8.00 GB (7.75 GB usable)
Device ID : 51D0A487-407E-407E-9D0E-49073F2D36B3 Product ID:
00327-35924-59963-AAOEM
System type : 64-bit operating system, x64-based processor.

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang harus dilakukan untuk melakukan pengujian :

1. Studi literatur ,dengan mengikuti dan bersumber pada studi literatur jurnal dan artikel yang berafiliasi yang berisikan yang berkaitan dengan saluran distribusi emergency generator di kapal yaitu berupa rumus-rumus dan metode yang dipakai untuk menghitung faktor daya ,ketidak seimbangan beban serta rugi-rugi daya agar menghasilkan hasil yang optimal .
2. Rumusan masalah yang dibuat untuk memfokuskan beberapa hal saja yang menjadi inti masalah ini yaitu Bagaimana menganalisa sistem distribusi daya listrik yang berpindah dari generator utama ke emergency generator saat terjadi kegagalan listrik (black out) pada *emergency generator* , menganalisa kerugian daya listrik pada *emergency generator* dan , cara menganalisa beban yang tidak stabil pada *emergency generator* .
3. Pengukuran beban dan arus pada trafo yang ada pada sistem distribusi emergency generator yang mengalir pada distribusi utama pada kapal Mt Artemis dan dilakukan pengukuran menggunakan multitester ,dan keluaran kabelnya menggunakan ampere meter dan hanya beberapa trafo yang akan diukur dan diteliti menggunakan rumus- rumus serta metode dari studi literatur .
4. Pengumpulan Data Data Sistem Distribusi: Kumpulkan diagram satu garis sistem distribusi listrik kapal. Ini harus mencakup lokasi panel distribusi, switchboard, dan beban *Emergency Generator*. Data Beban Pada trafo distribusi : Data daya aktif (kW), daya reaktif (kVAR), dan arus (A) dikumpulkan untuk setiap fase. Data Operasional: Kumpulkan informasi tentang kondisi muatan, operasi mesin, dan penggunaan peralatan tertentu.
5. Menghitung dengan alat ukur multitester dan juga tang ampere atau menganalisa persentase ketidakseimbangan pada trafo distribusi dengan menghitung variabel arus, tegangan dan juga frekuensi, serta menghitung rugi rugi daya terhadap keluaran trafo dengan rumus yang ada diatas dan juga beberapa hal dan metode untuk menganalisanya agar tegangan dan beban yang tidak stabil serta rugi-rugi daya bisa diketahui .
6. Analisis data merupakan dari data-data pengukuran pada trafo distribusi pada jalur distribusi yang tertera dan dikumpulkan akan diproses menggunakan rumus-rumus yang ada untuk mengetahui apakah trafo tersebut mengalami rugi-rugi daya

sesuai standart atau tidak dan juga ketidak seimbangan beban tersebut mempengaruhi kinerja trafo.

7. Kesimpulannya Menghitung kapasitas transformator dengan tepat, mendistribusikan beban secara merata pada semua fasa, dan memantau sistem secara berkala untuk memastikan operasi yang efisien dan andal adalah penting karena ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi dapat menyebabkan pemanasan berlebih, penurunan efisiensi, dan kerusakan peralatan.

3.5 Analisis Data

Adapun proses pengolahan data dan informasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasilnya, adalah sebagai berikut :

1. *Single line* diagram sistem distribusi *Emergency switchboard*
2. Menganalisa perpindahan beban dari AE(*auxiliary engine*) ke *emergency generator* pada saat *black out*
3. Data pengukuran sistem distribusi trafo pada *emergency Switchboard*
4. dentifikasi Ketidakseimbangan: Bandingkan beban antar fasa dan hitung persentase ketidakseimbangan.
5. Evaluasi Efisiensi: Hitung faktor daya, kerugian daya, dan efisiensi sistem.
6. Proses pengolahan data untuk menghitung ketidakseimbangan beban terhadap transformator dimulai dengan mengumpulkan data beban untuk setiap fasa (R, S, dan T) menggunakan alat ukur seperti sistem pemantauan beban atau sistem manajemen energi (EMS) yang terintegrasi dengan sistem kelistrikan kapal.
7. Kemudian, deviasi beban pada masing-masing fasa dibandingkan dengan beban rata – rata untuk menghitung persentase ketidakseimbangan, di mana ketidakseimbangan
8. Pasokan listrik ke sistem navigasi, komunikasi, dan propulsi kapal. Faktor utama kerugian ini adalah distribusi beban yang tidak merata karena penggunaan peralatan listrik yang berbeda, faktor daya yang rendah, dan harmonik yang dihasilkan oleh beban non-linear, dan andal serta memenuhi standar keselamatan maritim, solusi seperti redistribusi beban, penggunaan kompensasi daya reaktif, filter harmonik, dan pemantauan berkala melalui sistem EMS (*elektronik monitoring system*) diperlukan untuk mengurangi ketidakseimbangan dan kerugian.

3.6 Flowchart Perancangan Sistem

Adapun *flowchart* perancangan sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

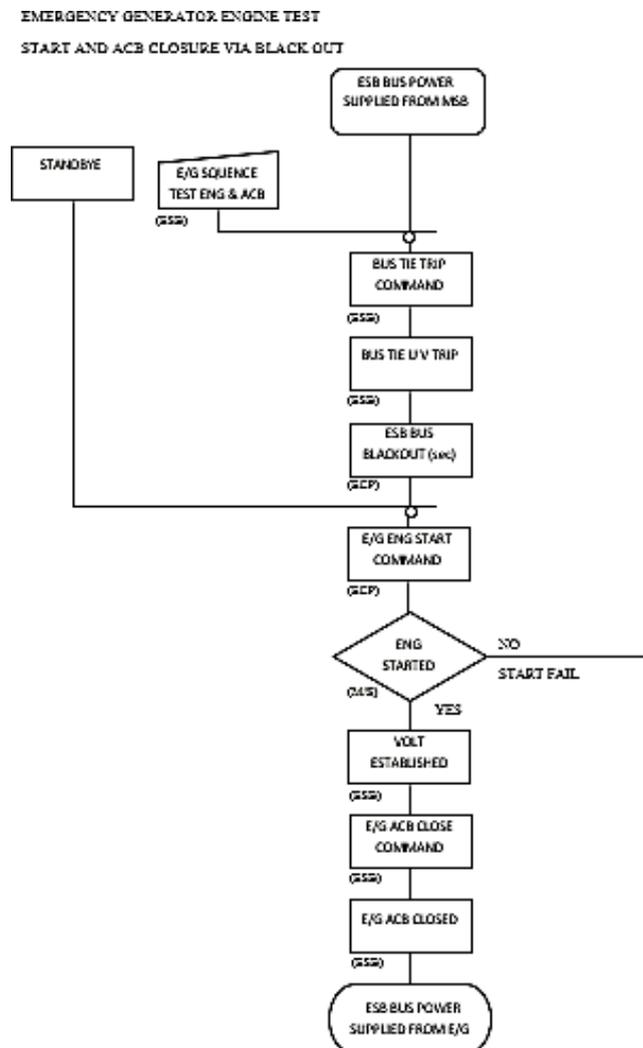


Gambar 3. 1 Flow chart Menganalisa Sistem Distribusi
Sumber : Pribadi (2025)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Sistem Distribusi Kelistrikan *Emergency Generator*

Flowchart Sistem Distribusi pada *Emergency Generator* menggambarkan alur kerja mulai dari aktivasi otomatis generator saat terjadi pemadaman listrik utama, proses penyaluran daya ke panel distribusi darurat, hingga pendistribusian listrik ke beban-beban penting seperti sistem penerangan darurat, alat medis kritis, serta sistem komunikasi dan keamanan, dengan memastikan adanya perlindungan melalui pemutus sirkuit serta sistem pemantauan beban secara *real-time* untuk menjaga kestabilan dan keselamatan operasi. Berikut adalah gambar *flowchart* sistem distribusi pada *emergency generator* :



Gambar 4. 1 *Flowchart* Sistem Distribusi Kelistrikan *Emergency Generator*

Flowchart ini menjelaskan urutan proses otomatis yang terjadi ketika terjadi pemadaman listrik (*blackout*) dan bagaimana sistem *emergency generator* (genset darurat) merespon untuk memulihkan daya ke sistem penting dengan mengaktifkan ACB (*Air Circuit Breaker*).

a. *Power Supply Failed from MSS*

Sistem mendeteksi kegagalan suplai daya utama dari *Main Switchboard* (MSS), yang memicu dimulainya prosedur darurat.

b. *E/G Sequence Test "END & ACB TEST" (ESB)*

Sistem *Emergency Generator* (E/G) menjalankan tes urutan otomatis yang mencakup akhir dari tes dan pengujian ACB.

c. *Trip M/C Trip Command (ESB)*

Sistem memberikan perintah trip (pemutusan) ke *Main Circuit* (M/C) dari *switchboard* darurat (ESB – *Emergency Switchboard*) untuk mencegah aliran balik atau korsleting saat genset menyala.

d. *Bus Tie UV Trip (ESB)*

Modul *Bus Tie* menerima sinyal *Under Voltage* (UV) Trip, menandakan bahwa tegangan hilang dari bus utama.

e. *ESB Bus Black Out (SEC)*

Switchboard darurat mengalami kondisi *blackout* (tanpa daya). Ini adalah kondisi yang memicu start otomatis dari *emergency generator*.

f. *E/G Start Command (CDP)*

Sinyal perintah untuk menyalakan *Emergency Generator* (E/G) diberikan oleh sistem kontrol distribusi daya (CDP).

g. *E/G Started? (UV/SB)*

Sistem memverifikasi apakah genset telah berhasil dinyalakan.

- Jika tidak berhasil : Proses gagal dan menuju ke jalur *start fail*.
- Jika berhasil : lanjut ke Inagkah berikutnya.

h. *Volt Established (ESB)*

Setelah genset berhasil menyala, tegangan dari *Emergency Generator* stabil dan

siap didistribusikan.

i. E/G ACB *Close Command* (ESB)

Sistem mengirimkan perintah untuk menutup *Air Circuit Breaker* (ACB), yang menghubungkan genset dengan sistem distribusi darurat.

j. E/G ACB *Closed* (ESB)

ACB berhasil ditutup dan sistem siap menerima daya dari *Emergency Generator*.

k. *Power Supplied* from E/G (ESB)

Switchboard darurat (ESB) kini menerima suplai daya dari *Emergency Generator* dan distribusi ke beban kritis dapat dilakukan.

Flowchart ini menggambarkan proses otomatis yang dilakukan sistem saat terjadi pemadaman daya dari sumber utama. *Emergency Generator* akan secara otomatis dinyalakan, tegangan distabilkan, dan ACB ditutup untuk mulai mendistribusikan daya ke beban penting. Jika genset gagal menyala, sistem akan mencatat kegagalan dan tidak melanjutkan ke proses distribusi.

4.2 Pengukuran Beban Pada *Emergency Generator*

Pada penelitian tugas akhir ini, proses pengukuran beban pada *emergency generator* yang dilakukan oleh penulis didampingi dengan 3th *Enginner* kapal. Pengukuran beban dilakukan pada *emergency generator* dengan 2 *feeder* yang berbeda yaitu *feeder* 440 VAC dan *feeder* 220 VAC. Setiap sample dilakukan sekali pengukuran untuk mendapatkan nilai pengukuran tegangan, arus, dan frekuensi pada *emergency switchboard*.

4.2.1 Data Pengukuran Beban *Feeder* 440 VAC

Data pengukuran *feeder* 440 VAC mencakup parameter-parameter penting seperti tegangan fasa, arus beban, faktor daya, dan frekuensi, yang digunakan untuk memantau kestabilan dan efisiensi distribusi daya listrik pada sistem *emergency switchboard*.



Gambar 4. 2 Pengukuran Tegangan Pada Beban Feeder 440 VAC

Sumber: Pribadi (2025)

Pada gambar 4.2 merupakan tegangan 441 VAC pada fasa Vrs di beban *feeder* 440 VAC pada *emergency switchboard*, pengukuran tersebut menggunakan alat multi tester digital.



Gambar 4. 3 Pengukuran Frekuensi Pada Beban Feeder 440 VAC

Sumber : Pribadi (2025)

Pada gambar 4.3 merupakan frekuensi 59,9 Hz pada beban *feeder* 440 VAC pada *emergency switchboard*, pengukuran tersebut menggunakan alat multi tester digital.



Gambar 4. 4 Pengukuran Arus Pada Beban Feeder 440 VAC
 Sumber : Pribadi (2025)

Pada gambar 4.4 merupakan arus 18,1 *ampere* pada fasa It di beban *feeder* 440 VAC pada *emergency switchboard*, pengukuran tersebut menggunakan alat tang *ampere*. Dari data diatas maka didapatkan sebuah tabel hasil dari pengukuran beban *feeder* 440 VAC pada *emergency switchboard* :

Tabel 4. 1 Data Pengukuran Beban Feeder 440 VAC

Beban Feeder 440 VAC Emergency Switchboard					
Arus (A)		Tegangan V		Frekuensi (HZ)	
Ir	Is	It	Vrs	Vst	
18,4	18,0	18,1	440	439	60 Hz

Berdasarkan tabel 4.1 pengukuran pada beban *feeder* 440 VAC *emergency switchboard* menunjukkan bahwa sistem beroperasi pada frekuensi 60 Hz, yang merupakan standar frekuensi listrik. Arus listrik pada tiga fasa tercatat sebagai berikut: fase R (Ir) sebesar 18,4 *Ampere*, fase S (Is) sebesar 18,0 *Ampere*, dan fase T (It) sebesar 18,1 *Ampere*, yang menunjukkan distribusi beban yang relatif seimbang. Tegangan antar-fasa juga tercatat stabil, yaitu $V_{rs} = 440$ V, $V_{st} = 439$ V, dan $V_{tr} = 440$ V, menandakan bahwa sistem tegangan tiga fasa dalam kondisi normal dan baik. Data ini menunjukkan bahwa *emergency switchboard* menerima suplai daya yang stabil dan dapat diandalkan untuk keperluan darurat.

4.2.2 Data Rugi-rugi Daya Beban Feeder 440 VAC

Rugi-rugi daya pada beban *feeder* 440 VAC terjadi akibat resistansi konduktor yang menyebabkan hilangnya sebagian energi listrik dalam bentuk panas, terutama saat arus beban tinggi mengalir melalui kabel, sehingga efisiensi sistem distribusi listrik menurun. Untuk menghitung rugi-rugi daya (*losses*) pada sistem tenaga listrik, kita umumnya berbicara tentang rugi-rugi daya akibat tahanan (*resistive losses*) pada konduktor, yang dinyatakan dengan rumus :

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R \dots\dots\dots (4.1)$$

Berikut adalah data dari rugi-rugi daya beban feeder 440 VAC pada *emergency* generator :

- Tegangan antar fasa :
 - V_{rs} = 440 VAC
 - V_{st} = 439 VAC
 - V_{tr} = 440 VAC
- Arus fasa :
 - I_r = 18,4 A
 - I_s = 18,0 A
 - I_t = 18,1 A
- Frekuensi : 60 Hz

Kemudian dapat dihitung untuk mencari nilai rata-rata tegangan dan nilai rata-rata arus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{\text{rata-rata}} &= \frac{440+439+440}{3} \\ &= 439,67 \text{ VAC} \\ I_{\text{rata-rata}} &= \frac{18,4+18+18,1}{3} \\ &= 18,17 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian dapat dihitung berdasarkan data diatas untuk mencari daya semu nya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} \times 439,67 \times 18,17 \\ &= 13837,6 \text{ VA} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung besarnya rugi-rugi daya berdasarkan data diatas pada beban *feeder* 440 VAC sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Dik : } S &= 13837,6 \text{ VA} \quad I &= 18,17 \text{ A} \\ R &= 1.83 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0.1\text{km} = 0.183 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

Dit : P_{loss} ?

Jawab :

$$\begin{aligned} P_{\text{loss}} &= 3 \times I^2 \times R \\ &= 3 \times (18,17)^2 \times 0.183 \end{aligned}$$

$$P_{\text{loss}} = 181,5 \text{ Watt}$$

Maka hasil perhitungan nilai rugi-rugi daya pada beban *feeder* 440 VAC adalah 181,5 Watt.

Kemudian untuk persentase rugi-rugi daya berdasarkan data diatas adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Persentase rugi – rugi daya} &= \frac{p_{\text{loss}}}{S} \times 100 \% \\ &= \frac{181,5}{13837,6} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\text{Persentase rugi – rugi daya} = 1,31$$

Maka hasil perhitungan persentase rugi-rugi daya pada beban *feeder* 440 VAC adalah 1,31 %

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Pada Beban Feeder 440 VAC

Beban Feeder 440 VAC Emergency Switchboard				
$V_{\text{rata-rata}}$	$I_{\text{rata-rata}}$	Daya Semu	Daya <i>loss</i>	Persentase
439,67 VAC	18,17 A	13837,6 VA	181,5 Watt	1,31 %

Berdasarkan tabel 4.2 pengukuran pada beban *feeder* 440 VAC *emergency switchboard* menunjukkan bahwa tegangan rata-rata antar-fasa ($V_{\text{rata-rata}}$) adalah 439,67 Volt, dan arus rata-rata ($I_{\text{rata-rata}}$) sebesar 18,17 Ampere. Dari nilai ini, diperoleh daya semu (*apparent power*) sebesar 13.837,6 VA, yang merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus tanpa memperhitungkan faktor daya. Daya *loss* atau rugi daya yang terjadi sebesar 181,5 Watt, yang menunjukkan energi yang hilang akibat resistansi dalam konduktor atau komponen sistem. Persentase rugi daya terhadap daya total adalah 1,31%, yang masih tergolong

rendah dan menunjukkan efisiensi sistem yang baik. Berikut adalah analisa rugi-rugi daya pada beban *feeder* 440 VAC :

a) Efisiensi Sistem:

- Rugi daya sebesar 181,5 Watt dari total 13.837,6 VA termasuk rendah, dengan efisiensi sistem sebesar 98,69%. Namun, tetap perlu diperhatikan karena kehilangan energi akan terus terjadi seiring waktu, terutama saat beban tinggi.

b) Kemungkinan Penyebab Daya Loss:

- Hambatan kabel (resistansi yang tinggi karena panjang atau diameter kabel tidak sesuai).
- Koneksi longgar atau korosi pada terminal *switchboard*.
- Pemanasan lokal di panel distribusi atau titik sambungan (karena arus tinggi terus-menerus).

c) Solusi Teknis:

- Pemeriksaan dan perawatan koneksi terminal secara berkala untuk menghindari resistansi kontak.
- Pilih kabel sesuai kapasitas arus dan jarak (standar yang tepat akan mengurangi rugi daya).
- Pengukuran faktor daya ($\cos \phi$) – Jika rendah, penggunaan kondensator bank bisa mengurangi beban semu dan rugi daya.

4.2.2.1 Analisa Standart Puil Rugi-rugi Daya Beban Feeder 440 VAC

Standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) mengatur bahwa instalasi listrik pada beban *feeder* dengan tegangan 440 VAC harus dirancang dan dipasang sesuai dengan ketentuan keselamatan, kapasitas hantar arus, proteksi terhadap hubung singkat dan beban lebih, serta sistem pentanahan yang sesuai. Penggunaan penghantar, perlindungan arus lebih, dan panel distribusi harus mengacu pada tabel dan ketentuan teknis dalam PUIL untuk memastikan keandalan dan keamanan instalasi listrik pada tegangan menengah tersebut. Berikut adalah analisis lengkap perbandingan standar PUIL terhadap data beban *feeder* 440 VAC *emergency switchboard*, serta solusi perbaikannya berdasarkan standar dan prinsip instalasi listrik yang baik pada beban 440 VAC.

Tabel 4. 3 Analisa Standart Puil Relevan Beban Feeder 440 VAC

Aspek Analisa	Standar PUIL 2020	Evaluasi Data
Tegangan Operasional	$\pm 5\%$ dari tegangan nominal (untuk sistem : 400/230V atau 415/240V)	OK, Tegangan 439,67 V masih dalam toleransi (5% dari 440 V = ± 22 V, rentang: 418 - 462 V)
Arus Beban	Harus sesuai kapasitas penghantar dan proteksi	OK, dengan catatan jika penghantar & proteksi dirancang $\geq 18,17$ A
Daya Rugi (Losses)	Rugi-rugi harus diminimalkan untuk efisiensi	OK. Persentase rugi daya 1,31% tergolong efisien (umumnya $< 2\%$ dianggap baik)
Kualitas Tegangan	Harus stabil dan tidak menyimpang signifikan	OK, tegangan rata-rata sangat stabil (439,67 V)

Berdasarkan pada tabel 4.3 hasil evaluasi terhadap instalasi listrik dan mengacu pada Standar PUIL 2020, dapat disimpulkan bahwa sistem telah memenuhi kriteria yang ditetapkan. Tegangan operasional tercatat sebesar 439,67 V, masih berada dalam batas toleransi $\pm 5\%$ dari tegangan nominal 440 V (rentang 418–462 V), sehingga dianggap aman dan sesuai standar. Arus beban sebesar 18,17 A juga dinilai layak selama kapasitas penghantar dan proteksi yang digunakan minimal setara atau lebih besar dari nilai tersebut. Dari segi efisiensi, daya rugi tercatat hanya 1,31%, yang tergolong rendah karena masih di bawah ambang batas umum sebesar 2%. Selain itu, kualitas tegangan juga sangat baik dan stabil, yang ditunjukkan oleh konsistensi nilai tegangan tanpa fluktuasi signifikan. Secara keseluruhan, berdasarkan data dan perbandingan dengan standar PUIL: Sistem masih dalam batas standar PUIL terkait tegangan, arus, dan efisiensi Namun, perlu verifikasi lebih lanjut terhadap ukuran kabel, proteksi arus lebih, dan pengukuran faktor daya aktual untuk kepastian keselamatan dan efisiensi jangka panjang

4.2.3 Data Pengukuran Beban *Feeder* 220 VAC

Data pengukuran *feeder* 220 VAC mencakup parameter-parameter penting seperti tegangan fasa, arus beban, faktor daya, dan frekuensi, yang digunakan untuk memantau kestabilan dan efisiensi distribusi daya listrik pada sistem *emergency switchboard*.



Gambar 4. 5 Pengukuran Tegangan Pada Beban *Feeder* 220 VAC
Sumber : Pribadi (2025)

Pada gambar 4.5 merupakan tegangan 228,7 VAC pada fasa Vrs di beban *feeder* 220 VAC pada *emergency switchboard*, pengukuran tersebut menggunakan alat multi tester digital.



Gambar 4. 6 Pengukuran Frekuensi Pada Beban *Feeder* 220 VAC
Sumber : Pribadi (2025)

Pada gambar 4.6 merupakan frekuensi 59,9 Hz pada beban *feeder* 220 VAC pada *emergency switchboard*, pengukuran tersebut menggunakan alat multi tester digital.



Gambar 4. 7 Pengukuran Arus Pada Beban Feeder 220 VAC
 Sumber : Pribadi (2025)

Pada gambar 4.7 merupakan arus 7,3 *ampere* pada fasa Ir di beban *feeder* 220 VAC pada *emergency switchboard*, pengukuran tersebut menggunakan alat tang *ampere*. Dari data diatas maka didapatkan sebuah tabel hasil dari pengukuran beban feeder 220 VAC pada emergency switchboard :

Tabel 4. 4 Data Pengukuran Beban Feeder 220 VAC

Beban Feeder 220 VAC Emergency Switchboard						
Arus (A)			Tegangan (V)			Frekuensi (HZ)
Ir	Is	It	Vrs	Vst	Vtr	
7,3	7,5	7,2	228	227	228	60 Hz

Berdasarkan pada tabel 4.4 pengukuran pada beban *feeder* 220 VAC *emergency switchboard* menunjukkan bahwa sistem beroperasi pada frekuensi 60 Hz, sesuai dengan standar sistem kelistrikan. Arus listrik pada ketiga fasa tercatat $I_r = 7,3$ A, $I_s = 7,5$ A, dan $I_t = 7,2$ A, yang menunjukkan beban yang cukup seimbang di antara ketiga fasa. Tegangan antar – fasa juga berada pada kisaran normal, yaitu $V_{rs} = 228$ V, $V_{st} = 227$ V, dan $V_{tr} = 228$ V, dengan fluktuasi yang

sangat kecil. Data ini menunjukkan bahwa *emergency switchboard* beroperasi dalam kondisi stabil dan siap menyediakan daya cadangan secara andal jika terjadi gangguan pada sumber utama.

4.2.4 Data Rugi-rugi Daya Beban Feeder 220 VAC

Rugi-rugi daya pada beban *feeder* 220 VAC terjadi akibat resistansi konduktor yang menyebabkan hilangnya sebagian energi listrik dalam bentuk panas, terutama saat arus beban tinggi mengalir melalui kabel, sehingga efisiensi sistem distribusi listrik menurun. Untuk menghitung rugi-rugi daya (*losses*) pada sistem tenaga listrik, kita umumnya berbicara tentang rugi daya akibat tahanan (*resistive losses*) pada konduktor, yang dinyatakan dengan rumus:

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R \dots \dots \dots (4.2)$$

Berikut adalah data dari rugi-rugi daya beban feeder 220 VAC pada *emergency generator* :

- Tegangan antar fasa :
 - $V_{rs} = 228 \text{ VAC}$
 - $V_{st} = 227 \text{ VAC}$
 - $V_{tr} = 228 \text{ VAC}$
- Arus fasa :
 - $I_r = 7,3 \text{ A}$
 - $I_s = 7,5 \text{ A}$
 - $I_t = 7,2 \text{ A}$

• Frekuensi : 60 Hz
 Kemudian dapat dihitung untuk mencari nilai rata-rata tegangan dan nilai rata-rata arus sebagai berikut :

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{228+227+228}{3} = 227,67 \text{ VAC}$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{7,3+7,5+7,2}{3} = 7,33 \text{ A}$$

Kemudian dapat dihitung berdasarkan data diatas untuk mencari daya semunya sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times 227,67 \times 7,33$$

$$= 2894,3 \text{ VA}$$

Sehingga dapat dihitung besarnya rugi-rugi daya berdasarkan data diatas pada beban *feeder* 220 VAC sebagai berikut :

Dik : $S = 2894,3 \text{ VA}$ $I = 7,33 \text{ A}$

$$R = 1.83 \Omega/\text{km} \times 0.1\text{km} = 0.183 \Omega$$

Dit : P_{loss}

Jawab :

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R$$

$$= 3 \times (7,33)^2 \times 0.183$$

$$P_{\text{loss}} = 29,49 \text{ Watt}$$

Maka hasil perhitungan nilai rugi-rugi daya pada beban *feeder* 220 VAC adalah 29,49 Watt. Kemudian untuk persentase rugi-rugi daya berdasarkan data diatas adalah sebagai berikut :

$$\text{Persentase rugi-rugi daya} = \frac{P_{\text{loss}}}{S} \times 100\%$$

$$\text{Persentase rugi-rugi daya} = \frac{29,49}{2894,3} \times 100\% = 1,01$$

Maka hasil perhitungan persentase rugi-rugi daya pada beban *feeder* 220 VAC adalah 1,01 %.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Pada Beban Feeder 220 VAC

Beban Feeder 220 VAC Emergency Switchboard				
$V_{\text{rata-rata}}$	$I_{\text{rata-rata}}$	Daya Semu	Daya <i>loss</i>	Persentase
227,67 VAC	7,33 A	2894,3 VA	29,49 Watt	1,01 %

Berdasarkan tabel 4.4 pengukuran pada beban *feeder* 220 VAC *emergency switchboard* menunjukkan bahwa tegangan rata-rata ($V_{\text{rata-rata}}$) adalah 227,67 Volt dan arus rata-rata ($I_{\text{rata-rata}}$) sebesar 7,33 Ampere. Dari parameter tersebut, diperoleh daya semu (*apparent power*) sebesar 2.894,3 VA, yang merupakan total daya tanpa memperhitungkan faktor daya ($\cos \phi$). Terdapat daya loss (rugi daya) sebesar 29,49 Watt, yaitu energi yang hilang akibat hambatan dalam sistem distribusi listrik. Persentase rugi daya terhadap daya semu sebesar 1,01%, yang tergolong rendah dan mengindikasikan bahwa sistem beroperasi dengan efisiensi yang baik. Berikut adalah analisa rugi-rugi daya pada *emergency switchboard* beban *feeder* 220 VAC:

a) Analisis Teknis:

- Nilai tegangan dan arus menunjukkan sistem beroperasi dalam kondisi normal, tidak ada indikasi *overvoltage* atau *overcurrent*.
- Daya loss sebesar 29,49 Watt dengan persentase 1,01% termasuk rendah, yang mengindikasikan efisiensi sistem yang baik.
- Sistem kemungkinan besar tidak mengalami masalah besar, namun tetap perlu pemantauan rutin.

b) Solusi Teknis:

- Pemeriksaan koneksi listrik secara berkala untuk mencegah resistansi akibat koneksi longgar atau korosi.
- Gunakan kabel dengan ukuran dan material sesuai standar untuk menghindari rugi daya berlebih.
- Lakukan pengukuran faktor daya (power factor). Jika ditemukan faktor daya rendah, pertimbangkan penambahan kapasitor bank untuk kompensasi daya reaktif.
- Lakukan inspeksi termal untuk mendeteksi titik panas tersembunyi yang dapat menyebabkan efisiensi menurun atau risiko kebakaran.
- Buat jadwal perawatan preventif terhadap Emergency Switchboard agar tetap dalam kondisi optimal untuk digunakan saat keadaan darurat.

4.2.4.1 Analisa Standart Puil Rugi-rugi Daya Beban *Feeder* 220 VAC

Standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) menetapkan bahwa instalasi listrik pada beban feeder 220 VAC harus memenuhi persyaratan teknis terkait kapasitas hantar arus penghantar, proteksi terhadap arus lebih dan hubung singkat, sistem pentanahan, serta pemutusan daya darurat. Pemilihan komponen seperti kabel, MCB, dan panel distribusi harus sesuai dengan tabel referensi dalam PUIL agar instalasi aman, efisien, dan andal untuk penggunaan tegangan rendah. Berikut adalah analisis lengkap perbandingan standar PUIL terhadap data beban *feeder* 220 VAC *emergency switchboard*, serta solusi perbaikannya berdasarkan standar dan prinsip instalasi listrik yang baik pada beban 220 VAC.

a) Tegangan Operasional

- Standar PUIL: Untuk sistem tegangan rendah (low voltage), batas

toleransi tegangan $\pm 5\%$ dari nominal.

- Tegangan nominal: 220 V

- Toleransi: $220\text{ V} \pm 5\% = 209\text{ V} - 231\text{ V}$

- Kesimpulan tegangan rata-rata 227,67 V masih berada dalam rentang toleransi PUIL (209–231 V).

b) Arus Beban

- Standar PUIL: Arus harus berada dalam batas kemampuan kabel penghantar dan proteksi arus lebih (MCB/MCCB).

- Arus rata-rata: 7,33 A Jika diasumsikan penggunaan kabel NYY atau NYM, maka:

- Kabel $3 \times 1.5\text{ mm}^2 \rightarrow$ kapasitas sekitar 13–15 A (tergantung suhu dan panjang)

- Kabel $3 \times 2.5\text{ mm}^2 \rightarrow$ kapasitas 18–24 A

- Kesimpulan Arus 7,33 A aman dan proteksi arus (MCB) disesuaikan.

c) Rugi-rugi Daya (Power Loss)

- Standar PUIL tidak menetapkan batas eksplisit, namun praktik yang baik menyarankan rugi daya $\leq 2\%$ dari total daya.

- Perhitungan persentase rugi-rugi daya pada beban feeder 220 VAC adalah 1,01 %.

- Kesimpulan rugi daya rendah dan efisien ($< 2\%$).

Tabel 4. 5 Analisa Standart Puil Relevan Beban Fedeer 220 VAC

Aspek Analisa	Evaluasi Data	Standart Puil 2020
Tegangan Operasional	OK	Sesuai (227,67 V < 231 V)
Arus Beban	OK	Aman dan proteksi arus disesuaikan
Rugi-rugi Daya	OK	Efisien (1,01%)

Berdasarkan tabel 4.5 hasil evaluasi terhadap instalasi listrik dan mengacu pada Standar PUIL 2020, dapat disimpulkan bahwa sistem telah beroperasi dengan baik dan sesuai standar. Tegangan operasional tercatat sebesar 227,67 V, masih berada di bawah batas maksimum 231 V sesuai toleransi standar, sehingga dinyatakan aman. Arus beban juga dinilai sesuai

karena telah disesuaikan dengan kapasitas penghantar dan sistem proteksi yang memadai. Selain itu, rugi-rugi daya hanya sebesar 1,01%, yang termasuk efisien karena masih di bawah ambang batas umum 2%, sehingga menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja energi yang baik dan andal.

- Instalasi secara umum telah sesuai dengan PUIL dan menunjukkan performa efisien.

- Tegangan, arus, dan rugi daya aman berdasarkan data dan batasan standar.

- Rekomendasi teknis difokuskan pada verifikasi ukuran kabel, proteksi, dan pemantauan faktor daya aktual demi keandalan dan keselamatan jangka panjang, terutama karena ini adalah 4.3 Perhitungan Ketidakstabilan Beban Emergency Generator.

Perhitungan ketidakstabilan beban pada emergency generator dilakukan untuk memastikan bahwa generator dapat beroperasi secara andal dan stabil dalam kondisi darurat, terutama ketika terjadi perubahan mendadak beban listrik, yang dapat menyebabkan fluktuasi tegangan dan frekuensi yang membahayakan peralatan serta mengganggu kontinuitas pasokan daya. Ketidakstabilan beban terjadi ketika terdapat perubahan beban yang tiba-tiba atau tidak seimbang, yang dapat menyebabkan gangguan pada kinerja generator, seperti fluktuasi tegangan dan frekuensi.

Dalam kondisi darurat, emergency generator dituntut untuk menyuplai daya secara cepat dan stabil ke beban kritis, sehingga kemampuan generator dalam merespons perubahan beban menjadi faktor penentu keandalannya. Melalui analisis ini, dapat diketahui sejauh mana kapasitas generator mampu mengatasi lonjakan beban awal (*inrush current*), transien, serta beban non-linier yang dapat memengaruhi kestabilan sistem. Parameter-parameter penting seperti governor response, voltage regulator, inertia, serta karakteristik beban harus diperhitungkan secara menyeluruh. Hasil perhitungan ini menjadi dasar untuk penentuan kapasitas generator, pengaturan sistem proteksi, serta strategi load shedding agar sistem tetap berfungsi optimal saat terjadi kondisi darurat.

4.2.5 Data Ketidakstabilan Beban Feeder 440 VAC

Untuk menghitung ketidakstabilan beban pada sistem listrik tiga fasa, kita dapat menilai ketidakseimbangan arus (*current unbalance*) dan tegangan (*voltage*

unbalance). Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur ketidakseimbangan adalah menggunakan persentase ketidakseimbangan sebagai berikut :

- Arus fasa :
 - Ir = 18,4 A
 - Is = 18,0 A
 - It = 18,1 A

Kemudian dapat dihitung untuk mencari nilai rata-rata pada arus per fasa sebagai berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{18,4+18+18,1}{3}$$

$$= 18.1 \text{ A}$$

Maka dapat ditentukan koefisien ketidakseimbangan arus sebagai berikut :

- a) $\frac{18,4}{18,17} = 1,01$
- b) $\frac{18}{18,1} = 1$
- c) $\frac{18,1}{18,17} = 1$

Kemudian untuk ketidakseimbangan arus berdasarkan data diatas adalah sebagai berikut :

$$I_x = \frac{(1,01 - 1) + (1 - 1) + (1 - 1)}{3} \times 100\%$$

$$= 3,33 \%$$

Maka hasil perhitungan ketidakstabilan arus pada beban *feeder* 440 VAC adalah 3,33 %. Kemudian mencari ketidakstabilan pada tegangan sebagai berikut:

- Tegangan antar fasa :
 - Vrs = 440 VAC
 - Vst = 439 VAC
 - Vtr = 440 VAC
- $$V_{\text{rata-rata}} = \frac{440+439+440}{3}$$
- $$= 439,67 \text{ VA}$$

$$Unbalance_{tegangan} = \left(\frac{V_{max} - V_{rata-rata}}{V_{rata-rata}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(4.3)$$

Dik : $V_{max} = 440 \text{ VAC}$
 $V_{rata-rata} = 439,67 \text{ VAC}$

Dit : $Unbalance_{tegangan} \dots\dots\dots ?$

Jawab :

$$Unbalance_{tegangan} = \left(\frac{440 - 439,67}{439,67} \right) \times 100\%$$

$$= 0,075 \%$$

Maka hasil perhitungan nilai ketidakstabilan tegangan pada beban *feeder* 440 VAC adalah 0,075 %

Ini menunjukkan bahwa sistem dalam kondisi beban *feeder* 440 VAC pada *emergency* generator cukup stabil, karena: ketidakstabilan arus < 5% (umumnya masih dalam batas aman) ketidakstabilan tegangan < 2% (standar IEEE dan IEC menyarankan < 2%). Berikut adalah analisa ketidakstabilan pada *emergency switchboard* beban *feeder* 440 VAC :

a) Analisa Teknis

- Nilai ini dihitung dari variasi tegangan antar-fasa selama beban bekerja. Interpretasi: Nilai 0,075% sangat kecil, artinya tegangan hampir tidak berfluktuasi dari nilai normalnya (440 V).
- Dalam standar kelistrikan, tegangan dianggap stabil jika deviasinya masih berada dalam $\pm 5\%$ dari nilai nominal. Nilai 0,075% jauh di bawah batas tersebut.

b) Solusi Teknis

- Lakukan pemantauan berkala terhadap tegangan beban menggunakan alat ukur digital atau sistem monitorin yang tersedia.
- Pastikan tidak ada lonjakan beban mendadak yang signifikan, karena lonjakan mendadak dapat memicu ketidakstabilan sementara.
- Periksa sistem pembumian (*grounding*) untuk mencegah gangguan tegangan akibat arus bocor atau gangguan petir.
- Lakukan perawatan panel dan komponen *feeder* secara rutin, termasuk pembersihan, pengencangan koneksi, dan pengukuran isolasi.

4.2.5.1 Analisa Standart Puil Beban Feeder 440 VAC

PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) menekankan pentingnya analisis kestabilan beban pada feeder 440 VAC untuk mencegah gangguan operasional dan potensi bahaya. Ketidakstabilan beban, seperti fluktuasi arus dan tegangan, harus diatasi melalui perencanaan sistem proteksi yang memadai, penggunaan peralatan proteksi seperti relay dan stabilizer, serta pengaturan pembagian beban yang seimbang. PUIL juga mengatur bahwa instalasi harus dirancang untuk menahan kondisi dinamis beban agar tetap aman dan andal sesuai dengan standar keselamatan dan kinerja.

a) Ketidakstabilan Tegangan

PUIL 2020 (mengacu IEC 60038 dan SNI 04-6950-2003) menyatakan:

- Tegangan harus berada dalam toleransi $\pm 5\%$ dari tegangan nominal untuk sistem tegangan rendah. Untuk 440 V \rightarrow Rentang diperbolehkan: 418 V – 462 V.
- Fluktuasi jangka pendek (instability), seperti ketidakstabilan tegangan, harus diminimalkan terutama untuk peralatan sensitif dan sistem emergency. Umumnya, fluktuasi $\leq 1\%$ untuk sistem stabil dianggap sangat baik, terutama untuk panel emergency.

b) Ketidakstabilan Arus

- Ketidakstabilan arus $< 5\%$ (umumnya masih dalam batas aman).

Tabel 4. 6 Analisa Standart Puil Beban Feeder 440 VAC

Aspek Analisa	Data	Standart Puil 2020	Kesimpulan
Ketidakstabilan Tegangan	0,075 %	Jauh di bawah batas toleransi $\pm 5\%$ dan fluktuasi normal ($< 1\%$)	Sangat Baik
Ketidakstabilan Arus	3,33 %	Masih dalam batas wajar ($\leq 5\%$), tergantung jenis beban	Baik

Berdasarkan tabel 4.6 hasil analisa terhadap kestabilan sistem listrik dan mengacu pada Standar PUIL 2020, diperoleh bahwa ketidakstabilan tegangan sebesar 0,075% tergolong sangat baik karena nilainya jauh di bawah batas toleransi $\pm 5\%$ dan bahkan lebih kecil dari fluktuasi normal

yang umumnya <1%. Sementara itu, ketidakstabilan arus tercatat sebesar 3,33%, yang masih berada dalam batas wajar yaitu $\leq 5\%$, tergantung pada karakteristik dan jenis beban yang digunakan. Dengan demikian, secara keseluruhan sistem menunjukkan performa kestabilan yang baik dan dapat diandalkan untuk operasional yang aman.

4.2.6 Data Ketidakstabilan Beban *Feeder 220 VAC*

Untuk menghitung ketidakstabilan beban pada sistem listrik tiga fasa, kita dapat menilai ketidakseimbangan arus (*current unbalance*) dan tegangan (*voltage unbalance*). Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur ketidakseimbangan adalah menggunakan persentase ketidakseimbangan sebagai berikut :

- Arus fasa :
 - Ir = 7,3 A
 - Is = 7,5 A
 - It = 7,2 A

Kemudian dapat dihitung untuk mencari nilai rata-rata pada arus per fasa sebagai berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{7,3+7,5+7,3}{3}$$

$$= 7,3 \text{ A}$$

Maka dapat ditentukan koefisien ketidakseimbangan arus sebagai berikut :

$$\text{d) } \frac{7,3}{7,3} = 1$$

$$\text{e) } \frac{7,3}{7,5} = 1,03$$

$$\text{f) } \frac{7,3}{7,2} = 1$$

Kemudian untuk ketidakseimbangan arus berdasarkan data diatas adalah sebagai berikut :

$$I_x = \frac{(1-1)+(1,03-1)+(1-1)}{3} \times 100\%$$

$$= 1 \%$$

Maka hasil perhitungan ketidakstabilan arus pada beban *feeder 220 VAC* adalah 1

%.

Kemudian mencari ketidakstabilan pada tegangan sebagai berikut :

• Tegangan antar fasa :

- $V_{rs} = 228 \text{ VAC}$

- $V_{st} = 227 \text{ VAC}$

- $V_{tr} = 228 \text{ VAC}$

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{228 + 227 + 228}{3}$$

$$= 227,67 \text{ VAC}$$

$$Unbalance_{\text{tegangan}} = \left(\frac{V_{\text{max}} - V_{\text{rata-rata}}}{V_{\text{rata-rata}}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4.4)$$

Dik : $V_{\text{max}} = 228 \text{ VAC}$

$V_{\text{rata-rata}} = 227,67 \text{ VAC}$

Dit : $Unbalance_{\text{tegangan}} \dots\dots\dots ?$

Jawab :

$$Unbalance_{\text{tegangan}} = \left(\frac{228 - 227,67}{227,67} \right) \times 100\%$$

$$= 0,14 \%$$

Maka hasil perhitungan nilai ketidakstabilan tegangan pada beban *feeder* 220 VAC adalah 0,14 %. Ini menunjukkan bahwa sistem dalam kondisi beban *feeder* 220 VAC pada *emergency* generator cukup stabil, karena: ketidakstabilan arus < 5% (umumnya masih dalam batas aman) ketidakstabilan tegangan < 2% (standar IEEE dan IEC menyarankan < 2%).

Berikut adalah analisa ketidakstabilan pada *emergency switchboard* beban *feeder* 440 VAC :

a) Analisa Teknis

- Nilai 0,14% masih tergolong sangat kecil dan jauh di bawah ambang batas toleransi tegangan dalam sistem kelistrikan, yang umumnya adalah $\pm 5\%$ dari nilai nominal.

- Tegangan pada beban *feeder* 220 VAC sangat stabil, dan sistem distribusi listrik bekerja dengan baik tanpa adanya gangguan besar.

b) Solusi Teknis

- Lakukan pemantauan berkala terhadap tegangan beban menggunakan alat ukur digital atau sistem monitorin yang tersedia.

- Pastikan tidak ada lonjakan beban mendadak yang signifikan, karena lonjakan mendadak dapat memicu ketidakstabilan sementara.
- Periksa sistem pembumian (grounding) untuk mencegah gangguan tegangan akibat arus bocor atau gangguan petir.
- Lakukan perawatan panel dan komponen feeder secara rutin, termasuk pembersihan, pengencangan koneksi, dan pengukuran isolasi.

4.2.6.1 Analisa Standart Puil Beban Feeder 220 VAC

PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) menekankan pentingnya analisis kestabilan beban pada feeder 220 VAC untuk mencegah gangguan operasional dan potensi bahaya. Ketidakstabilan beban, seperti fluktuasi arus dan tegangan, harus diatasi melalui perencanaan sistem proteksi yang memadai, penggunaan peralatan proteksi seperti relay dan stabilizer, serta pengaturan pembagian beban yang seimbang. PUIL juga mengatur bahwa instalasi harus dirancang untuk menahan kondisi dinamis beban agar tetap aman dan andal sesuai dengan standar keselamatan dan kinerja.

a) Ketidakstabilan Tegangan

Standar biasanya mengizinkan variasi tegangan sebesar $\pm 5\%$ dari tegangan nominal untuk sistem distribusi tegangan rendah. Ini berarti untuk sistem 220 VAC, tegangan harus tetap dalam rentang 209 VAC hingga 231 VAC. Dan Nilai 0,14% masih tergolong sangat kecil dan jauh di bawah ambang batas toleransi tegangan dalam sistem kelistrikan, yang umumnya adalah $\pm 5\%$.

b) Ketidakstabilan Arus

Ketidakstabilan arus $< 5\%$ (umumnya masih dalam batas aman).

c) Solusi

Pemeriksaan Berkala: Lakukan pemeriksaan berkala terhadap sistem listrik untuk memastikan bahwa ketidakstabilan tegangan dan arus tetap dalam batas yang dapat diterima. Ini termasuk memeriksa kondisi peralatan, koneksi, dan komponen sistem.

Penggunaan Peralatan yang Sesuai: Pastikan semua peralatan listrik yang digunakan sesuai dengan standar PUIL dan dirancang untuk beroperasi dalam batas-batas ketidakstabilan tegangan dan arus yang ada

dalam sistem.

Analisis Lanjutan: Jika memungkinkan, lakukan analisis lanjutan untuk memahami penyebab ketidakstabilan dan bagaimana pengaruhnya terhadap operasional peralatan dan sistem secara keseluruhan.

Peningkatan Sistem: Jika direncanakan adanya penambahan beban atau modifikasi sistem, pastikan bahwa ketidakstabilan tegangan dan arus tetap dalam batas yang dapat diterima oleh standar PUIL dan peralatan yang digunakan.

Tabel 4. 7 Analisa Standart Puil Beban Feeder 220 VAC

Aspek Analisa	Data	Standart Puil 2020	Kesimpulan
Ketidakstabilan Tegangan	0,14 %	Jauh di bawah batas toleransi $\pm 5\%$ dan fluktuasi normal ($< 1\%$)	Sangat Baik
Ketidakstabilan Arus	1 %	Masih dalam batas wajar ($\leq 5\%$), tergantung jenis beban	Baik

Berdasarkan data analisa dan mengacu pada Standar PUIL 2020, ketidakstabilan tegangan sebesar 0,14% menunjukkan kondisi yang sangat baik karena nilainya jauh di bawah batas toleransi $\pm 5\%$ serta lebih kecil dari fluktuasi normal yang umumnya $< 1\%$. Sementara itu, ketidakstabilan arus sebesar 1% masih berada dalam batas wajar, yakni $\leq 5\%$, dan dapat diterima tergantung pada jenis beban yang terpasang. Secara keseluruhan, kestabilan sistem listrik dinilai baik dan memenuhi standar untuk mendukung operasional yang andal dan aman.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari semua pembahasan yang telah penulis lakukan mengenai “Analisis Sistem Distribusi Kelistrikan Pada *Emergency Generator* di Kapal *Tanker*”, maka sebagai bagian akhir dari laporan tugas akhir ini penulis memberikan beberapa simpulan yang diambil dari hasil penelitian dan pembahasan masalah sebagai berikut :

1. System distribusi *emergency generator* pada gambar flowchart 4.1 dimulai setelah blackout terdeteksi, sistem memberikan perintah untuk menyalakan *emergency generator* (E/G). Jika engine berhasil menyala dan tegangan terbangkit, maka ACB (*Air Circuit Breaker*) dari E/G akan diperintahkan untuk menutup, dan akhirnya suplai daya ESB dialihkan dari *emergency generator* untuk mensupply listrik kapal.
2. Berdasarkan data pengukuran, *emergency switchboard* 440 VAC menunjukkan performa yang baik dan stabil, dengan daya semu 13.837,6 VA dan daya loss 181,5 Watt, atau hanya 1,31% dari total daya. Ini berarti sistem bekerja dengan tingkat efisiensi tinggi dan dalam kondisi normal. Meskipun demikian, pemeliharaan rutin dan optimalisasi sistem distribusi listrik tetap diperlukan untuk menjaga efisiensi dan mencegah kerusakan jangka panjang. Berdasarkan data yang diperoleh, *Emergency Switchboard* 220 VAC menunjukkan performa yang stabil, efisien, dan aman dengan daya semu sebesar 2.894,3 VA dan daya rugi sebesar 29,49 Watt atau hanya 1,01% dari total daya. Ini mengindikasikan bahwa sistem distribusi listrik berjalan dengan baik dan efisiensi tinggi. Meskipun demikian, perawatan berkala, pemantauan sambungan listrik, dan optimalisasi daya reaktif tetap diperlukan untuk memastikan *switchboard* tetap andal dan siap beroperasi.
3. Nilai ketidakstabilan tegangan sebesar 0,075% pada beban feeder 440 VAC menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik bekerja dengan sangat stabil dan andal. Tegangan tetap konsisten dengan deviasi yang nyaris tidak signifikan, jauh di bawah ambang batas standar internasional. Kondisi ini mencerminkan bahwa *emergency switchboard* dalam performa optimal. Meski demikian, pemeliharaan rutin dan pemantauan berkala tetap diperlukan untuk mencegah potensi gangguan

yang dapat mengganggu kestabilan di masa mendatang. Nilai ketidakstabilan tegangan sebesar 0,14% pada beban feeder 220 VAC menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik berjalan dalam kondisi sangat stabil dan efisien. Fluktuasi tegangan sangat minim dan masih jauh di bawah batas toleransi standar ($\pm 5\%$), yang menandakan tidak ada gangguan signifikan pada jaringan maupun beban. Meskipun demikian, tindakan monitoring dan pemeliharaan rutin tetap sangat penting dilakukan guna menjaga keandalan sistem, terutama karena emergency switchboard berfungsi sebagai suplai cadangan yang harus selalu siap pakai dalam kondisi darurat.

5.2 Saran

Berdasarkan dari uraian pada pembahasan mengenai “Analisis Sistem Distribusi Kelistrikan Pada *Emergency Generator* di Kapal *Tanker*”, maka peneliti akan memberikan saran-saran yang muncul berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan selama berada di lingkungan kerja, dengan saran-saran sebagai berikut :

- a) Dari pihak operator kapal khususnya 3th *Engineer* harus selektif dalam merawat dan mengoperasikan *emergency generator* sesuai dengan SOP yang telah ditentukan, dan pastinya berdasarkan manual *book* sesuai dengan *type engine* tersebut.
- b) Perlu diadakannya penelitian lanjutan tentang distribusi kelistrikan pada *emergency generator*, sebagai tambahan sarana pembelajaran dan sistem pembaharuan pada *emergency generator*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdussamad, S. (2022). Implementasi Pengukuran Beban Resistif Pada Lampu Pijar. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 83–86. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.12064>
- Akhmad Fajar Ubaidillah, Urip Mudjiono, Rini Indarti, & Didik Sukoco. (2022). Analisis Kebutuhan Lampu Sesuai Class Bki Dan Abs Pada Kapal Lpd (Landing Platfrom Dock). *Jurnal 7 Samudra*, 6(1). <https://doi.org/10.54992/7samudra.v6i1.98>
- Chung, B. J., & Son, S. Y. (2016). Analysis of the virtual power plant model based on the use of emergency generators in south korea. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 11(1), 38–46. <https://doi.org/10.5370/JEET.2016.11.1.038>
- Demeianto, B., Arkan, M. A., Priharanto, Y. E., & Siahaan, J. P. (2021). Analisa Pembagian Beban Pada Instalasi Listrik Tiga Phasa Kapal Penangkap Ikan Studi Kasus Pada Km. Sumber Rezeki. *Aurelia Journal*, 2(2), 151. <https://doi.org/10.15578/aj.v2i2.9901>
- Faruq, U., Ridho, A., Vrayulis, M., & Julio, E. (2021). Peran Penggunaan ETAP Untuk Mengevaluasi Kendala Listrik. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 6(1), 16–22. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v6i1.7031>
- Fauzan, F. Danang Wijaya, B. S. (2010). Studi Perbaikan Faktor Daya Beban Induktif Dengan Kompensator Reaktif Seri Menggunakan Sakelar Pemulih Energi Magnetik. *Teknik Elektro FT UGM*, 5(2), 125–147.
- Fitri, S. N., Irwan, N. Y., Annisa, Hidayatullah, S., Faraby, M. D., & Sultan, A. R. (2023). Analisa Penempatan Distributed Generator Pada IEEE 33 Bus Sistem Distribusi Radial. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI) 2023-Teknik Listrik*, 9(1), 8–12.
- Ginting, R. T., Zulfahri, & Arlenny. (2022). Analisis Ketidakseimbangan Beban Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan ETAP. *Sain, Energi, Teknologi & Industri*, 6(2), 81–89. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v6i2.9734>
- Halilčević, S. S., & Kapetanović, I. I. (2023). Steady-state stability of the generator – comparison of load angle calculated using sine and cotangent function, and new instability proximity index. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 11(1), 258–272. <https://doi.org/10.36909/jer.14817>
- Inkarois, E. T. I. (2022). Analisa Koordinasi Relay OCR Pada Sistem Proteksi Kapal KRI

- Halasan 630 di PT PAL Surabaya. *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 3(1), 28–37. <https://doi.org/10.36040/alinier.v3i1.4854>
- Journal, A. (2020). *Analisa Pembebanan Pada Generator Listrik Kapal Penangkap Ikan Studi Kasus Pada Km . Maradona Analysis of Load on Fishing Vessel Electric Generator Study Case on Mv . Maradona*. 2(1), 63–72.
- Mardiyono, & Yuliady, N. (2020). *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Analisis Beban Listrik Saat Operasi Penangkapan Ikan Pada KM . Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*. 12(1), 74–79.
- Nugraha, I. M. A., Luthfiani, F., & We, J. (2023). Optimalisasi pembebanan dan konsumsi bahan bakar pada generator di kapal motor Sena Express. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, 3(3), 213–220. <https://doi.org/10.35313/jitel.v3.i3.2023.213-220>
- Oleh. (2018). *Skripsi Analisis Sistem Kelistrikan Kapal Penangkap Ikan Tuna Long Linear 300 Gtr*.
- Pasaribu, F. I., Evalina, N., & Harahap, P. (2021). Varistor in the Inverter Circuit Starting Energy Saver to Reduce Water Pump Electric Current. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, 3(4), 244–253. <https://doi.org/10.33258/birex.v3i4.2632>
- Ramasamy, K. (2016). Comparison and Performance Analysis of FACTS Controller in System Stability. *Circuits and Systems*, 07(10), 2948–2958. <https://doi.org/10.4236/cs.2016.710253>
- Rusilawati. (2020). Menentukan Batas Kestabilan Steady State Sistem Jawa Bali 500 kV menggunakan Pendekatan Model Single Machine to Infinite Bus. *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.36040/alinier.v1i1.2517>
- Sakti, B., & Nurhayati, T. (2020). *Analisa Kebutuhan Daya Listrik Kapal KM. Sabuk Nusantara 92 Dengan Electric Balance BKI*. 0–7.
- Sentosa Setiadji, J., Machmudsyah, T., & Isnanto, Y. (2008). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 68–73. <https://doi.org/10.9744/jte.7.2.68-73>
- Setiaji, N., Sumpena, & Sugiharto, A. (2022). Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik. *Jurnal Tekonologi Industri*, 11(1), 1–8.
- SHELEMO, A. A. (2023). No Title. *Nucl. Phys.*, 13(1), 104–116.
- Siddik, M., -, H., & Satria, B. (2024). Sistem Ketidak Seimbangan Beban Pada Jaringan

- Tegangan Rendah Menggunakan Alat Phb – Sr (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) Di Pt. Pln Persero Ulp Binjai Timur. *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, 13(2), 212–218. <https://doi.org/10.30591/polektro.v13i2.6700>
- Siregar, L., Silaen, R., & Hutabarat, J. L. (2021). Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN). *Jurnal ELPOTECS*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.51622/elpotecs.v4i1.446>
- Tanjung, D. J. S., Amin, B., & Nasution, S. (2020). the Analysis of Oil Content in Sediment and Community Structure of Macrozoobenthos in Belawan Waters of Medan City, North Sumatera Province. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 3(2), 167–178. <https://doi.org/10.31258/ajoa.3.2.167-178>
- Wahyudianto, M. F., Sarwito, S., & Kurniawan, A. (2017). Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di Kapal Penumpang dengan Menggunakan Metode Simulasi. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.19716>
- Wibowo, D. T., Yusniati, Y., Nasution, R., & Pelawi, Z. (2023). Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Masjid Agung Serdang Bedagai. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 8(1), 1–6. <https://doi.org/10.30743/jet.v8i1.6828>
- Widyasmara, D. I., Wibisono, A., & Riyadi, S. (2024). Dampak Pembebanan Kapasitif Murni Dan Resistif Kapasitif Pada Perubahan Vektor Generator Sinkron Tiga Fasa. *Elektrika*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.26623/elektrika.v16i1.8695>
- Yuan, M., Chen, Y., Li, B., & Shi, S. (2022). Optimal planning of mobile emergency generators of resilient distribution system. *Energy Reports*, 8, 1404–1413. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.277>
- (Sentosa Setiadji et al., 2008)
- (Abdussamad, 2022; Akhmad Fajar Ubaidillah et al., 2022; Demeianto et al., 2021; Faruq et al., 2021; Fauzan, F. Danang Wijaya, 2010; Fitri et al., 2023; Ginting et al., 2022; Halilčević & Kapetanović, 2023; Journal, 2020; Mardiyono & Yuliady, 2020; Nugraha et al., 2023; Oleh, 2018; Pasaribu et al., 2021; Ramasamy, 2016; Rusilawati, 2020; Sakti & Nurhayati, 2020; Sentosa Setiadji et al., 2008; Setiaji et al., 2022; Siddik et al., 2024; Siregar et al., 2021; Wahyudianto et al., 2017; Wibowo et al., 2023; Widyasmara et al., 2024)
- (Chung & Son, 2016; Inkarois, 2022; SHELEMO, 2023; Tanjung et al., 2020; Yuan et al., 2022)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Muhammad Fadhil
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/29 Januari 2003
Jenis kelamin : Laki-Laki
Umur : 22 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan : 183cm/89 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : JL.Damar 4 No. 2 Pulo Brayan Darat II
No Hp : +62 822-8895-5559
Email : mhd.fadhil2901@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah : Muhammad Yunus Asmo
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Nama Ibu : Susilawaty
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : JL.Damar 4 No. 2 Pulo Brayan Darat II

Latar Belakang Pendidikan

SDN 060870 : Tahun 2007 - 2013
SMP ISLAM AL ULUM : Tahun 2013 - 2016
MAN 1 Medan : Tahun 2017 - 2020
Mahasiswa Prodi Teknik
Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammdiyah
Sumatera Utara : Tahun 2021 - 2025