

**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA SISTEM
KELISTRIKAN KAPAL *LANDING CRAFT UTILITY (LCU)*
(SIMULASI PEMBEBANAN KAPAL ADRI *LCU I*)**

Disusun dan diajukan oleh :

**MUHAMMAD ISRAQ LUKMAN
D33116013**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA SISTEM
KELISTRIKAN KAPAL *LANDING CRAFT UTILITY (LCU)*
(SIMULASI PEMBEBANAN KAPAL ADRI *LCU I*)


Disusun dan diajukan oleh :

MUHAMMAD ISRAQ LUKMAN
D33116013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 15 Juli 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Haryanti Rivai, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197902252002122001

Pembimbing Pendamping,



Ir. Rahimuddin, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197108251999031002

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Faisal Sabirin, ST., M. Inf. Tech., M. Eng.
NIP. 198102112005011003

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul skripsi : Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem
Kelistrikan Pada Kapal *Landing Craft Utility (LCU)*
(Simulasi Pembebanan Kapal ADRI LCU I)

Nama Mahasiswa : Muhammad Israaq Lukman

NIM : D33116013

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh Panitia Ujian Sarjana
Program Strata Satu (S1) Teknik Sistem Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 15-07-2021

Panitia Ujian Sarjana

Ketua : Haryanti Rivai, ST., MT., Ph.D.

Sekretaris : Ir. Rahimuddin, ST., MT., Ph.D.

Anggota : M. Rusydi Alwi, ST., MT

: Ir. Zulkifli, MT

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Israaq Lukman

NIM : D33116013

Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Kelistrikan Pada Kapal Landing Craft Utility (LCU) (Simulasi Pembebanan Kapal ADRI LCU I)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Israaq Lukman

ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL LANDING CRAFT UTILITY (LCU) (SIMULASI PEMBEBANAN KAPAL ADRI LCU I)

Muhammad Israaq Lukman ¹⁾

Haryanti Rivai, ST , MT , Ph.D. ²⁾

Ir.Rahimuddin, ST , MT , Ph.D. ²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

²⁾Dosen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

Email : muhammadisraq.lukman@gmail.com

ABSTRAK

Daya listrik memberikan peran sangat penting dalam kehidupan masyarakat serta dalam pengembangan berbagai sektor ekonomi. Dalam kenyataan ekonomi modern sangat bergantung pada listrik sebagai input dasar. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah pembangkit listrik dan kapasitas akibatnya di saluran transmisi yang menghubungkan stasiun pembangkit ke pusat-pusat beban akan meningkat. Namun, hal yang perlu diperhatikan dalam sistem saluran transmisi yang menghubungkan stasiun pembangkit ke pusat-pusat beban adalah aspek stabilitas tegangan dan frekuensi. Peningkatan kebutuhan listrik pada berbagai sektor tak terkecuali pada sektor maritim, khususnya pada penggunaan listrik di kapal perlu diperhatikan faktor keamanan. Menurut database KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) tahun 2018, presentase jenis kecelakaan pada transportasi laut dimana kasus kapal terbakar/ meledak menjadi presentase tertinggi yaitu 25 % dibandingkan kasus yang lain seperti tenggelam sebesar 20,84 %, kandas sebesar 12,5 %, tabrakan sebesar 8,3 %, terbalik sebesar 8,3 %, miring sebesar 8,3 %, dan lain-lain sebesar 16,67 %. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai stabilitas tegangan steady state, transient, dan dynamic pada sistem kelistrikan di Kapal ADRI LCU I dalam kondisi cargo handling (bongkar muat) lalu dibandingkan dengan standar variasi tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC melalui simulasi pembebanan lepasnya generator (generator outage), (pelepasan beban) load shedding, motor starting, dan variasi pembebanan 20%-100 load factor. Simulasi dilakukan dengan aplikasi Electrical Transient Analysis Program (ETAP). Hasil penelitian menunjukkan nilai respon stabilitas tegangan dengan simulasi cargo handling-1Gen.OFF, cargo handling-2Gen.OFF, cargo handling-1Gen.OFF+LSI tidak berada dalam kondisi aman. Sedangkan untuk nilai respon stabilitas frekuensi dengan simulasi cargo handling-2Gen.OFF tidak berada dalam kondisi aman. Adapun untuk simulasi pembebanan yang lain, respon frekuensi dan tegangan masih berada dalam kondisi aman.

Kata Kunci : transient, steady state, landing craft utility.

VOLTAGE STABILITY ANALYSIS IN THE ELECTRICITY SYSTEM OF A LANDING CRAFT UTILITY (LCU) SHIP (ADRI LCU I SHIP LOADING SIMULATION)

Muhammad Israq Lukman ¹⁾

Haryanti Rivai, ST , MT , Ph.D. ²⁾

Ir.Rahimuddin, ST , MT , Ph.D. ²⁾

¹⁾ Students of Marine Engineering FT-UH

²⁾ Lecturer of Marine Engineering FT-UH

Email : muhammadisraq.lukman@gmail.com

ABSTRACT

Electric power plays a very important role in people's lives and in the development of various economic sectors. In reality, the modern economy relies heavily on electricity as the basic input. This causes an increase in the number of power plants and consequently the capacity in the transmission lines connecting the generating stations to the load centers will increase. However, the thing that needs to be considered in the transmission line system that connects the generating station to the load centers is the aspect of voltage and frequency stability. The increase in demand for electricity in various sectors including the maritime sector, especially in the use of electricity on ships, requires attention to the safety factor. According to the NTSC database (National Transportation Safety Committee) in 2018, the percentage of types of accidents in sea transportation where cases of burning/exploding ships became the highest percentage, namely 25% compared to other cases such as drowning by 20.84%, running aground 12.5%, collision by 8.3%, inversely by 8.3%, skewed by 8.3%, and others by 16.67 %. The purpose of this study is to determine the value of steady state, transient, and dynamic voltage stability in the electrical system on the ADRI LCU I ship in cargo handling conditions (loading and unloading) and then compare it with the standard variations in the voltage and frequency of the AC distribution system through a simulation of loading the release of the generator outage), (load shedding) load shedding, motor starting, and loading variations of 20% -100 load factor. The simulation is carried out using the Electrical Transient Analysis Program (ETAP) application. The results showed that the value of the stress stability response with the simulation of cargo handling-1Gen.OFF, cargo handling-2Gen.OFF, cargo handling-1Gen.OFF + LSI was not in a safe condition. Meanwhile, the frequency stability response value with cargo handling-2Gen.OFF simulations is not in a safe condition. As for other loading simulations, the frequency and voltage responses are still in a safe condition.

Keywords: transient, steady state, landing craft utility

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Segala puji bagi Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini yang berjudul “Analisis Stabilitas Tegangan Pada Sistem Kelistrikan Kapal *Landing Craft Utility (LCU)* (Simulasi Pembebanan Kapal ADRI *LCU I*)” dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat senantiasa pula kita haturkan kepada nabi Muhammad SAW.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program S1 (Strata Satu) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih setinggi-tingginya kepada :

1. **Orang tua dan keluarga** yang senantiasa memberikan doa, motivasi, dan dukungan materi demi keberlangsungan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. **Ibu Haryanti Rivai, ST., MT., Ph.D.** dan Bapak **Ir.Rahimuddin, ST., MT.,Ph.D.**, selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak **Dr.Ir.Eng Faisal Mahmuddin, ST. M.Eng. M.Inf.Tech** selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam memberikan pengarahan selama dalam pengerjaan skripsi ini.

4. **Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan**, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama dalam proses perkuliahan.
5. **Seluruh kawan mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Khususnya sesama angkatan 2016** yang senantiasa memberi banyak motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui bersama.
6. **Seluruh teman-teman Cruizer 2016** atas motivasi dan dukungannya.
7. **Staf tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan** yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. **Teman-teman Kuliah Kerja Nyata Tematik (KKN-T) Gelombang 104 Wilayah Sinjai 3**, atas kebersamaannya yang singkat namun sangat memotivasi.
9. **Teman-teman Baskal Area**, atas segala kebersamaan yang dilalui dan juga memberikan banyak pembelajaran.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini.

Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis.

Gowa, 3 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah.....	4
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Manfaat Penelitian	5
I.5. Batasan Masalah	5
I.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. Kapal ADRI LCU I	7
II.2. Sistem Pembangkit Listrik di Kapal.....	7
II.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik Utama.....	7
II.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik Darurat	8
II.3. Generator	9
II.3.1. Beban Kerja (<i>Load Factor</i>) Generator Kapal.....	10
II.3.2. Faktor Kesamarataan (<i>Diversity Factor</i>) Generator Kapal	10
II.3.3. Daya Reaktif Generator	10
II.4. Analisis Aliran Daya (Power Flow Analysis)	11

II.4.1. Klasifikasi Bus.....	12
II.4.2 Metode Analisis Aliran Daya	13
II.4.3. Metode <i>Newton-Rhapson</i>	14
II.5. Stabilitas Sistem Tenaga Listrik.....	15
II.6. Definisi Kestabilan Transien	16
II.6.1. Stabilitas Sudut Rotor.....	21
II.6.2. Stabilitas Frekuensi	21
II.6.3. Stabilitas Tegangan	22
II.7. Standar Batas Operasi Tegangan.....	22
II.8. Pemodelan <i>Electrical Transient Analysis Program</i>	23
II.9. Analisa Kestabilan Kondisi <i>Transient</i>	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
III.2. Studi Literatur.....	26
III.3. Pengumpulan Data.....	27
III.4. Pemodelan Rangkaian	27
III.5. Analisis Stabilitas Tegangan Pemodelan dan Hasil Data.....	29
III.6. <i>Flowchart</i>	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Gambaran Umum	31
IV.2 Perencanaan Simulasi Pembebanan Kapal ADRI <i>LCU I</i>	31
IV.3 Simulasi Kestabilan <i>Transient</i>	34
IV.3.1. Simulasi Kestabilan <i>Transient</i> Generator Lepas/Generator Outage	34
IV.3.1.1. <i>Cargo Handling</i> = terjadi 1 Gen.OFF	35
IV.3.1.2. <i>Cargo Handling</i> = terjadi 2Gen.OFF	37
IV.3.1.3. <i>Cargo Handling</i> = terjadi 1Gen.OFF + LS1	39
IV.3.2 Analisa Kestabilan Transien Starting Motor	40
IV.3.2.1 MS1 : 1 motor berputar ketika sistem beroperasi selama 3 detik	41
IV.3.2.3 MS1 : 2 motor berputar ketika sistem beroperasi selama 5 detik	43
IV.3.3 <i>Cargo Handling</i> 20-100% <i>Load Factor</i>	45
IV.3.3.1 <i>Cargo Handling</i> 20% <i>Load Factor</i>	45
IV.3.1.2 <i>Cargo Handling</i> 40% <i>Load Factor</i>	46

IV.3.1.3 <i>Cargo Handling 60% Load Factor</i>	47
IV.3.1.4 <i>Cargo Handling 80% Load Factor</i>	49
IV.3.1.5 <i>Cargo Handling 100% Load Factor</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	53
V.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Kapal ADRI LCU I	7
	Gambar 2.2 Garis besar sistem tenaga listrik.....	18
	Gambar 2.3 Perilaku generator saat terjadi gangguan	29
	Gambar 2.4 Klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik	21
	Gambar 2.5 Tampilan <i>Electrical Transient Analysis Program</i>	24
	Gambar 3.1 <i>Single line diagram</i> pada <i>software</i>	28
	Gambar 4.1 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 1.....	35
	Gambar 4.2 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 1	36
	Gambar 4.3 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 2.....	37
	Gambar 4.4 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 2	38
	Gambar 4.5 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 3.....	39
	Gambar 4.6 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 3	39
	Gambar 4.7 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 4.....	41
	Gambar 4.8 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 4	42
	Gambar 4.9 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 5.....	43
	Gambar 4.10 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 5	44
	Gambar 4.11 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 6.....	45
	Gambar 4.12 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 6	46
	Gambar 4.13 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 7.....	46
	Gambar 4.14 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 7	47
	Gambar 4.15 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 8.....	48
	Gambar 4.16 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 8	48
	Gambar 4.17 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 9.....	49
	Gambar 4.18 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 9	50
	Gambar 4.19 <i>Bus Frequency</i> Simulasi 10.....	50
	Gambar 4.20 <i>Bus Voltage</i> Simulasi 10	51

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Standar variasi tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC.....	22
Tabel 2.2	Standar variasi tegangan sistem distribusi DC	22
Tabel 4.1	Perencanaan simulasi pembebanan.....	33
Tabel 4.2	Respon Tegangan dan Frekuensi Pada Simulasi Pembebanan.....	52

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

LCU	= <i>Landing Craft Utility</i>
AVR	= <i>Automatic Voltage Regulator</i>
DWT	= <i>Dead Weight Tonnage</i>
MSB	= <i>Main Switchboard</i>
AC	= <i>Alternating Current</i>
DC	= <i>Direct Current</i>
V	= Tegangan (volt)
R	= Hambatan (ohm)
I	= Arus (ampere)
P	= Daya (Watt)
W	= Energi listrik (Joule)
t	= Waktu (sekon)
$\cos \varphi$	= Faktor daya
S	= Daya Kompleks (VA)
P	= Daya Aktif (W)
Q	= Daya Reaktif (VAR)
\hat{E}_t	= Tegangan Terminal Generator (V)
\hat{I}_t	= Arus Terminal Generator (A)
\emptyset	= Sudut Faktor Daya
Y_{Bus}	= Admitansi Bus
S_i	= Daya Kompleks pada bus i (VAR)
I_i	= Arus (Ampere)

- I_i = Arus (Ampere)
- Y_{ij} = Admitansi Bus ij
- V_i = Tegangan pada Bus i (Volt)
- θ_{ij} = Sudut Admitansi Bus ij
- δ_i = Sudut Phasa Tegangan Bus i
- J_n = Matriks Jacob

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Kebutuhan Daya Listrik Kapal ADRI LCU I.....	57
Lampiran 2 <i>Bus</i> Cabang.....	62
Lampiran 3 Spesifikasi <i>Auxiliary Engine</i>	69
Lampiran 4 Dokumentasi Pengambilan Data.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Daya listrik memberikan peran sangat penting dalam kehidupan masyarakat serta dalam pengembangan berbagai sektor ekonomi. Dalam kenyataan ekonomi modern sangat bergantung pada listrik sebagai *input* dasar. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah pembangkit listrik dan kapasitas akibatnya di saluran transmisi yang menghubungkan stasiun pembangkit ke pusat-pusat beban akan meningkat. Namun, hal yang perlu diperhatikan dalam sistem saluran transmisi yang menghubungkan stasiun pembangkit ke pusat-pusat beban adalah aspek stabilitas tegangan dan frekuensi.[1]

Peningkatan kebutuhan listrik pada berbagai sektor tak terkecuali pada sektor maritim, khususnya pada penggunaan listrik di kapal perlu diperhatikan faktor keamanan. Menurut *database* KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) tahun 2018, presentase jenis kecelakaan pada transportasi laut dimana kasus kapal terbakar/ meledak menjadi presentase tertinggi yaitu 25 % dibandingkan kasus yang lain seperti tenggelam sebesar 20,84 %, kandas sebesar 12,5 %, tabrakan sebesar 8,3 %, terbalik sebesar 8,3 %, miring sebesar 8,3 %, dan lain-lain sebesar 16,67 %.[2]

Sistem daya listrik dalam kapal didesain untuk menyediakan suplai listrik yang aman untuk semua beban dengan proteksi yang memadai untuk peralatan dan pengoperasian personil. Secara umum skema sistem daya listrik kapal

umumnya hamper sama. *Generator* utama AC (kadang disebut *Alternator*) menghasilkan daya listrik. Sebuah *emergency generator* dan *emergency switchboard* menjaga pasokan dalam hal terjadi kegagalan daya utama.

Untuk jaringan yang sangat kompleks dimana beberapa pembangkit saling terkoneksi satu sama lain maka keluaran daya elektris berupa besaran seperti tegangan dan frekuensi haruslah diperhatikan agar tidak ada pembangkit yang kelebihan beban dan pembangkit yang lain bebannya kecil. Gabungan *power rating* dari *generator* ditentukan oleh keseluruhan kebutuhan beban listrik kapal. Kapal penumpang besar biasanya memiliki empat generator besar 10 MW atau lebih untuk memasok penggerak listrik motor dan layanan akomodasi yang ekstensif di atas kapal. Sebuah kapal *cargo* mungkin memiliki dua generator utama biasanya bernilai dari 350 kW sampai 1000 kW yang cukup untuk memasok organisasi pelengkap ruang mesin saat di laut dan derek atau *crane* untuk menangani muatan saat di pelabuhan.

Beban terbatas diperlukan dalam keadaan *emergency* mensyaratkan bahwa sebuah *emergency generator* harus bernilai sekitar 10 kW untuk kapal kecil dan sekitar 300 kW atau lebih untuk kapal *cargo*. Pembuat kapal harus memperkirakan jumlah dan nilai daya *generator* dengan memperhitungkan kebutuhan daya dari beban untuk semua situasi baik di laut ataupun di pelabuhan.

Sistem tenaga listrik mempunyai variasi beban yang sangat dinamis dimana setiap detik akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan pasokan daya listrik tetap dan harus disupply dengan besaran daya yang sesuai, bila pada saat

tertentu terjadi lonjakan atau penurunan beban yang tidak terduga maka perubahan ini sudah dapat dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yakni kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan baik pada pembangkit ataupun pada sistem transmisi sehingga mengakibatkan kerja dari pembangkit yang lain menjadi lebih berat. Untuk itu diperlukan satu penelaahan kestabilan agar pembangkit yang terganggu tidak terlepas dari sistem.

Analisis kestabilan biasanya digolongkan ke dalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu :

- 1) Kestabilan keadaan tetap (*Steady State Stability*)
- 2) Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)
- 3) Kestabilan Peralihan (*Transient Stability*)

Salah satu jenis kapal yang berfungsi sebagai kapal angkutan, yaitu kapal *Landing Craft Utility (LCU)*. *LCU* adalah tipe kapal boat yang digunakan untuk kekuatan *amphibious* memindahkan peralatan dan pasukan ke pantai. Kapal ini juga dapat memindahkan kendaraan rantai atau roda dan pasukan penyerang ke pantai tanpa diperlukan dermaga. *Landing Craft* modern merupakan pengembangan dari *Higgins Boats* yang di desain oleh *Andrew Higgins* berdasarkan kapal yang beroperasi di rawa. *LCU* adalah penyederhanaan desain kapal *Landing Craft Tank (LCT) Mark 5* yang beroperasi di laut Pasifik selama perang dunia II dan selama perang Korea. *LCU* diklasifikasikan sebagai kapal-kapal master dalam pendaratan pasukan.[3]

Dalam tulisan ini, penulis menggunakan analisis kestabilan peralihan (*transient stability*) karena dianggap lebih sesuai dengan sifat dan besarnya gangguan sehingga sistem kehilangan stabilitas karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem. Selain itu, juga dilakukan simulasi pembebanan 20%-100% *load factor* untuk mengetahui kestabilan keadaan tetap (*steady state stability*) dan analisis *dynamic*. Adapun untuk kapal yang akan dijadikan obyek dalam penelitian ini adalah kapal ADRI LCU I milik Tentara Nasional Indonesia (TNI) Angkatan Darat.

I.2. Rumusan Masalah

Masalah-masalah yang harus diselesaikan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana nilai stabilitas *tegangan steady state, transient, dan dynamic* pada sistem kelistrikan di kapal ADRI LCU I jika terjadi gangguan pada rangkaian?
2. Bagaimana pengaruh nilai stabilitas *tegangan steady state, transient, dan dynamic* terhadap sistem kelistrikan kapal ADRI LCU I.
3. Bagaimana skema tindakan pelepasan beban untuk menstabilkan tegangan?

I.3. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi nilai stabilitas *tegangan steady state, transient, dan dynamic* pada sistem kelistrikan di kapal ADRI LCU I
2. Mengetahui pengaruh nilai stabilitas *tegangan steady state, transient, dan dynamic* terhadap sistem kelistrikan kapal ADRI LCU I.

3. Menganalisa skema tindakan pelepasan beban untuk menstabilkan tegangan

I.4. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk berbagai pihak.

Adapun manfaat yang diperoleh antara lain :

1. Dapat mengamati tegangan pada sistem kelistrikan *single-line diagram* di kapal agar memiliki nilai yang lebih stabil.
2. Sebagai penunjang untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai analisis stabilitas tegangan di kapal.

I.5. Batasan Masalah

1. Data peralatan dan komponen kapal yang digunakan adalah rancangan kapal ADRI LCU I.
2. Simulasi menggunakan *Electrical Transient Analysis Program* yang dilakukan dengan menampilkan kondisi sistem dalam keadaan bongkar muat/Cargo Handling.
3. Hanya menganalisa karakteristik tegangan dari output generator pada *single-line diagram* yang dimodelkan *Electrical Transient Analysis Program*.

I.6 Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II. LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan pembahasan penelitian.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data dan kerangka pemikiran.

BAB IV. PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang diperoleh dari pengolahan data dan penelitian.

BAB V. PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Kapal ADRI LCU I

Kapal ADRI LCU I adalah jenis kapal yang digunakan oleh Angkatan Darat untuk mengangkut sumber daya dan pasukan ke pantai. Kapal berbobot 1.500 *Dead Weight Tonnage* (DWT) itu dapat digunakan untuk melayani perpindahan ke daerah-daerah terpencil dan dioperasikan oleh Satuan Angkutan Air Pusat Perbekalan Angkatan Angkatan Darat (Satangair Pusbekangad). Kapal ini memiliki sistem pertahanan dengan persenjataan CIS 150 kaliber 12.7 mm dan Senapan Mesin Ringan (SMR).



Gambar II.1 Kapal ADRI LCU I

(Sumber : www.militermeter.com)

II.2. Sistem Pembangkit Listrik di Kapal

II.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik Utama

Setiap kapal laut umumnya memiliki sekurang-kurangnya dua pembangkit tenaga listrik utama, yaitu:

a. *Generator* utama (*main generator*)

b. *Generator* cadangan (*stand by generator*)

Jika dalam pelayanan *generator* utama mengalami kerusakan, maka *stand by generator* dapat dioperasikan dan harus menanggung beban operasi sebelumnya. Demikian pula pada kapal yang menggunakan dua atau lebih *generator* utama, bila salah satu *generator* utama mengalami gangguan maka *stand by generator* harus dapat diparalelkan dengan *generator* utama yang tidak mengalami kerusakan untuk menanggung beban operasi sebelumnya diparalelkan dengan *generator* utama yang tidak mengalami kerusakan untuk menanggung beban operasi sebelumnya.[4]

Pada saat *stand by generator* menggantikan fungsi *generator* utama yang mengalami kerusakan maka pemakai daya listrik yang tidak penting harus diputuskan. Setelah *stand by generator* mencapai putaran nominalnya maka perlengkapan pemakai daya listrik dihubungkan kembali ke rangkaiannya.

II.2.2 Pembangkit Tenaga Listrik Darurat

Pembangkit tenaga Listrik darurat dipersiapkan untuk menyuplai peralatan pemakai daya listrik yang penting jika terjadi gangguan dan kerusakan pada pembangkit tenaga listrik utama.[4]

Suatu sumber daya listrik darurat pada kapal laut harus disediakan yang mampu memberi daya kepada seluruh perlengkapan listrik dan peralatan pemakai daya yang diperlukan bagi keselamatan penumpang dan awak kapal untuk jangka waktu 36 jam.

Penyediaan daya listrik bagi sistem-sistem berikut ini harus dijamin secara khusus:

- a. Lampu-lampu navigasi termasuk lampu penerangan di tempat-tempat penting.
- b. Instalasi radio.
- c. Sistem komunikasi, indikasi dan tanda bahaya, penentu arah dan penolong navigasi.
- d. Lampu-lampu signal light harian, apabila diberi daya dari jaringan listrik kapal.
- e. Sistem tanda bahaya umum.
- f. Sistem tanda bahaya CO₂

Pembangkit listrik tenaga darurat ini diperhitungkan mampu mengatasi pelayanan beban-beban utama pada keadaan darurat.

Sumber daya listrik darurat yang umum dipakai adalah baterai penyimpan (*storage batteries*) atau *generator* yang ditempatkan di bangunan atas kapal. Sumber ini mengambil alih suplai daya secara otomatis dalam hal main failure dan tetap dalam suatu posisi guna memberi daya peralatan-peralatan pemakai daya yang disebutkan di atas selama periode tertentu tanpa pengisian kembali dan tanpa jatuh tegangan.

II.3 Generator

Generator adalah alat bantu kapal yang berguna untuk memenuhi kebutuhan listrik diatas kapal. Dalam penentuan kapasitas generator kapal yang akan digunakan untuk melayani kebutuhan listrik diatas kapal maka analisa beban

dibuat untuk menentukan jumlah daya yang dibutuhkan dan variasi pemakaian untuk kondisi operasional seperti manuver, berlayar, berlabuh atau bersandar serta beberapa kondisi lainnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui daya minimum dan maksimum yang dibutuhkan.

II.3.1. Beban Kerja (*Load Factor*) Generator Kapal

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*.

II.3.2. Faktor Kesamarataan (*Diversity Factor*) Generator Kapal

Peralatan listrik di kapal memiliki pembebanan spesifik dikarenakan peralatan bekerja pada pemakaian yang tidak teratur secara bersamaan. Pembebanan pada kapal dibagi menjadi dua yaitu :

1. Beban kontinyu (*Continous Load*) generator kapal

Beban ini terdapat pada peralatan yang digunakan secara terus-menerus selama pelayaran. Contohnya lampu navigasi, pompa untuk CPP, dll.

2. Beban generator kapal Terputus – putus (*Intermitten Load*)

Beban ini terdapat pada peralatan yang digunakan secara periodik selama pelayaran. Contohnya pompa transfer bahan bakar, pompa air tawar, dll.[5]

II.3.3. Daya Reaktif Generator

Kemampuan daya reaktif generator dibatasi kemampuan penggerak utama (prime mover) terhadap nilai rating MVA generator. Sedangkan daya reaktif yang

dihasilkan generator dibatasi tiga parameter, batas arus medan (*field current limit*), batas arus jangkar (*armature current limit*) dan batas pemanasan bagian ujung (*end regional heating limit*).

$$S = P + Jq = \hat{E}_t \hat{I}_t^* \quad (1)$$

$$= |Et||It|(\cos\emptyset + j\sin\emptyset)$$

Keterangan :

S = Daya Kompleks (VA)

P = Daya Aktif (W)

Q = Daya Reaktif (VAR)

\hat{E}_t = Tegangan Terminal Generator (V)

\hat{I}_t = Arus Terminal Generator (A)

\emptyset = Sudut Faktor Daya

II.4. Analisis Aliran Daya (Power Flow Analysis)

Pada sistem tenaga listrik, daya mengalir dari pusat pembangkitan menuju beban dengan melalui cabang-cabang yang berbeda pada jaringan. Aliran daya aktif dan daya reaktif diketahui sebagai aliran daya (power flow) atau aliran beban (load flow). Analisis aliran beban ini sangat penting dilakukan pada saat perancangan pengembangan sistem tenaga listrik dimasa yang akan datang. Analisis ini dilakukan untuk melihat efek-efek interkoneksi sistem yang ada dengan sistem baru, beban yang baru, pusat pembangkit listrik yang baru, jaringan

transmisi yang baru sebelum semuanya beroperasi agar kualitas sistem tenaga listrik yang ada nanti akan sesuai dengan standar yang ada

Studi aliran beban ini menyediakan pendekatan matematika secara sistematis untuk mengetahui tegangan bus, sudut fasa, daya aktif dan reaktif yang mengalir melalui jaringan, generator, setting transformator dan beban pada saat keadaan steady state.

II.4.1 Klasifikasi Bus

Di dalam studi tenaga listrik, termasuk studi aliran daya, bus-bus jaringan dibedakan menjadi 3 macam bus, yaitu :

a. Slack Bus

Bus ini digunakan sebagai bus referensi yang berguna dalam kondisi menyeimbangkan daya. Slack bus biasanya berupa unit pembangkitan yang dapat digunakan kapanpun dibutuhkan untuk memastikan daya seimbang. Variabel yang diketahui pada bus ini adalah $|V|$ dan δ , serta yang tidak diketahui adalah P dan Q.

b. Generator Bus (PV Bus)

Bus ini merupakan bus kontrol tegangan. Bus ini dihubungkan dengan unit generator yang mana daya keluaran yang dibangkitkan melalui bus ini dapat dikontrol dengan mengatur prime mover dan tegangan dapat dikontrol dengan mengatur eksitasi dari generator. Variabel yang diketahui pada bus ini adalah P dan $|V|$, serta yang tidak diketahui adalah Q dan δ .

c. Load Bus (PQ Bus)

Bus ini merupakan bus non-generator yang dapat diperoleh dari data historikal, perhitungan ataupun peramalan. Suplai daya aktif dan reaktif

pada sistem tenaga didefinisikan positif, sedangkan daya yang dikonsumsi oleh sistem tenaga didefinisikan negatif. Pada bus ini, beban daya aktif dan reaktif berkumpul. Variabel yang diketahui pada bus ini adalah P dan Q, serta yang tidak diketahui adalah |V| dan δ .

II.4.2 Metode Analisis Aliran Daya

Untuk menghitung dan menganalisis aliran daya, langkah awal yang dilakukan adalah membentuk matrik admitansi bus sistem tenaga listrik dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} \quad (1)$$

Dan persamaan arus pada bus adalah :

$$I_{bus} = Y_{bus}V_{bus} \quad (2)$$

Persamaan tersebut dapat dituliskan kedalam bentuk umum untuk sistem n bus:

$$I_i = \sum_j^n Y_{ij}V_j \quad \text{untuk } i = 1, 2, 3, n \quad (3)$$

Atau:

$$I_i = V_i \sum_j^n Y_{ij} - \sum_{j \neq i}^n Y_{ij}V_j \quad \text{untuk } j \neq i \quad (4)$$

Daya kompleks yang dikirim ke bus i adalah:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (5)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (6)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (4) dengan persamaan (6), maka persamaan menjadi:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i} = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (7)$$

Keterangan:

Y_{Bus} : Admitansi Bus

S_i : Daya Kompleks pada bus i (VAR)

I_i : Arus (Ampere)

II.4.3. Metode *Newton-Raphson*

Pada dasarnya ada 3 metode yang sering digunakan untuk perhitungan aliran daya. Untuk sistem tenaga listrik yang berskala besar, metode *Newton-Raphson* lebih efisien dan praktis, dimana jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk perhitungan lebih sedikit jika dibandingkan dengan metode yang lainnya. Dalam metode ini, persamaan aliran daya pada persamaan (3) dirumuskan dalam bentuk polar.

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (8)$$

Daya aktif dan reaktif pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i * I_i \quad (9)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (8) ke persamaan (9) akan diperoleh persamaan :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (10)$$

Bagian real dan imajiner persamaan (10) kemudian dipisahkan:

$$P_i = \sum_j^n = 1 |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (11)$$

$$Q_i = - \sum_j^n = 1 |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (12)$$

Persamaan diatas dikembangkan dari deret Taylor seperti persamaan berikut ini:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (13)$$

Perhitungan untuk sudut fasa dan tegangan bus yang baru adalah:

$$\delta^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (14)$$

$$|V^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (15)$$

Keterangan rumus:

I_i : Arus (Ampere)

Y_{ij} : Admitansi Bus ij

V_i : Tegangan pada Bus i (Volt)

θ_{ij} : Sudut Admitansi Bus ij

δ_i : Sudut Phasa Tegangan Bus i

J_n : Matriks Jacobian

II.5. Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem untuk mendapatkan kembali kesetimbangan kondisi operasi setelah mengalami

gangguan. Integritas sistem dipertahankan ketika keseluruhan sistem tenaga listrik tetap utuh tanpa pemutusan generator atau beban, kecuali untuk mengisolasi dari elemen yang mengalami gangguan atau sengaja diputuskan untuk mempertahankan kontinuitas operasi sistem.

Sistem tenaga listrik adalah sistem yang beroperasi dengan perubahan beban, keluaran generator, topologi, dan parameter operasi lain secara kontinyu. Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua, yaitu gangguan kecil dan besar. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban yang terjadi secara kontinyu dan sistem akan menyesuaikan dengan perubahan kondisi. Sistem harus dapat beroperasi dibawah setiap kondisi secara ideal dan sesuai dengan permintaan beban. Sistem juga harus dapat dipertahankan dari gangguan besar seperti hubungan singkat saluran transmisi. Pengklasifikasian stabilitas sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian, yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan.[6]

II.6. Definisi Kestabilan Transien

Dalam keadaan operasi yang stabil dari sistem tenaga listrik terdapat keseimbangan antara daya mekanis pada *prime mover* dengan daya listrik/beban listrik pada sistem. Dalam keadaan ini semua generator berputar pada kecepatan sinkron. Hal ini terjadi bila setiap kenaikan dan penurunan beban harus diikuti dengan perubahan daya *input* mekanis pada *prime mover* dari generator-generator. Bila daya *input* mekanis tidak cepat mengikuti dengan perubahan beban dan rugi-rugi sistem maka kecepatan rotor generator (frekuensi sistem) dan tegangan akan menyimpang dari keadaan normal terutama jika terjadi gangguan, maka sesaat

terjadi perbedaan yang besar antara daya mekanis pada generator dan daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Kelebihan daya mekanis terhadap daya listrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya, bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera maka percepatan dan perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem, berdasarkan referensi.[7]

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem. Batas stabilitas sistem adalah daya-daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem tanpa menyebabkan hilangnya stabilitas.[7]

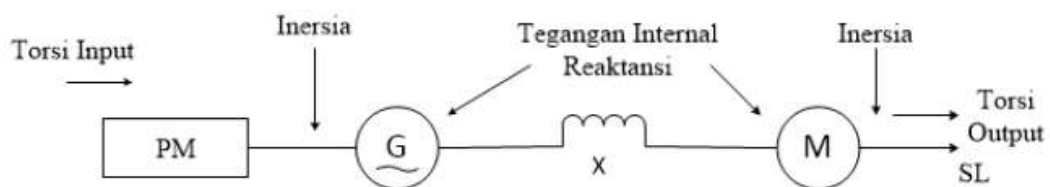
Berdasarkan sifat gangguan masalah stabilitas sistem tenaga listrik dibedakan atas:

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

Stabilitas *steady state* adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (fluktuasi beban). Stabilitas transien adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak sekitar satu ayunan atau satu *swing* pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) belum bekerja. Sedangkan stabilitas dinamis adalah bila setelah ayunan pertama (periode

stabilitas transien) sistem mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem dalam keadaan seimbang yang baru (stabilitas transien bila AVR dan governor bekerja cepat dan diperhitungkan dalam analisis), berdasarkan referensi.

Ketidakeimbangan antara daya pembangkit dengan beban menimbulkan suatu keadaan transien yang menyebabkan rotor dari mesin sinkron berayun karena adanya torsi yang mengakibatkan percepatan atau perlambatan pada rotor tersebut. Kehilangan sinkronisasi ini terjadi bila torsi tersebut cukup besar, maka salah satu atau lebih dari mesin sinkron tersebut akan kehilangan sinkronisasinya, misalnya terjadi ketidakseimbangan yang disebabkan adanya daya pembangkit yang berlebihan, maka sebagian besar dari energi yang berlebihan akan diubah menjadi energi kinetik yang mengakibatkan percepatan sudut rotor bertambah besar, walaupun kecepatan rotor bertambah besar, tidak berarti bahwa sinkronisasi dari mesin tersebut akan hilang, faktor yang menentukan adalah perbedaan sudut rotor atau daya tersebut diukur terhadap referensi putaran sinkronisasi. Berikut pada Gambar 2.5 merupakan gambar sistem kelistrikan secara umum mulai dari daya pembangkitan hingga ke beban listrik, berdasarkan referensi.[8]



Gambar 2.2 Garis Besar Sistem Tenaga Listrik

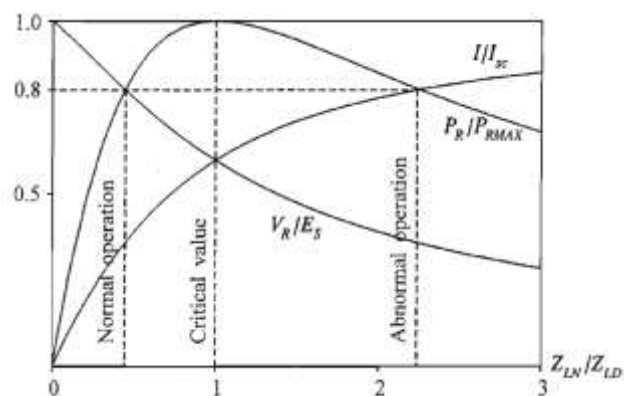
(Sumber : *Power System Stability And Control* by Prabha Kundur)

Faktor-faktor utama dalam masalah stabilitas adalah:

- 1) Faktor mekanis:

- a. Torsi input *prime* beban
 - b. Inersia dari *prime mover* dan generator
 - c. Inersia motor dan sumbu beban
 - d. Torsi input sumbu beban
- 2) Torsi listrik:
- a. Tegangan internal dari generator sinkron
 - b. Reaktansi sistem
 - c. Tegangan internal dari motor sinkron

Gangguan besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik mempengaruhi kinerja generator sehingga putaran rotor generator dapat mengalami fluktuasi kecepatan. Berikut pada Gambar 2.6 merupakan perilaku generator ketika sistem mengalami gangguan.[8]



Gambar 2.3 Perilaku Generator Saat Terjadi Gangguan
(Sumber : *Power System Stability And Control by Prabha Kundur*)

Pada titik kerja awal (sebelum terjadi gangguan), dapat diketahui bahwa timbulnya gangguan seketika mengakibatkan daya *output* generator turun secara drastis. Selisih antara daya *output* listrik tersebut dan daya mekanis turbin mengakibatkan rotor generator mengalami percepatan, sehingga sudut rotor/daya

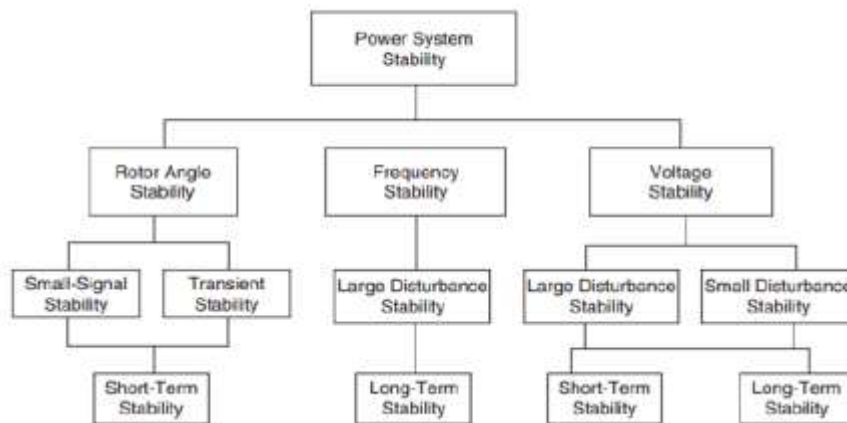
bertambah besar. Ketika gangguan hilang, daya *output* generator pulih kembali pada harga yang sesuai dengan kurva $p-\delta$ di atas.

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

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

1. Kapasitas kemampuan alternator, semakin besar daya mampu sistem tersebut maka sistem akan semakin stabil.
2. Sifat dan kapasitas beban, pembebanan yang melebihi kapasitas daya pembangkitan akan mempengaruhi kestabilan sistem secara keseluruhan. Pembebanan melebihi kapasitas dalam jangka waktu yang lama juga berpotensi mengganggu kestabilan yang mampu mengakibatkan kegagalan sistem.
3. Gangguan: jenis, lama, dan posisi gangguan pada kejadian gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan sementara/temporer mempunyai kondisi kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem yang mengalami gangguan lainnya.[9]

Stabilitas sistem tenaga listrik menentukan keandalan sistem. Semakin tinggi stabilitas suatu sistem, maka keandalan sistem juga semakin tinggi. Hal ini juga mempengaruhi umur peralatan pada sistem yang digunakan. Pengoperasian pada kestabilan yang baik tentu berdampak pada keekonomisan peralatan yang berarti penggantian peralatan akibat kerusakan dapat dihindari sebelum waktunya.[10]



Gambar 2.4 Klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik
(Sumber : *Power System Stability And Control by Prabha Kundur*)

II.6.1. Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron.

II.6.2. Stabilitas Frekuensi

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan dari sistem untuk mempertahankan kestabilan frekuensi akibat gangguan pada sistem yang mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban.

II.6.3. Stabilitas Tegangan

Kestabilan tegangan dapat diartikan sebagai kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan nilai tegangannya di semua bus pada sistem dalam kondisi operasi normal maupun setelah terjadi gangguan.

II.7. Standar Batas Operasi Tegangan

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) adalah Badan Usaha Milik Negara Indonesia yang ditunjuk sebagai satu-satunya badan klasifikasi nasional untuk melakukan pengelasan 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 2.1 dan 2.2.[11]

Tabel 2.1 Standar variasi tegangan dan frekuensi sistem distribusi AC

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

Tabel 2.2 Standar variasi tegangan sistem distribusi DC

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

II.8. Pemodelan *Electrical Transient Analysis Program*

PowerStation adalah *software* untuk *power system* yang bekerja berdasarkan perencanaan (*plant/project*). Setiap *plant* menyediakan *modelling* peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. *Electrical Transient Analysis Program PowerStation* dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load flow* (aliran daya), *short circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonics power systems*, *transient stability*, dan *protective device coordination*. Pengguna *Electrical Transient Analysis Program* dapat mendapatkan informasi mengenai kondisi sistem baik secara *offline* dengan simulasi maupun secara *online (real time)*. Dalam simulasi *software Electrical Transient Analysis Program*, pengguna *software* tersebut dapat mensimulasikan suatu gangguan pada sistem tenaga listrik yang sebelumnya sudah dilakukan permodelannya sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem setelah terjadi gangguan dan bagaimana cara menanggulangnya. Salah satu simulasi gangguan yang digunakan pada *Electrical Transient Analysis Program* adalah analisa kestabilan kondisi transien.

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

a. *One Line Diagram*

menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.

b. *Library*

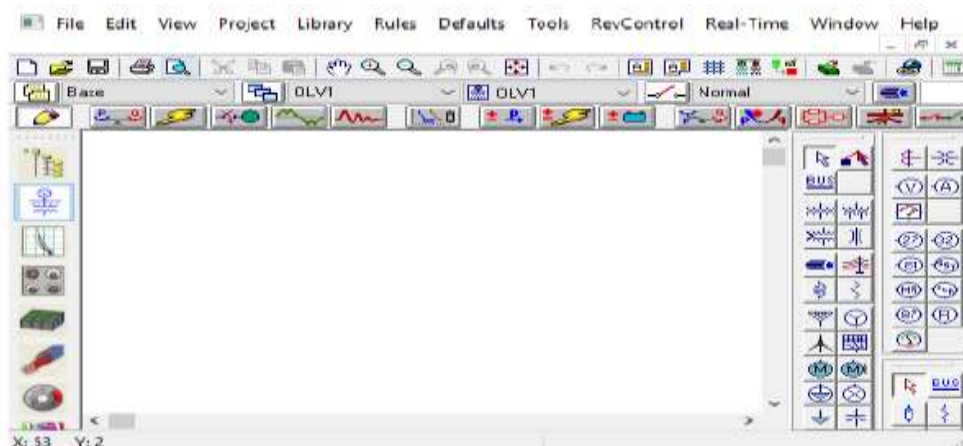
informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.

c. Standar yang dipakai

biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai. Perbedaan antara standart IEC dan ANSI terletak pada standar frekuensi yang digunakan yang mengakibatkan perbedaan spesifikasi peralatan yang digunakan. Jika pada standar IEC nilai frekuensi yang digunakan adalah 50Hz, sedangkan standart ANSI nilai frekuensi yang digunakan adalah 60Hz

d. *Study Case*

Berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.



Gambar 2.5 Tampilan *Electrical Transient Analysis Program*

II.9. Analisa Kestabilan Kondisi *Transient*

Kestabilan *transient* adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak dalam waktu satu *swing* yang pertama. Dengan asumsi pengatur tegangan otomatis (*AVR*) dan *governor* belum bekerja.

Adapun faktor yang mempengaruhi stabilitas transien :

1. Seberapa besar *generator* tersebut dibebani.
2. Output *generator* selama gangguan. Hal ini tergantung dari lokasi gangguan dan tipe gangguan.
3. Waktu Pemutusan gangguan.
4. Reaktansi sistem transmisi setelah gangguan.
5. Reaktansi *generator*. Reaktansi yang rendah meningkatkan daya puncak.
6. Inersia *generator*. Inersia yang besar, menyebabkan perubahan sudut lambat. Ini menurunkan energi kinetik yang diperoleh saat gangguan.