

**ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM JARINGAN  
TRANSMISI KENDARI DENGAN MASUKNYA PLTU KENDARI-3  
2X50MW**



**TUGAS AKHIR**

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin*

*Gowa*

Oleh:

**SHELVYANA PAWILOI**

**D41114524**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2018**



**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM JARINGAN**  
**TRANSMISI KENDARI DENGAN MASUKNYA PLTU KENDARI-3 2X50 MW**

**Disusun Oleh :**

**SHELVYANA PAWILOI**

**D411 14 524**

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai kurikulum untuk memenuhi persyaratan  
guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

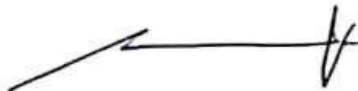
Universitas Hasanuddin

Gowa, Desember 2018

**Disahkan Oleh :**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**



**YUSRI SYAM AKIL, ST.MT., Ph.D.**

**NIP. 19770322 200501 1 001**



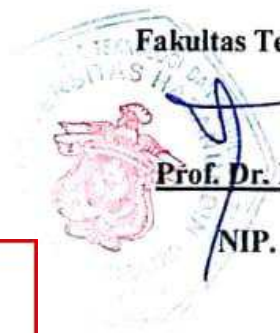
**Dr. INDAR CHAERAH GUNADIN ST.MT**

**NIP. 19731118 199803 2 001**

**Mengetahui,**

**Ketua Departemen Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**



**Prof. Dr. Ir.H. Salama Manjang, MT.**

**NIP. 19621231 199003 1 024**



## ABSTRAK

Besarnya permintaan energi listrik mengakibatkan perlunya membangun pembangkit listrik dengan kapasitas yang besar serta dalam jumlah yang cukup banyak. Apabila pembangunan pembangkit listrik tidak dapat mengimbangi pertumbuhan beban yang ada, maka menyebabkan stabilitas sistem tenaga menjadi tidak seimbang. Beroperasinya pembangkit baru di Kota Kendari akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran daya pada sistem yang sudah ada. Analisis aliran daya diperlukan untuk mengetahui dampak yang akan ditimbulkan pada sistem. Oleh karena itu dalam hal penambahan kapasitas listrik yang diakibatkan oleh pembangunan pembangkit baru harus melalui pengkajian mengenai kestabilan tegangan. Skripsi ini membahas mengenai analisis kestabilan tegangan dalam sistem jaringan transmisi Kendari dengan masuknya PLTU Kendari-3 2x50 MW. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aliran daya sebelum dan setelah masuknya PLTU Kendari-3 serta menganalisis tegangan yang terjadi pada Sistem Transmisi Kendari jika diberi skenario gangguan berupa salah satu *line* transmisi putus, beban besar lepas, hubung singkat tiga fasa pada salah satu *line* transmisi, lepasnya salah satu pembangkit dan lepasnya PLTU Kendari-3 dari sistem. Pada analisis aliran daya, terjadi kenaikan tegangan ketika PLTU Kendari-3 masuk ke sistem yang menunjukkan bahwa dengan adanya PLTU Kendari-3 dapat memperbaiki tegangan di sistem Kendari. Hasil simulasi salah satu *line* transmisi putus adalah semua bus berada pada tegangan normal yaitu di atas 0,9 p.u. Hasil simulasi beban terbesar lepas yaitu beban Ambaipua sebesar 7,9 MW adalah semua bus memiliki tegangan di atas 0,9 p.u. Sedangkan pada simulasi hubung singkat tiga fasa pada salah satu *line* transmisi, semula terjadi jatuh tegangan selama 0,2 detik, *circuit breaker* bekerja sehingga tegangan di setiap bus kembali ke tegangan normalnya. Adapun simulasi lepasnya salah satu pembangkit yaitu PLTD Poasia, pada kondisi sebelum masuknya PLTU Kendari-3 terjadi jatuh tegangan disebabkan kurangnya pasokan daya reaktif dan pada kondisi setelah masuknya PLTU Kendari-3 semua bus berada pada tegangan normal yaitu di atas 0,9 p.u dikarenakan dengan adanya PLTU Kendari-3 dengan kapasitas yang besar masih bisa memasok daya reaktif meskipun salah satu pembangkit lepas dari sistem. Simulasi lepasnya PLTU Kendari-3 dari sistem Kendari menyebabkan semua bus mengalami jatuh tegangan hingga di bawah 0,9 p.u sehingga membahayakan sistem Kendari dan menyebabkan *blackout* dan diperlukan simulasi *Load Shedding* untuk memperbaiki tegangan.

Subjek : Analisis kestabilan tegangan, transmisi, PLTU, aliran daya.



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim. Alhamdulillahirabbil'aalamin. Segala puji bagi Allah subhanahu wata'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Jaringan Transmisi Kendari dengan Masuknya PLTU Kendari-3 2x50MW". Tugas Akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, ada berbagai kendala dan hambatan yang didapati oleh penulis baik kendala teknik maupun nonteknis. Namun berkat bantuan dari berbagai pihak yang terlibat, Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis dengan kerendahan hati mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Orangtua tercinta, Ibunda Endang Lestari dan Ayahanda Achmad Dara Pawiloi yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
2. Saudara penulis Elyme Doland Pawiloi, Elyne Dyland Pawiloi dan Rien Lelyana Pawiloi atas segala dukungan dan saran yang diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT. selaku ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Yusri Syam Akil, ST.,MT.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan saran selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan saran selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

terhadap dosen, staf pengajar dan pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan dan kemudahan yang diberikan selama penulis menempuh proses perkuliahan.



7. Seluruh pihak PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Sulselrabar Opsi Sultra yang telah membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan.
8. Kepada saudari Anggriani Sultan yang telah memberikan ilmu dan sebagian waktunya untuk membantu penulis dalam memahami *software* yang digunakan.
9. Kepada saudari Sri Sudarni, Azizah Fauziah Misbahuddin, Monica Fricilia Santoso, Rosaria Ashari Rasyid, saudara Bagus Irawan Saputra dan Muh. Fachrusy Syakirin Muhiddin yang telah membantu dan memberikan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
10. Kepada seluruh anggota GFRIEND ; Sowon, Yerin, Eunha, Yuju, Sinb dan Umji yang telah menghibur dan memotivasi dikala penulis memiliki masa-masa sulit.
11. Seluruh teman-teman RECTIFIER'14 yang telah memberikan semangat dan dukungan.
12. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan yang tidak sempat penulis sebutkan.

Demikian ungkapan terima kasih penulis kepada seluruh pihak. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga penelitian ini bermanfaat bagi penulis sendiri, institusi dan masyarakat.

Gowa, November 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
I.6 Metode Penelitian.....	3
I.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1 Sistem Tenaga Listrik .....	6
II.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik .....	9
Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	11
Kestabilan Tegangan.....	11



II.4.1 Analisis Kestabilan Tegangan Dinamis .....	12
II.5 Pencegahan Jatuh Tegangan .....	13
II.6 Upaya Penanggulangan Jangka Menengah WIT .....	14
II.7 Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
III.1 Jenis Penelitian .....	17
III.2 Lokasi Penelitian .....	17
III.3 Waktu Penelitian.....	17
III.4 Diagram Alir Penelitian .....	18
III.5 Perencanaan Simulasi .....	18
III.6 Data Sistem Kendari .....	19
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
IV.1 Hasil Simulasi.....	25
IV.1.1 Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU ..	25
IV.1.2 Simulasi Gangguan Saluran Utama Transmisi Putus Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU .....	27
IV.1.3 Simulasi Gangguan Hubung Singkat Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU .....	30
IV.1.4 Simulasi Lepasnya Beban Besar Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU.....	32
IV.1.5 Simulasi Lepasnya PLTD Poasia (15 MW) Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU .....	35



IV.1.6 Simulasi Lepasnya PLTU Kendari-3 dari Sistem Kendari.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
V.1 Kesimpulan .....	42
V.2 Saran .....	42
DAFTAR PUSTAKA .....	44
LAMPIRAN .....	45





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik.....	6
Gambar 2.2 Level Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik .....	7
Gambar 2.3 Rencana Pengembangan Transmisi Sulawesi 2016-2025 .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	18
Gambar 4.1 Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik.....	25
Gambar 4.2 Grafik Tegangan pada Bus Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU .....	26
Gambar 4.3 Daya Pembangkitan Sistem Kendari Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU .....	27
Gambar 4.4 Grafik Tegangan Ketika Transmisi Putus Sebelum Masuknya PLTU .....	28
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Ketika Transmisi Putus Setelah Masuknya PLTU .....	28
Gambar 4.6 Grafik Tegangan Ketika Terjadi Hubung Singkat Sebelum Masuknya PLTU .....	30
Gambar 4.7 Grafik Tegangan Ketika Terjadi Hubung Singkat Setelah Masuknya PLTU .....	30
Gambar 4.8 Grafik Tegangan Ketika Beban Lepas Sebelum Masuknya PLTU.....	33
Gambar 4.9 Grafik Tegangan Ketika Beban Lepas Setelah Masuknya .....	33



Gambar 4.10 Grafik Tegangan Ketika PLTD Poasia Lepas Sebelum Masuknya PLTU .....	35
Gambar 4.11 Grafik Tegangan Simulasi <i>Load Shedding</i> Ketika PLTD Poasia Lepas Sebelum Masuknya PLTU .....	36
Gambar 4.12 Grafik Tegangan Ketika PLTD Poasia Lepas Setelah Masuknya PLTU .....	37
Gambar 4.13 Grafik Tegangan Ketika PLTU Kendari-3 Lepas dari Sistem Kendari .....	39
Gambar 4.14 Grafik Tegangan Simulasi <i>Load Shedding</i> Ketika PLTU Kendari-3 Lepas dari Sistem.....	40



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Bus Sistem Kendari.....	20
Tabel 3.2 Data Impedansi Saluran Sistem Kendari .....	21
Tabel 3.3 Kapasitas Pembangkit Sistem Kendari .....	22
Tabel 3.4 Data Transformer pada Sistem Kendari.....	23
Tabel 3.5 Data Beban Sistem Kendari .....	24
Tabel 4.1 Tegangan di Setiap Bus Ketika Transmisi Putus Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU.....	29
Tabel 4.2 Tegangan di Setiap Bus Ketika Hubung Singkat Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU.....	31
Tabel 4.3 Tegangan di Setiap Bus Ketika Beban Lepas Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU .....	34
Tabel 4.4 Tegangan di Setiap Bus Ketika PLTD Poasia Lepas Sebelum dan Setelah Masuknya PLTU.....	38
Tabel 4.5 Tegangan di Setiap Bus Ketika PLTU Kendari-3 Lepas dari Sistem Kendari .....	40



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### I.1. Latar Belakang

Salah satu dari bentuk energi yang memegang peranan penting dalam menunjang kehidupan manusia adalah energi listrik. Sangat pesatnya peningkatan pertumbuhan industri dan pertumbuhan perumahan saat ini, menyebabkan permintaan akan energi listrik juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan energi listrik memiliki manfaat yang begitu besar serta penting bagi kegiatan industri, kegiatan komersial maupun dalam kehidupan sehari-hari.

Besarnya permintaan energi listrik mengakibatkan perlunya membangun pusat-pusat pembangkitan energi listrik dengan kapasitas yang besar serta dalam jumlah yang cukup banyak. Karena apabila pembangunan pusat-pusat pembangkit listrik tidak dapat mengimbangi pesatnya pertumbuhan beban yang ada, maka keberlangsungan penyaluran energi listrik ke konsumen-konsumen dapat terganggu, yang menyebabkan kestabilan sistem tenaga menjadi tidak seimbang.

Seperti halnya Kota Kendari, yang saat ini rasio elektrifikasinya baru mencapai 87,7% [7]. Rasio elektrifikasi adalah perbandingan jumlah rumah tangga yang sudah terlistriki dengan total rumah tangga. Untuk mencapai angka 100% maka pembangkit listrik juga harus bertambah. Adapun masalah lainnya yaitu sering terjadinya pemadaman listrik pada tahun 2017 yang terjadi di daerah Kendari. Meski hanya beberapa menit saja, namun pemadaman itu sering terjadi. Dalam sehari pemadaman terjadi empat hingga lima kali, bahkan lebih. Maka dari itu perlunya pembangunan pusat pembangkit listrik yang baru.

Penambahan pembangkit menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kekurangan energi listrik dan pemadaman listrik yang menjadi keluhan di Kabupaten Konawe Selatan dan Kota Kendari. Oleh karena itu, sedang dibangun

kit Listrik Tenaga Uap Independent Power Producers Kendari-3 (PLTU dari-3) yang berlokasi di Desa Tanjung Tiram, Kecamatan Moramo,



Kabupaten Konawe Selatan ( $\pm 35,9$  km dari Kota Kendari dan ditempuh selama  $\pm 55$  menit) dengan kapasitas  $2 \times 50$  MW [11].

PLTU adalah pembangkit listrik yang mengubah energi kinetik uap menjadi energi listrik. PLTU membutuhkan panas yang cukup untuk menghasilkan uap yang dapat memutar turbin sehingga menghasilkan listrik. PLTU merupakan salah satu teknologi dasar bagi pembangkitan listrik. Teknologi PLTU hampir dipakai oleh semua pembangkit berbasis termal (*thermal*).

Beroperasinya pembangkit baru ini akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran daya pada sistem yang sudah ada. Analisis aliran daya diperlukan untuk mengetahui dampak yang akan ditimbulkan pada sistem. Banyak pemadaman yang disebabkan oleh fenomena ketidakstabilan sistem.

Penyebab utama ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Masalah kestabilan yang sering terjadi di sini adalah masalah beban lebih, berkurangnya pasokan daya reaktif yang pada akhirnya akan menempatkan sistem pada kondisi *voltage collapse* dan akan terjadi kemungkinan terburuk yaitu terjadinya *blackout*. Kestabilan tegangan biasanya termasuk saat terjadi gangguan besar (termasuk kenaikan beban atau transfer daya yang sangat besar). Oleh karena itu dalam hal penambahan beban oleh pelanggan atau penambahan kapasitas listrik yang diakibatkan oleh pembangunan pembangkit baru harus melalui pengkajian yang mendalam terutama dalam hal kestabilan tegangan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana aliran daya jaringan transmisi Kendari sebelum dan sesudah adanya PLTU Kendari-3  $2 \times 50$  MW ?



2. Bagaimana menganalisis kestabilan tegangan dengan memberikan beberapa skenario gangguan pada jaringan transmisi Kendari dengan masuknya PLTU Kendari-3 2x50 MW ?

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis aliran daya jaringan transmisi Kendari sebelum dan sesudah masuknya PLTU Kendari-3 2x50 MW.
2. Menganalisis kestabilan tegangan yang terjadi pada jaringan transmisi Kendari ketika diberikan beberapa skenario gangguan dengan masuknya PLTU Kendari-3 2x50 MW.

### **I.4. Batasan Masalah**

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada:

1. Sistem kelistrikan yang dianalisis adalah jaringan transmisi Kendari.
2. Jenis gangguan yang diberikan adalah ketika beban putus, ketika transmisi putus, hubung singkat tiga fasa dan lepasnya pembangkit.

### **I.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan masukan terhadap PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Sulselrabar Opsi Sultra dalam menganalisis kestabilan tegangan dinamis yang terjadi pada jaringan transmisi Kendari dengan masuknya PLTU Kendari-3 2x50 MW.
2. Sebagai bahan acuan untuk akademisi maupun praktisi yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut.

### **I.6. Metode Penelitian**

yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain:  
Literatur



Studi literatur dilakukan dengan cara mencari serta mempelajari buku-buku, jurnal dan penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan permasalahan yang terdapat pada penelitian ini.

## 2. Pengumpulan Data

Berupa pengambilan data sekunder yang digunakan sebagai data pendukung dalam penelitian ini.

## 3. Metode Analisis Data

Analisis data ini dilakukan dengan cara mensimulasikan data yang telah diperoleh sehingga menghasilkan simpulan sementara mengenai penelitian ini.

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan ini diperoleh setelah didapatkan hasil dari simulasi atau pengolahan data yang dimana menunjukkan hasil akhir dari permasalahan penelitian ini.

## **I.7. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi menjadi 5 bab dengan rincian setiap bab adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisikan tentang teori dasar atau teori umum yang membahas tentang hal-hal yang terkait dengan kestabilan tegangan pada jaringan transmisi.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisikan tentang perencanaan dan pengambilan data di PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Sulselrabar Opsi Sultra serta diagram alir penelitian

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi pembahasan mengenai hasil penelitian terkait kestabilan pada sistem jaringan transmisi Kendari dengan masuknya pembangkit berdasarkan hasil simulasi dengan skenario yang telah ditetapkan.



## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan pembahasan hasil penelitian dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini.





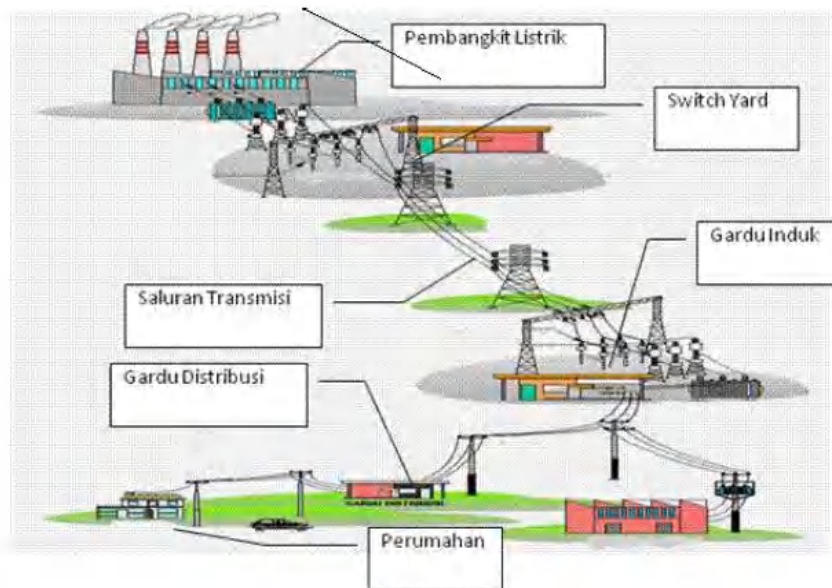
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari 4 komponen penting yang saling berhubungan dan berfungsi dalam hal penyaluran tenaga listrik. Adapun 4 komponen tersebut yaitu:

- 1) Pembangkitan,
- 2) Transmisi,
- 3) Distribusi,
- 4) Beban.



**Gambar 2.1** Skema Sistem Tenaga Listrik [1]

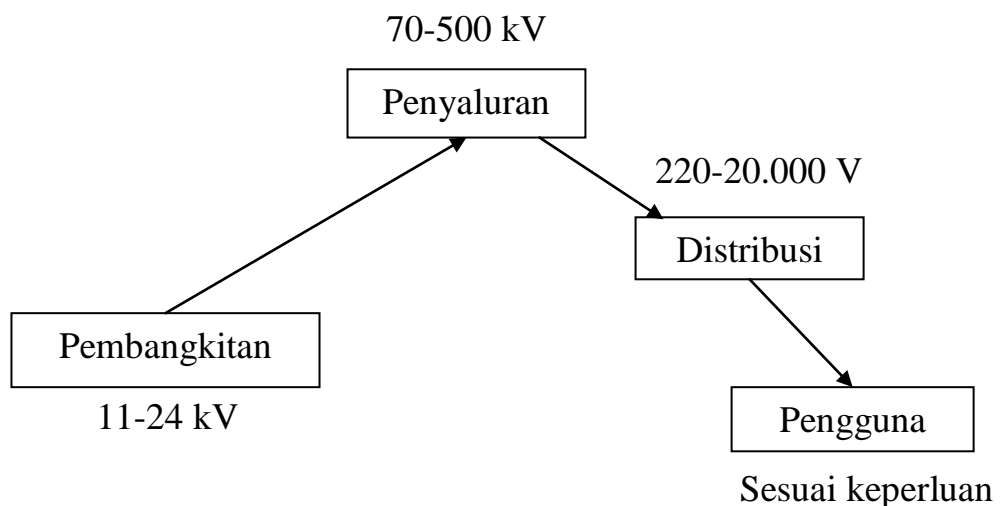
Fungsi dari komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi yang berasal dari satu sumber misalnya: air, batubara, panas bumi, minyak bumi dan lain-lain menjadi energi listrik. Macam-macam pembangkit yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan lain-lain.



2. Transmisi merupakan komponen yang berperan dalam hal menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Distribusi merupakan komponen yang berperan dalam hal mendistribusikan energi listrik ke lokasi pelanggan energi listrik.
4. Beban adalah pelanggan yang memanfaatkan energi listrik yang tersalurkan.

Pada suatu sistem tenaga listrik, tegangan yang digunakan pembangkit, transmisi, distribusi dan beban berbeda-beda atau dengan kata lain memiliki level tegangan tersendiri. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



**Gambar 2.2** Level Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik [1]

Pada sistem pembangkitan biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Pada sistem saluran transmisi biasanya digunakan level tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan pada sistem pembangkitan. Hal ini karena fungsi dari saluran transmisi adalah menyalurkan daya. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 s/d 500 kV. Untuk menaikkan tegangan dari level pembangkit ke level tegangan saluran transmisi diperlukan transformator penaik tegangan.

...a jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan yang lebih rendah  
 ...ngan saluran transmisi. Oleh karena itu diperlukan transformator penurun  
 ... Hal ini karena daya yang didistribusikan relatif kecil dibandingkan  
 ... daya yang disalurkan oleh saluran transmisi, dan juga menyesuaikan



dengan tegangan pelanggan atau pengguna energi listrik. Level tegangan jaringan distribusi yang sering digunakan ada dua macam, yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR).

Level tegangan beban pelanggan bermacam-macam menyesuaikan dengan jenis bebannya, misalnya beban industri yang memerlukan daya yang relatif besar biasanya menggunakan tegangan menengah 20 kV, sedangkan beban rumah tangga dengan daya yang relatif kecil biasanya menggunakan tegangan rendah 220 V [1].

Studi aliran daya merupakan salah satu bagian yang penting dalam menganalisis suatu sistem tenaga. Studi aliran daya diperlukan untuk tahap perencanaan dan dapat menjadi peramalan untuk perencanaan pengembangan jaringan di masa depan, misalkan dalam hal penambahan pembangkit baru kita dapat meramalkan respon sistem tersebut terhadap penambahan pembangkit baru itu dan skenario-skenario lainnya [2].

Dalam studi analisa aliran daya didapat beberapa kegunaan antara lain:

- Untuk mengetahui setiap tegangan pada sinyal yang ada dalam sistem
- Untuk mengetahui semua peralatan, apakah memenuhi batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan
- Untuk mengetahui kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru
- Pada hubung singkat, stabilitas pembebanan ekonomis

Daya listrik akan selalu mengalir ke beban, karenanya dalam hal ini aliran dayanya juga merupakan aliran beban. Pada dasarnya beban dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu beban statis dan beban dinamis. Pada setiap simpul atau bus sistem terdapat empat parameter atau besaran yaitu:

- Daya nyata (aktif)

semu (reaktif)  
gan  
fasa



Dalam menganalisa aliran daya dihitung tegangan tiap bus.

Dalam analisa sistem tenaga (aliran daya) ada 3 klasifikasi bus yaitu:

1. *Load bus* (PQ bus) cirinya adalah terhubung dengan beban PQ dari beban diketahui dan tetap yang dihitung adalah tegangan (V) dan sudut fasa.
2. *Swing/slack bus* (P dan V bus). Bus terhubung dengan generator P dan |V| tetap (diketahui sudut fasa memiliki besaran nol). Daya yang dihitung adalah daya aktif dan reaktif. Berfungsi untuk mencatu rugi-rugi daya dari beban yang tidak dapat dicatu dari generator lain.
3. Generator bus, adalah bus yang terhubung dengan generator P dan |V| diketahui dan tetap yang dihitung adalah daya aktif dan sudut fasa dari generator [3].

## II.2. Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat listrik tenaga (PLT), seperti : tenaga air (PLTA), tenaga uap (PLTU), tenaga panas bumi (PLTP), tenaga gas (PLTG), tenaga diesel (PLTD), tenaga nuklir (PLTN) dan lain sebagainya. Pusat-pusat listrik tenaga tersebut umumnya terletak jauh dari pusat beban. Oleh karena itu, digunakan saluran transmisi untuk menyalurkan tenaga listrik yang dibangkitkan. Adapun saluran transmisi itu terbagi menjadi dua kategori, yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel bawah tanah (*underground cable*). Perbedaan dua saluran transmisi ini adalah saluran transmisi dengan saluran udara, menggunakan kawat-kawat yang digantung pada menara atau tiang transmisi dengan perantaraan isolator-isolator untuk menyalurkan tenaga listrik, sedangkan saluran transmisi dengan saluran kabel bawah tanah menggunakan kabel-kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah untuk menyalurkan tenaga listrik. Masing-masing cara penyaluran tenaga listrik di atas tentunya mempunyai keuntungan serta kerugiannya tersendiri. Saluran udara dapat dipengaruhi oleh cuaca buruk, bahaya petir dan sebagainya sedangkan saluran kabel bawah tanah

bengaruh oleh faktor cuaca dan lebih estetika karena tidak mengganggu n. Karena itulah saluran kabel bawah tanah lebih disukai terutama di dengan penduduk yang padat. Namun kekurangannya adalah biaya



pembangunan yang jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara serta perbaikan yang lebih rumit ketika mengalami masalah seperti gangguan hubung singkat atau gangguan lainnya [4].

Komponen-komponen utama dari saluran transmisi terdiri dari:

- a. Menara transmisi atau tiang transmisi beserta pondasinya,
- b. Isolator-isolator,
- c. Kawat penghantar (*conductor*), dan
- d. Kawat tanah (*ground wires*).

Menara atau tiang transmisi merupakan salah satu komponen penting dalam saluran transmisi yang berfungsi menopang saluran transmisi, yang berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang, dan tiang kayu. Menara baja digunakan pada saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi sedangkan untuk tiang baja, tiang beton bertulang serta tiang kayu umumnya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (di bawah 70 kV). Menara baja dibagi sesuai dengan fungsinya yaitu menara dukung, menara sudut, menara ujung, menara percabangan dan menara transposisi.

Terdapat dua jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi yaitu jenis porselin atau jenis gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya terdapat tiga jenis isolator, antara lain : isolator jenis pasak dan jenis pos-saluran yang digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang dari 22-34 kV), sedang jenis yang lainnya adalah isolator gantung yang dijadikan rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan.

Terdapat tiga jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi yaitu tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).

Komponen penting saluran transmisi yang terakhir adalah kawat tanah atau biasa disebut juga dengan kawat pelindung (*shield wires*) yang berfungsi melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat-kawat fasa terhadap sambaran kawat tanah ini diletakkan di atas kawat fasa [4].



### II.3. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai suatu sistem tenaga yang memungkinkan untuk tetap berada dalam keadaan seimbang baik pada kondisi operasi normal atau setelah mengalami gangguan. Ketidakstabilan pada sistem tenaga dapat disebabkan oleh berbagai hal tergantung pada konfigurasi sistem dan mode operasi. Permasalahan kestabilan pada sistem tenaga listrik yaitu ketika terkena gangguan transien. Gangguannya itu bisa berupa gangguan besar maupun kecil. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban yang berlangsung secara terus menerus dan sistem akan menyesuaikan diri dengan kondisi yang berubah. Gangguan besarnya seperti hubung singkat pada saluran transmisi, hilangnya generator besar atau beban dan lain-lain. Permasalahan kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dibagi menjadi tiga yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan dan kestabilan frekuensi.

Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan mesin sinkron yang saling berhubungan dengan sistem tenaga untuk mempertahankan agar tetap sinkron setelah mengalami gangguan.

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan yang stabil di semua bus yang berada di sistem dalam kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan. Sebuah sistem memasuki keadaan ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan seperti peningkatan akan permintaan beban atau perubahan dalam kondisi sistem yang menyebabkan penurunan tegangan yang tidak terkendali.

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan sistem dalam mempertahankan frekuensi ketika terjadi gangguan. Kestabilan frekuensi bisa diakibatkan oleh lepasnya pembangkit dari sistem ataupun lepasnya beban. Jika frekuensi turun secara terus menerus maka akan mengakibatkan kegagalan sistem [5].

### II.4. Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan daya sistem untuk mempertahankan stabilnya tegangan pada semua bus pada kondisi di bawah normal dan setelah terkena gangguan. Faktor utama penyebab



ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan sistem daya untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Dalam sistem tenaga yang kompleks, banyak faktor yang terlibat pada proses runtuhnya sistem karena ketidakstabilan tegangan : sistem transmisi; tingkat transfer daya; karakteristik beban; batas kemampuan daya reaktif generator dan karakteristik kompensasi daya reaktif. Untuk tujuan analisis, itu berguna untuk mengklasifikasikan kestabilan tegangan menjadi dua bagian, yaitu:

- a. Kestabilan tegangan gangguan besar, adalah yang berhubungan dengan kemampuan sistem untuk mengontrol tegangan yang disertai gangguan besar seperti kesalahan sistem, lepasnya pembangkit dan lain-lain. Kriteria untuk stabilitas tegangan gangguan besar yaitu bahwa setelah diberikan gangguan dan diikuti oleh tindakan sistem kontrol, tegangan semua bus mencapai level *steady-state*.
- b. Kestabilan tegangan gangguan kecil, adalah yang berhubungan dengan kemampuan sistem untuk mengontrol tegangan yang disertai gangguan kecil seperti perubahan beban sistem. Bentuk stabilitas ditentukan oleh karakteristik beban, kontrol yang terus-menerus dan diskrit kontrol di waktu tertentu. Konsep ini berguna untuk menentukan bagaimana tegangan sistem akan merespon untuk perubahan sistem yang kecil [5].

#### II.4.1. Analisis Kestabilan Tegangan Dinamis

Analisis kestabilan tegangan dinamis biasanya digunakan dengan memberikan gangguan-gangguan besar pada sistem seperti lepasnya generator dan gangguan tiga fasa. Analisis kestabilan tegangan dinamis dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi dengan domain waktu. Sistem yang diuji adalah sistem yang beroperasi pada keadaan normal dengan beberapa gangguan besar untuk dianalisis beberapa aspek terkait dengan kestabilan tegangan, termasuk tegangan busbar dan generator, arus eksitasi, serta daya reaktif yang dihasilkan oleh

[6].



## II.5. Pencegahan Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah proses dimana kejadian ketidakstabilan tegangan yang mengarah ke profil tegangan rendah yang tidak dapat diterima oleh sistem tenaga. Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya jatuh tegangan, yaitu:

### 1. Kompensator daya reaktif

Kompensator daya reaktif dilakukan dengan cara memasang kapasitor bank baik secara seri maupun paralel. Pemasangan kapasitor bank secara seri bertujuan untuk mengurangi rugi daya reaktif yang diakibatkan oleh saluran yang panjang dan menyuplai daya bagi pelanggan yang kurang mendapatkan suplai daya reaktif. Pemasangan kapasitor bank secara paralel bertujuan untuk menggantikan fungsi cadangan daya reaktif pada generator.

### 2. Pengaturan *Tap Changer* Transformator

Cara lain dalam pengaturan tegangan adalah dengan cara mengatur *tap-changer* pada trafo. Dengan melakukan ini, perbandingan jumlah lilitan kumparan primer dan sekunder pada trafo dapat diubah. Pengubahan jumlah lilitan pada kumparan ini hanya dilakukan pada salah satu kumparan saja dan pada umumnya kumparan yang diubah adalah di sisi tegangan tinggi. Hal ini karena pada sisi tegangan tinggi tersebut arus yang mengalir kecil sehingga ketika pengaturan tap dilakukan, terjadinya busur listrik bisa diminimalisir.

### 3. Koordinasi proteksi

Salah satu penyebab jatuh tegangan adalah kurangnya koordinasi antara peralatan proteksi dan kebutuhan sistem tenaga. Koordinasi yang memadai harus dijamin berdasarkan studi simulasi dinamis. Mematikan peralatan untuk mencegah kondisi yang berlebihan harus menjadi pilihan yang terakhir. Sebisa mungkin, langkah-langkah pengendalian yang memadai (otomatis atau manual) harus diberikan untuk menghilangkan kondisi yang berlebihan sebelum

solusi peralatan dari sistem.





#### 4. Pelepasan beban *undervoltage*

Untuk mengatasi situasi yang tidak direncanakan, mungkin perlu untuk menggunakan skema pelepasan beban *undervoltage*. Pelepasan beban merupakan cara dengan biaya rendah untuk mencegah runtuhnya sistem secara luas. Karakteristik dan lokasi beban yang dilepas lebih penting untuk masalah tegangan daripada masalah frekuensi [5].

### II.6. Upaya Penanggulangan Jangka Menengah Wilayah Indonesia Timur

Upaya-upaya mendesak yang harus segera dilaksanakan atau diselesaikan pada wilayah Indonesia Timur adalah sebagai berikut:

#### **Wilayah Operasi Sulawesi**

##### Pembangkitan

- Mempercepat pembangunan proyek-proyek PLTU lainnya (proyek reguler PLN dan IPP), antara lain : Sulbagut 1 (2x50 MW), Sulbagut 3 (2x50 MW), Sulut 1 (2x50 MW), Sulut 3 (2x50 MW), Sulsel Barru 2 (1x100 MW), Jeneponto 2 (2x125 MW), Palu 3 (2x50 MW), Kendari 3 (2x50 MW), Mamuju (2x25 MW) dan PLTU Punagaya (2x100 MW).
- Mempercepat pembangunan proyek-proyek pembangkit *peaker* (PLTG/GU/MG) yaitu : Makassar *Peaker* 450 MW, Sulsel *Peaker* 450 MW, Minahasa *Peaker* 150 MW dan MPP Kendari 50 MW.

##### Transmisi dan Gardu Induk

- Mempercepat penyelesaian proyek transmisi 150 kV Palu Baru – Silae – Pasangkayu – Mamuju untuk memaksimalkan suplai energi murah dari pembangkit-pembangkit di Sistem Sulselbar.
- Mempercepat penyelesaian proyek transmisi 150 kV Wotu – Malili – Lasusua – Wotaka – Kendari, untuk mendukung interkoneksi Sulsel – Sultra sehingga menurunkan BPP di Sultra.





**Gambar 2.3.** Rencana Pengembangan Transmisi Sulawesi Tahun 2016-2025 [7]

Beberapa proyek transmisi strategis di Sistem Sulawesi antara lain:

- Transmisi 150 kV Wotu – Malili – Lasusua – Kolaka – Unaaha – Kendari termasuk IBT 275/150 kV Wotu, untuk menghubungkan sistem Sulsel dengan sistem Sultra, saat ini dalam tahap konstruksi dan diharapkan pada tahun 2016 atau 2017 sudah bisa beroperasi.
- Transmisi EHV sebagai *back bone* untuk evakuasi daya dari pusat PLTA skala besar di sekitar perbatasan Sulsel, Sulbar dan Sulteng ke pusat pertumbuhan beban di Sultra dan di Makassar dan sekitarnya.
- Transmisi 150 kV sistem Bau-Bau untuk menyalurkan daya dan pembangkit BM ke pusat beban, serta untuk menghubungkan pusat beban di Pulau dan pusat beban di Pulau Buton.



- Transmisi 150 kV Marisa – Moutong – Tolitoli – Buol/Leok dna Gorontalo – Bolontio – Buol – Tolitoli serta Transmisi 150 kV Tolitoli – Bangkir – Tambu, sehingga membentuk sistem Sulbagut, termasuk rencana interkoneksi ke sistem Palu. [7]

## II.7. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Sebuah pusat listrik tenaga uap menggunakan siklus *Rankine* atau siklus tenaga uap yang di mana uap sebagai medium kerjanya. Cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap ini memiliki beberapa tahap diantaranya adalah tahap pertama yaitu boiler diisi air hingga penuh. Di dalam boiler inilah air dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar sehingga berubah menjadi uap. Tahap kedua yaitu uap yang dihasilkan oleh boiler ini akan memutar turbin uap yang nantinya menghasilkan daya mekanik berupa putaran.

Tahap ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin uap berputar menghasilkan energi listrik. Tahap keempat, uap keluaran dari turbin uap masuk ke dalam kondensor agar didinginkan dengan menggunakan air pendingin dengan tujuan agar berubah kembali menjadi air yang biasa disebut air kondensat. Air kondensat merupakan air hasil kondensasi uap yang kemudian akan digunakan lagi sebagai pengisi boiler [8].

