

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGGUNAAN STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI  
KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK  
DENGAN PLTB**

Disusun Dan Diajukan oleh

**SARTIKA**

**D041 17 1308**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGGUNAAN STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI  
KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK  
DENGAN PLTB**

Disusun dan diajukan oleh :

**SARTIKA**

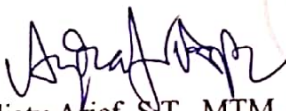
**D041 17 1308**


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada Tanggal 01 Desember 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
Ir. Ardiaty Arief, S.T., MTM., Ph.D.  
NIP. 19780424 2001 12 2 001

  
Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil, Ph.D.  
NIP. 19760406 2003 12 1 002

  
**Ketua Program Studi**  
Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.  
NIP. 19691026 199412 2 001



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sartika  
NIM : D041171308  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS PENGGUNAAN STATCOM UNTUK MEMPERBAIKI  
KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN  
PLTB”

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 dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Makassar, 01 Desember 2021

Yang membuat pernyataan



Sartika

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi angin untuk menghasilkan energi listrik. Tenaga bayu yang digunakan PLTB memiliki kecepatan yang tidak selamanya konstan. Kemungkinan terjadinya fluktuasi angin sangat besar. Hal ini dapat berpengaruh pada kestabilan sistem pada saat PLTB terinterkoneksi dengan sistem. Untuk menjaga tegangan pada sistem tetap normal, maka akan dibutuhkan suatu peralatan kompensasi daya reaktif untuk mengatasi jatuh tegangan yang akan terjadi pada sistem. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) untuk mengatasi jatuh tegangan yang terjadi pada sistem. STATCOM dapat menghasilkan daya reaktif dan menyerap daya reaktif sesuai dengan kebutuhan sistem. Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem transmisi dari IEEE. Adapun untuk melakukan simulasi aliran daya dan pemasangan STATCOM dengan menggunakan metode Newton-Raphson. Simulasi yang dilakukan dengan 4 keadaan yang berbeda yaitu keadaan normal, lepas generator setelah terintegrasi dengan PLTB, kenaikan beban setelah terintegrasi dengan PLTB dan keadaan saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa setelah terintegrasi dengan PLTB. Hasil simulasi sistem ketika generator lepas, kenaikan beban, dan gangguan hubung singkat tiga fasa setelah terintegrasi dengan PLTB terjadi jatuh tegangan pada beberapa bus namun setelah dilakukan simulasi penempatan STATCOM maka bus yang mengalami jatuh tegangan tersebut dapat stabil. Sehingga dari simulasi tersebut menunjukkan bahwa STATCOM dapat meningkatkan profil tegangan pada bus disekitarnya.

**Kata Kunci:** STATCOM, PLTB, kestabilan tegangan, IEEE dan sistem transmisi.

## ABSTRACT

A wind power plant is power plants that utilizes wind energy produce electricity. The wind power used by the wind power plants (WPP) has a speed that is not always constant. The possibility of wind speed fluctuations is inevitable and should not be underestimated. This will affect the stability of the system when the WPP are connected into the interconnection system. In order to keep the voltage in the system normal, equipment is needed to overcome the voltage drop that occurs in the system. In this study, the Static Synchronous Compensator (STATCOM) is used to overcome the voltage drop in the system. STATCOM can generate reactive power and absorb reactive power according to system requirements. The system used is the IEEE transmission system. The method used to simulate the installation of STATCOM is the Newton Raphson power flow calculation method. The simulations conducted with four different conditions namely normal state, a release generator after integration with PLTB, increased load after being integrated with the PLTB, and the situation when there was a three-phase short circuit before and after the PLTB integration. The simulation results when a release generator, increased load, a three-phase short circuit before and after the PLTB integration have voltage drop of several bus however after the STATCOM placement simulation, the bus experience voltage drop can become stable. The simulation results show that STATCOM can improve the voltage profile on each bus.

Keywords: STATCOM, PLTB, voltage stability, IEEE and transmission system.

## **Kata Pengantar**

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: “Analisis Penggunaan STATCOM untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik dengan PLTB”.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi sebahagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S1 program studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, tidak terlepas dari bantuan banyak pihak sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghanturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun material baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Kepada kedua orang tua saya yang sangat saya cintai, Bapak Sadaruddin dan Ibu Jira, serta kakak saya dan seluruh keluarga atas dukungan, doa, bantuan, nasehat dan motivasinya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Ibu Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D. dan Bapak Muhammad Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing penulis, memberikan saran, semangat dan juga motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nadjamuddin Harun., MS dan Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat berguna dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen pengajar serta pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Teman-teman seperjuangan riset Laboratorium Power System (Ita, Adi, Sidiq, Yung dan Oppa) yang telah menemani dan menyemangati penulis sejak awal sampai akhir penulisan tugas akhir ini.
7. Kakak Ummu Khalsum yang selalu baik dan memberikan solusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Gangzta Inces (Lisa, Irma, Acca, dan eppi), tersayang yang selalu menghibur dan menyemangati diwaktu saya mengerjakan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Kerang Ajaib (Agung, Adi, Sidiq, Ardi, Reski, Nunu dan Ita) yang selalu mendengarkan curhatan dan memberikan hiburan kepada saya saat mengerjakan tugas akhir.

10. EQUAL17ER tanpa terkecuali yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala kebersamaan, Kerjasama dan motivasinya selama penulis menapak masa-masa perkuliahan hingga pada penyelesaian studi ini.

11. Semua pihak yang telah membantu dan menyelesaikan tugas akhir ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Makassar, 01 Desember 2021

SARTIKA



## Daftar Isi

<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>Kata Pengantar</b> .....	vi
<b>Daftar Isi</b> .....	ix
<b>Daftar Gambar</b> .....	xi
<b>Daftar Tabel</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>I.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>I.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>I.4 Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>I.5 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>I.6 Metode Penelitian</b> .....	6
<b>I.7 Sistematika Penulisan</b> .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
<b>II.1 Sistem Tenaga Listrik [1]</b> .....	8
<b>II.1.1 Saluran Transmisi [1]</b> .....	11
<b>II.2 Analisis Aliran Daya (Power Flow Analysis) [2]</b> .....	14
<b>II.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [3]</b> .....	14
<b>II.3.1 Kestabilan Tegangan [3]</b> .....	19
<b>II. 4 Energi Terbarukan [4]</b> .....	20
<b>II.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu [5]</b> .....	21
<b>II.6 Gangguan Sistem Tenaga Listrik [6]</b> .....	26
<b>II.7 STATCOM (Static Synchronous Compensator) [7]</b> .....	28
<b>II. AGC (Automatic Generation Control) [8]</b> .....	30
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	32
<b>III.1 Judul Penelitian</b> .....	32
<b>III.2 Lokasi Penelitian</b> .....	32
<b>III.4 Teknik Pengambilan Data</b> .....	32

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.1 Perencanaan Simulasi.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2 Data Sistem IEEE 14 Bus .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3 Hasil Simulasi .....</b>	<b>40</b>
IV.3.1 Simulasi saat Kondisi Normal Sistem IEEE 14 Bus (sebelum sistem terintegrasi dengan PLTB).....	40
IV.3.2 Simulasi saat Kondisi Normal Sistem IEEE 14 Bus sebelum Terintegrasi PLTB ketika Terjadi Kenaikan Beban.....	42
IV.3.3 Simulasi saat Kondisi Normal Sistem IEEE 14 Bus setelah Terintegrasi PLTB dengan daya output Bervariasi .....	45
IV.3.4 Simulasi Aliran Daya saat Kondisi Normal Sistem IEEE 14 Bus (setelah Terintegrasi PLTB) dengan keadaan Generator lepas sebelum penempatan STATCOM.....	49
IV.3.5 Simulasi saat Kondisi Normal (setelah Terintegrasi PLTB) dengan Keadaan Generator Lepas setelah penempatan STATCOM.....	55
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>60</b>
<b>V.1 Kesimpulan .....</b>	<b>60</b>
<b>V.2 Saran.....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>

## Daftar Gambar

<b>Gambar 2. 1</b> Sistem Tenaga Listrik [1] .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Pembagian Level Tegangan [1] .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga [3].....	18
<b>Gambar 2. 4</b> Contoh Energi Terbarukan [4].....	21
<b>Gambar 2. 5</b> Jenis-jenis Kincir Angin [5].....	23
<b>Gambar 2. 6</b> Karakteristik Kincir Angin [5].....	23
<b>Gambar 2. 7</b> Tower PLTB (Kiri) Guyed (Kiri) Lattice (Kanan) Mono- Struktur [5] .....	26
<b>Gambar 2. 8</b> Struktur Dasar Sistem STATCOM [7] .....	28
<b>Gambar 3. 1</b> Alur Penelitian .....	33
<b>Gambar 4. 1</b> Single Line Diagram Sistem IEEE 14 Bus (Normal) .....	38
<b>Gambar 4. 2</b> Single Line Diagram Sistem IEEE 14 Bus (Terintegrasi PLTB) ...	39
<b>Gambar 4. 3</b> Profil Tegangan saat kondisi Normal pada Sistem IEEE 14 Bus...	42
<b>Gambar 4. 4</b> Profil Tegangan saat kondisi Normal pada Sistem IEEE 14 Bus Untuk Kenaikan Beban 40% .....	44
<b>Gambar 4. 5</b> Profil Tegangan saat kondisi Normal setelah Terintegrasi PLTB pada Sistem IEEE 14 Bus dengan Daya Output Bervariasi .....	48
<b>Gambar 4. 6</b> Profil Tegangan saat kondisi Normal pada Sistem IEEE 14 Bus Terintegrasi PLTB dengan Generator 1 Lepas .....	51
<b>Gambar 4. 7</b> Profil Tegangan saat kondisi Normal pada Sistem IEEE 14 Bus Terintegrasi PLTB dengan Generator 6 Lepas .....	54
<b>Gambar 4. 8</b> Profil Tegangan saat kondisi Normal pada Sistem IEEE 14 Bus Terintegrasi PLTB dengan Generator 6 Lepas setelah penempatan STATCOM .....	59

## Daftar Tabel

<b>Tabel 4. 1</b>	Data Pembangkit dan Data Beban Sistem IEEE 14 Bus .....	35
<b>Tabel 4. 2</b>	Data Transformator Sistem IEEE 14 Bus .....	36
<b>Tabel 4. 3</b>	Data Saluran Transmisi Sistem IEEE 14 Bus .....	37
<b>Tabel 4. 4</b>	Hasil Aliran Daya Sistem IEEE 14 Bus saat kondisi normal sebelum terintegrasi dengan PLTB.....	40
<b>Tabel 4. 5</b>	Hasil Aliran Daya Sistem IEEE 14 Bus sebelum Terintegrasi PLTB untuk Kenaikan Beban 40% .....	44
<b>Tabel 4. 6</b>	Hasil Aliran Daya Sistem IEEE 14 Bus saat kondisi Normal setelah Terintegrasi PLTB dengan Daya Output Bervariasi .....	47
<b>Tabel 4. 7</b>	Hasil Aliran Daya Sistem IEEE 14 Bus setelah Terintegrasi PLTB ketika Generator 1 Lepas .....	50
<b>Tabel 4. 8</b>	Hasil Aliran Daya Sistem IEEE 14 Bus setelah Terintegrasi PLTB ketika Generator 6 Lepas .....	52
<b>Tabel 4. 9</b>	Hasil Aliran Daya Sistem IEEE 14 Bus Terintegrasi PLTB dengan keadaan Generator 6 Lepas sebelum dan setelah pemasangan STATCOM.....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas komponen tenaga listrik yaitu pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Ketiga hal tersebut sangat dibutuhkan oleh manusia karena merupakan bagian utama pada sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit sampai kepada pusat beban.

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat. Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat berpengaruh terhadap meningkatnya penggunaan energi listrik. Konsumsi listrik yang terus-menerus dan berkualitas menjadi tuntutan yang harus dipenuhi, sedangkan energi yang dihasilkan sekarang didominasi dengan pembangkitan yang menggunakan energi fosil (tak terbarukan), dimana ketersediaan energi fosil (tak terbarukan) semakin berkurang. Dengan demikian akan menyebabkan jumlah sumber daya tersebut semakin menipis. Dengan semakin berkurangnya ketersediaan energi fosil (tak terbarukan) maka akan membuat pemerintah harus lebih banyak menginvestasikan dana yang lebih besar untuk membangun pembangkit listrik di berbagai daerah di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan listrik ini, maka diperlukan sebuah sumber energi terbarukan yang mampu memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia yang semakin besar.

Energi terbarukan berasal dari proses yang alami dan kemungkinan tidak akan pernah habis bila digunakan secara terus-menerus. Di Indonesia sangatlah

berpotensi untuk mengembangkan sumber energi terbarukan seperti energi angin, energi surya, energi air, energi panas bumi, biomassa, dan energi gelombang laut. Potensi seperti ini telah banyak tersebar di seluruh Indonesia. Di Indonesia sendiri memiliki energi angin yang baik. Dengan demikian pembangunan Pembangkitan Tenaga Listrik Bayu sangatlah memungkinkan dan akan membantu pasokan energi listrik. Jika energi ini dapat diolah dan dimanfaatkan dengan baik, maka negara ini tidak akan kekurangan atau bahkan krisis energi.

Adapun upaya untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pembangkit listrik ini mengubah energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Pembangkit energi angin ini masih tergolong baru di Indonesia walaupun pembangkit energi angin ini sudah lama digunakan oleh negara-negara maju seperti Inggris, Belanda, dan lain-lain.

Kestabilan tegangan adalah faktor utama dari kualitas daya. Hal yang sering terjadi ketika penambahan beban besar serta terjadi gangguan-gangguan adalah mempengaruhi kondisi kestabilan tegangan. Permintaan kebutuhan energi listrik yang selalu meningkat setiap saat mengakibatkan pembebanan di rumah-rumah maupun industri mengakibatkan menurunnya penyaluran kualitas daya listrik sehingga menyebabkan ketidakstabilan sistem. Kestabilan tegangan terjadi karena adanya gangguan, baik itu gangguan kecil berupa peningkatan pembebanan maupun gangguan besar berupa lepasnya unit pembangkit besar atau perubahan permintaan daya yang terlalu besar. Kestabilan tegangan dapat mengakibatkan runtuh tegangan, profil tegangan yang sangat rendah di sebagian besar sistem yang

berpotensi menimbulkan *blackout* pada sistem. Demikian juga dengan perubahan daya reaktif menyebabkan ketidakstabilan tegangan pada sistem dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Rugi-rugi daya semakin besar ketika sistem beroperasi pada beban maksimum. Terlebih lagi, seperti yang telah diketahui bahwa PLTB adalah pembangkit listrik yang menghasilkan daya aktif dan melepaskan daya reaktif, dikarenakan PLTB menggunakan generator asinkron/induksi. Oleh karena permasalahan tersebut, maka dilakukan pemasangan peralatan kompensasi daya reaktif seperti STATCOM, sangat penting untuk menjaga kestabilan tegangan system berfungsi untuk mengatur tegangan bus, dengan cara menginjeksikan daya reaktif (var) yang dapat dikendalikan ke dalam sistem dan juga STATCOM dikategorikan sebagai teknologi dalam bidang kompensator daya reaktif. STATCOM mempunyai kelebihan yaitu menghasilkan nilai harmonic yang kecil dan nilai tegangan AC yang terkendali sebagai outputnya karena STATCOM memiliki kemampuan menyalurkan daya reaktif induktif dan reaktif kapasitif sehingga tidak terjadi kenaikan atau penurunan tegangan saat terjadi kenaikan beban dan pelepasan beban. *Static Synchronous Compensator* (STATCOM), merupakan peralatan penyedia daya reaktif yang dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif sehingga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi listrik terjaga. STATCOM dapat mengatur arus induktif ataupun kapasitif pada sistem jaringan arus bolak-balik. Dari penjabaran tersebut, kami tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul Analisis Penggunaan STATCOM untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik dengan PLTB.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat di rumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis solusi penempatan STATCOM untuk menjaga kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik dengan PLTB?
2. Bagaimana menganalisis kestabilan tegangan pada sistem setelah terintegrasi PLTB dengan daya output bervariasi?
3. Bagaimana menganalisis kestabilan tegangan setelah kondisi generator lepas dan terjadi kenaikan beban sebelum dan setelah pemasangan STATCOM?
4. Bagaimana menganalisis kestabilan tegangan sistem jika terjadi gangguan besar sebelum dan setelah pemasangan STATCOM?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Menentukan lokasi pemasangan STATCOM untuk menganalisis kestabilan tegangan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).
2. Menganalisis kestabilan tegangan pada sistem setelah terintegrasi PLTB dengan daya output bervariasi.
3. Menganalisis kestabilan tegangan pada kondisi generator lepas dan ketika terjadi kenaikan beban sebelum dan setelah pemasangan STATCOM.



4. Menganalisis kestabilan tegangan sistem jika terjadi gangguan besar sebelum dan setelah pemasangan STATCOM.

#### **I.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi terkait lokasi pemasangan STATCOM untuk menganalisis kestabilan tegangan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).
2. Memberikan solusi terkait kondisi tegangan sistem sebelum dan sesudah pemasangan STATCOM.
3. Memberikan solusi terkait kondisi tegangan sistem jika terjadi gangguan besar sebelum dan sesudah pemasangan STATCOM.

#### **I.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Untuk analisis tegangan pada saat kondisi normal, lepas generator dan pada saat terjadi gangguan menggunakan *software*.
2. Simulasi di lakukan menggunakan *software*.
3. Simulasi studi penempatan STATCOM pada sistem agar optimal.
4. Hanya melakukan analisis untuk kestabilan tegangan.
5. Menggunakan PLTB jenis generator Induksi.

6. Melakukan beberapa percobaan dalam menentukan kapasitas STATCOM untuk mencari kapasitas yang paling optimal.
7. Waktu generator lepas dari sistem hanya sesaat.

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

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur dilakukan dengan cara mengadakan studi dari buku, internet, dan sumber bahan pustaka, atau informasi lainnya yang dapat menunjang penelitian.
2. Pengambilan data dilakukan pada industri tempat melakukan penelitian.
3. Pengelompokan data, yang bertujuan untuk :
  - a. Mengumpulkan dan mengelompokkan data agar lebih mudah dianalisis.
  - b. Mengetahui kekurangan data sehingga kerja menjadi efisien.
4. Pengolahan data dikerjakan dengan menerapkan dan melakukan simulasi serta melakukan beberapa perhitungan dan penggambaran, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel.
5. Analisa hasil pengolahan data dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh kesimpulan sementara. Selanjutnya kesimpulan sementara ini akan diolah lebih lanjut pada bab pembahasan.

6. Kesimpulan diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan dengan permasalahan yang diteliti. Simpulan ini merupakan hasil akhir dari semua masalah yang dibahas.

## **I.7 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini.

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

Bab ini berisi hasil simulasi dan pembahasan berdasarkan rumusan masalah

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

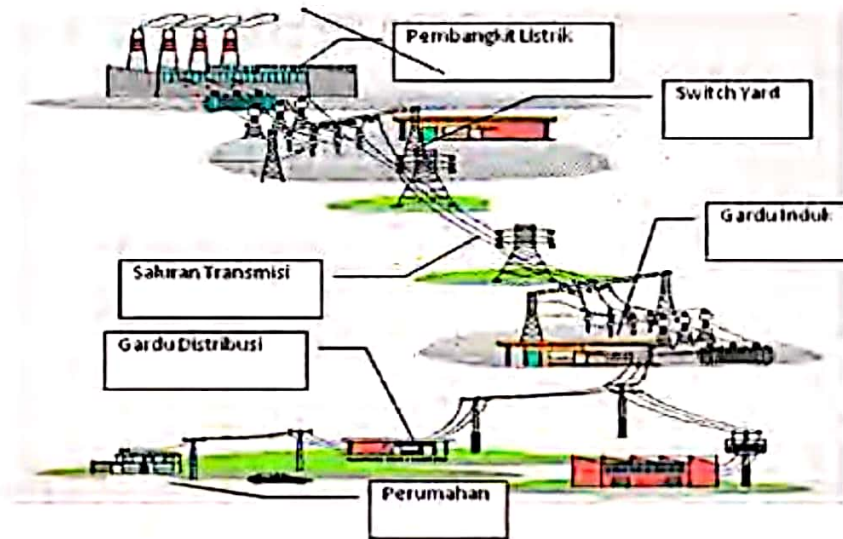
Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan tujuan penelitian

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Sistem Tenaga Listrik [1]

Sistem Tenaga Listrik merupakan sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi, beban yang saling berhubungan dan bekerjasama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat digambarkan dengan skema seperti pada Gambar 2.1 berikut.



**Gambar 2. 1** Sistem Tenaga Listrik [1]

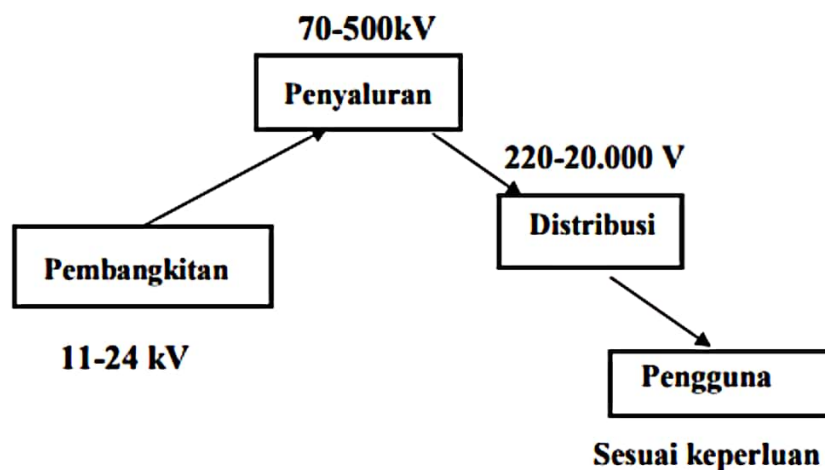
Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut :

1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain

misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dan lain-lain menjadi energi listrik.

2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.
4. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

Pada suatu sistem tenaga listrik, tegangan yang digunakan pada masing-masing komponen dapat berbeda-beda sesuai dengan kepentingannya. Dengan kata lain, setiap komponen pada sistem tenaga listrik mempunyai level tegangan yang berbeda-beda. Pembagian level tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



**Gambar 2. 2** Pembagian Level Tegangan [1]

Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Untuk pembangkit yang berkapasitas lebih besar biasanya menggunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar. Karena untuk kapasitas daya tertentu, besar arus yang mengalir berbanding terbalik dengan tegangannya. Level tegangan pada pembangkit biasanya tidak tinggi, karena semakin tinggi level tegangan generator, jumlah lilitan generator harus lebih banyak lagi. Dengan lilitan yang lebih banyak mengakibatkan generator menjadi lebih besar dan lebih berat sehingga dinilai tidak efisien.

Pada sistem saluran transmisi biasanya digunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini karena fungsi pokok saluran transmisi adalah menyalurkan daya, sehingga yang dipentingkan adalah sistem mampu menyalurkan daya dengan efisiensi yang tinggi atau rugi-rugi daya dan turun tegangannya kecil. Upaya yang dilakukan adalah mempertinggi level tegangan agar arus yang mengalir pada jaringan transmisi 70-500kV 220-20.000 V. Sesuai keperluan 11-24 kV Penyaluran Distribusi Pengguna Pembangkitan 8 lebih kecil. Level tegangan saluran transmisi lebih tinggi dari tegangan yang dihasilkan generator pembangkit. 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.

Pada jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan yang lebih rendah dari tegangan saluran transmisi. Hal ini karena daya yang didistribusikan oleh masing-masing jaringan distribusi biasanya relatif kecil dibanding dengan daya

yang disalurkan 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). Dengan demikian diperlukan gardu induk yang berisi trafo penurun tegangan untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi 20 kV. Diperlukan juga trafo distribusi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV ke 220 V sesuai tegangan pelanggan. Level tegangan beban pelanggan menyesuaikan dengan jenis bebannya, misalnya beban industri yang biasanya memerlukan daya yang relatif besar biasanya menggunakan tegangan menengah 20 kV, sedang beban rumah tangga dengan daya yang relatif kecil, biasanya menggunakan tegangan rendah 220 V.

### **II.1.1 Saluran Transmisi [1]**

Saluran transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban. Fungsinya yaitu untuk mengirimkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban. Macam-macam saluran transmisi:

1. Saluran udara: Kawat atau konduktor telanjang (tanpa isolasi) yang digantung dengan ketinggian tertentu pada tower dengan menggunakan isolator.
2. Saluran bawah tanah: kabel atau konduktor berisolasi yang ditanam dalam tanah dengan kedalaman tertentu.

3. Saluran bawah laut: kabel atau konduktor berisolasi yang diletakkan di dasar laut.

Saluran transmisi biasanya digunakan untuk mengirimkan daya listrik untuk jarak yang relatif jauh. Dari ketiga jenis saluran transmisi, paling banyak digunakan adalah saluran udara, karena lebih ekonomis. Biaya pembangunan saluran udara relatif lebih ringan dibandingkan dengan jenis yang lain, karena menggunakan penghantar yang telanjang atau tidak berisolasi, sedang jenis yang lain harus menggunakan penghantar berisolasi. Penghantar merupakan komponen pokok dari saluran transmisi, sehingga biaya pembangunannya sangat dipengaruhi oleh jenis penghantar yang digunakan. Saluran bawah tanah dan saluran bawah laut hanya digunakan jika saluran udara tidak lagi bisa digunakan, misalnya untuk menyalurkan daya antar pulau. Pada saluran bawah tanah dan saluran bawah laut, kekuatan fisik maupun elektris isolasi penghantar merupakan hal yang sangat penting, karena bila terjadi kerusakan atau kebocoran akan sangat membahayakan lingkungan di sekitarnya. Sedangkan pada saluran udara, yang penting adalah memenuhi batas ketinggian saluran minimum, sehingga induksi elektromagnetik dan pengaruh medan magnet yang ditimbulkan tidak membahayakan penghuni atau tanaman yang ada di bawah saluran tersebut.

Macam-macam tegangan saluran transmisi:

1. Saluran Transmisi AC:

- Lebih mudah ketika menaikkan dan menurunkan tegangan, cukup dengan transformator.



- Ada efek induktansi dan kapasitansi saluran

## 2. Saluran Transmisi DC:

- Tidak ada efek induktansi dan kapasitansi saluran
- Perlu peralatan tambahan ketika menaikkan dan menurunkan tegangan

Dari pertimbangan ekonomis, saluran transmisi tegangan bolak-balik atau AC menjadi pilihan utama, karena pada sistem tenaga listrik AC level tegangan dapat dinaikkan atau diturunkan dengan lebih mudah, yaitu cukup menggunakan trafo. Hal ini tidak mudah dilakukan pada sistem listrik arus searah atau DC. Pada sistem DC, untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, tegangan DC harus terlebih dahulu diubah menjadi AC, barulah dimasukkan ke trafo, kemudian keluarannya dikembalikan lagi ke DC. Sebagai contoh pada gardu pembangkit, setelah trafo penaik tegangan, diperlukan penyearah sebelum dimasukkan ke saluran transmisi. Setelah sampai di Gardu induk, diperlukan inverter untuk mengubah menjadi AC, baru kemudian dimasukkan ke trafo penurun tegangan. Hal ini mengakibatkan saluran transmisi DC memerlukan biaya pembangunan yang relatif tinggi dibanding saluran transmisi AC.

Level tegangan saluran transmisi:

1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) berkisar antara 70 s/d 150 Kv
2. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) diatas 150 kV s/d 750 kV
3. Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT) diatas 750 kV

## **II.2 Analisis Aliran Daya (Power Flow Analysis) [2]**

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*.

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.

## **II.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [3]**

Sistem tenaga listrik dapat dikatakan baik jika memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Keandalan (*Reliability*) yaitu kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya secara terus-menerus.
2. Kualitas (*Quality*) yaitu kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk frekuensi dan tegangan.
3. Kestabilan (*Stability*) yaitu kemampuan suatu sistem untuk bekerja secara normal setelah terjadi gangguan.

Didalam sistem tenaga listrik yang baik maka ketiga syarat diatas harus dipenuhi. Dengan artian sistem tenaga listrik harus secara terus-menerus memberikan pasokan listrik dengan standar tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku serta segera kembali normal jika sistem terjadi gangguan. Untuk jaringan yang kompleks untuk beberapa pembangkit yang terhubung satu sama lain, maka keluaran daya yang elektris berupa besaran tegangan dan frekuensi harus diperhatikan agar tidak ada pembangkit yang kelebihan beban dan sementara pembangkit yang lain memiliki beban yang kecil.

Sistem tenaga listrik memiliki variasi beban yang sangat dinamis dimana setiap detik dapat berubah-ubah. Dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik tetap dan harus dipasok sesuai dengan besaran daya, jika pada saat tertentu terjadi lonjakan atau penurunan beban yang tidak terduga maka perubahan ini dapat dikategorikan ke dalam gangguan sistem tenaga listrik, yakni kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan pada pembangkit dan sistem transmisi sehingga mengakibatkan kerja

dari pembangkit yang menjadi lebih berat. Untuk itu, diperlukan penelaan kestabilan agar pembangkit yang terganggu tidak lepas dari sistem.

Kestabilan sistem daya merupakan sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam setiap sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta kembali dalam keadaan semula bila keadaan menjadi normal. Analisis kestabilan bisa digolongkan menjadi tiga bagian yaitu sebagai berikut :

1. Kestabilan keadaan tetap (*Steady State Stability*)

Merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk menerima gangguan kecil yang bersifat gradual yang terjadi di sekitar titik seimbang pada kondisi tetap. Kestabilan ini tergantung pada karakteristik komponen yang terdapat sistem tenaga listrik antara lain: pembangkit, beban, jaringan transmisi, dan kontrol sistem itu sendiri. Model pembangkit yang digunakan adalah pembangkit yang sederhana (sumber tegangan yang konstan) karena hanya menyangkut gangguan kecil di sekitar titik seimbang.

2. Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)

Merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk kembali ke titik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relatif kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang lama. Analisis kestabilan dinamis lebih kompleks karena juga memasukkan kontrol otomatis dalam perhitungan.

3. Kestabilan peralihan (*Transient Stability*)

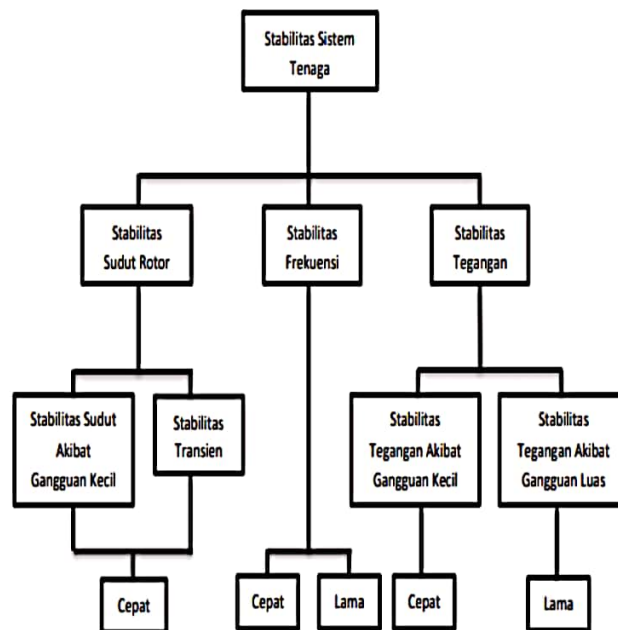
Merupakan sistem mencapai titik keseimbangan/sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem kehilangan kestabilan karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem. Analisis kestabilan peralihan merupakan analisis yang utama untuk menelaah perilaku sistem daya misalnya gangguan yang berupa:

- a. Perubahan beban yang mendadak karena terputusnya unit pembangkit.
- b. Perubahan pada jaringan transmisi misalnya gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar (switching).

Sistem daya listrik masa kini jauh lebih luas, ditambah interkoneksi antar sistem yang rumit dan melibatkan beratus-ratus mesin yang secara dinamis saling mempengaruhi melalui perantara jala-jala tegangan ekstra tinggi, mesin-mesin ini mempunyai sistem penguatan yang berhubungan. Kisaran masalah yang dianalisis banyak menyangkut gangguan yang besar dan tidak lagi memungkinkan menggunakan proses kelinearan. Masalah kestabilan peralihan dapat lebih lanjut dibagi kedalam "Kestabilan ayunan pertama (first swing) dan ayunan majemuk (multi swing). Kestabilan ayunan pertama didasarkan pada model generator yang cukup sederhana tanpa memasukkan sistem pengaturannya, biasanya periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Bila pada sistem, mesin dijumpai tetap berada dalam keadaan serempak sebelum berakhirnya detik pertama, ini dikategorikan sistem masih stabil.

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan karakteristik sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan

dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Secara umum permasalahan kestabilan sistem tenaga listrik terkait dengan kestabilan sudut rotor (*Rotor Angle Stability*), kestabilan tegangan (*Voltage Stability*) dan kestabilan frekuensi (*Frequency Stability*). Klasifikasi ini berdasarkan rentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan. Kestabilan sudut rotor diklasifikasikan menjadi *Small Signal Stability* dan *transient Stability*. *Small signal Stability* adalah kestabilan sistem untuk gangguan-gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang tak teredam, sedangkan *Transient Stability* dikarenakan kurang serempaknya torsi dan diawali dengan gangguan-gangguan besar.



**Gambar 2. 3** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga [3]

Gambar 2.3 menunjukkan sebuah kemungkinan klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik ke dalam tiga bagian, yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan.

### **II.3.1 Kestabilan Tegangan [3]**

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem untuk menjaga tegangan sistem pada seluruh bus tetap berada dalam batas kestabilan saat kondisi normal atau setelah terjadi gangguan. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi karena adanya gangguan, baik gangguan kecil berupa peningkatan pembebanan ataupun gangguan besar seperti lepasnya unit pembangkit besar atau perubahan permintaan daya dalam jumlah yang besar. Ketidakstabilan tegangan dapat mengakibatkan keruntuhan tegangan, profil tegangan yang sangat rendah di sebagian besar sistem yang berpotensi menimbulkan *blackout* pada sistem.

Masalah kestabilan tegangan biasanya terjadi pada sistem dengan pembebanan yang besar. Ketidakstabilan tegangan dapat menginisiasi terjadinya runtuh tegangan. Gangguan yang menyebabkan runtuh tegangan dapat dipicu oleh beberapa hal, seperti naiknya beban atau gangguan besar yang muncul secara tiba-tiba. Masalah yang paling mendasar adalah lemahnya sistem tenaga listrik. Di samping kekuatan jaringan transmisi dan kemampuan transfer daya, faktor-faktor yang berkontribusi dalam fenomena runtuh tegangan (*voltage collapse*), antara lain batas kendali tegangan/daya reaktif generator, karakteristik beban, karakteristik kompensator daya reaktif, dan aksi dari divais kendali tegangan seperti transformator *on-load tap changer*.

Istilah-istilah yang terkait dengan kestabilan tegangan dapat didefinisikan sebagai berikut :

1. Kestabilan tegangan (*voltage stability*) adalah kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan pada seluruh bus dalam sistem agar tetap berada dalam batas toleransi tegangan, baik pada saat kondisi normal maupun setelah terkena gangguan.
2. Runtuh tegangan (*voltage collapse*) adalah proses dimana ketidakstabilan tegangan berakhir pada nilai tegangan yang sangat rendah pada bagian penting dari sistem tenaga listrik.
3. Keamanan tegangan (*voltage security*) adalah kemampuan dari sistem tenaga listrik, tidak hanya untuk beroperasi stabil, tetapi juga tetap stabil (selama sistem proteksi tetap bekerja untuk mempertahankan tegangan) setelah terjadi gangguan atau perubahan keadaan sistem yang signifikan.

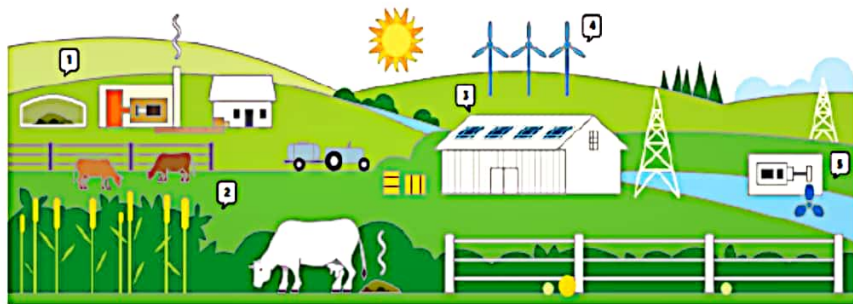
## **II. 4 Energi Terbarukan [4]**

Energi terbarukan berasal dari proses yang alami dan kemungkinan tidak akan pernah habis bila digunakan secara terus-menerus, seperti energi matahari, energi angin, energi air, dan lainnya. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini. Tenaga surya, tenaga angin, biomassa dan tenaga air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah; yakni sekitar 40% dari



sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada di tempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan.

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan listrik. Pada saat angin bertiup, angin disertai dengan energi kinetik (gerak) yang bisa melakukan suatu pekerjaan. Contoh perahu layar memanfaatkan tenaga angin untuk mendorongnya bergerak di air. Tenaga angin juga bisa dimanfaatkan menggunakan baling-baling yang dipasang di puncak menara, yang disebut dengan turbin angin yang akan menghasilkan energi mekanik atau listrik. Dalam pemanfaatannya, diperlukan data/informasi mengenai potensi energi angin actual yang tersedia di lokasi pemasangan dan kebutuhan di lokasi tersebut.



1. Pembangkit Biomassa
2. Biomassa
3. Photovoltaik Tenaga Surya

4. Tenaga Angin
5. Tenaga Air

**Gambar 2. 4** Contoh Energi Terbarukan [4]

## II.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu [5]

Dalam perkembangannya, tenaga angin adalah sekedar bentuk tenaga surya yang dikonversi. Radiasi matahari memanaskan di berbagai tempat di bumi dengan

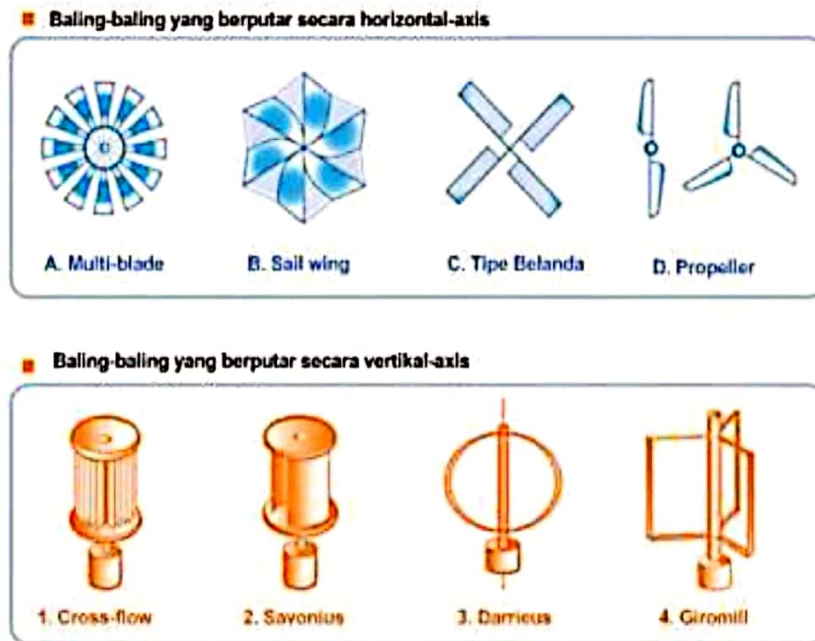
kecepatan yang berbeda pada siang dan malam hari. Hal ini menyebabkan berbagai bagian atmosfer memanas dalam waktu yang berbeda. Udara panas menaik, dan udara yang lebih sejuk tertarik untuk menggantikannya. Inilah yang menyebabkan terjadinya angin. Jadi angin, yang disebabkan oleh gerakan molekul udara di atmosfer, berasal dari energi matahari. Semua benda statis termasuk molekul udara menyimpan energi laten yang disebut dengan energi potensial. Pada saat molekul udara mulai bergerak, maka energi potensialnya dikonversi menjadi energi kinetik (energi gerakan) sebagai akibat dari kecepatan molekul udara. Mesin energi angin, yang dinamakan turbin angin, menggunakan energi kinetik angin dan mengkonversinya menjadi energi mekanis atau listrik yang bisa dimanfaatkan untuk berbagai tujuan praktis. Angin bertiup diatas 'sayap' juga disebut bilah atau aerofoil dari turbin angin, yang menyebabkannya berputar cepat. Turbin angin menggunakan gerakan rotasi untuk membangkitkan listrik atau menjalankan peralatan mesin seperti pompa.

Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu pada umumnya terdiri dari beberapa komponen utama yaitu ; a) kincir angin, b) *gear box*, c) *brake system*, d) generator dan e) alat penyimpan energi. Selanjutnya komponen-komponen tersebut akan diuraikan berikut ini :

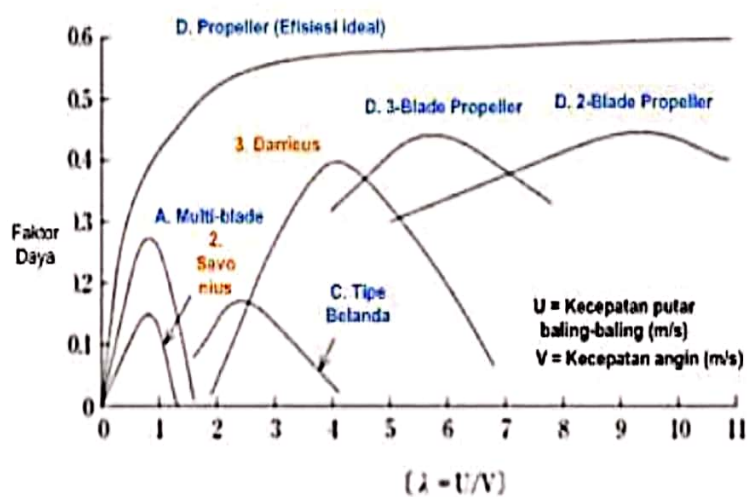
### 1. Kincir Angin

Kincir Angin pada umumnya terbagi menjadi dua bagian yaitu kincir angin yang berputar dengan sumbu horizontal, dan yang berputar dengan sumbu vertikal. Gambar 2.5 menunjukkan jenis-jenis kincir angin berdasarkan bentuknya.

Sedangkan Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik setiap kincir angin sebagai fungsi dari kemampuannya untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi putar turbin untuk setiap kondisi kecepatan angin.



Gambar 2. 5 Jenis-jenis Kincir Angin [5]



Gambar 2. 6 Karakteristik Kincir Angin [5]

## 2. Gear Box

Adalah suatu peralatan yang dipasang pada PLTB yang berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.

## 3. Brake System

Merupakan alat yang digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terjadi angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja yang aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin luar dugaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya adalah: *overheat*, *rotor breakdown*, kawat pada generator putus, karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.

## 4. Generator

Didalam turbin angin digunakan berbagai macam jenis generator yaitu antara lain: generator serempak (*synchronous generator*), generator tak-serempak (*asynchronous generator*), rotor sangkar maupun rotor belitan ataupun generator magnet permanen. Penggunaan generator serempak memudahkan kita untuk mengatur tegangan dan frekuensi keluaran generator dengan cara mengatur-atur arus medan dari generator. Sayangnya penggunaan generator serempak jarang diaplikasikan karena biayanya yang mahal, membutuhkan arus penguat dan

mempunyai sistem kontrol yang rumit. Generator tak-serempak sering digunakan untuk sistem turbin angin dan sistem mikrohidro, baik untuk sistem *fixed speed* maupun sistem *variable speed*.

#### 5. Penyimpanan Energi

Pada sistem *stand alone*, dibutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik berlebih yang dihasilkan turbin angin. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki 12volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga selama 0.5 jam pada daya 780 watt.

#### 6. Box control turbin angin

Turbin Angin memiliki box kontrol masing - masing. Fungsi dari box kontrol sendiri adalah untuk mengatur kecepatan putaran Pada kipas dan supply dalam kondisi cuaca normal, tegangan dari turbin angin ke panel beban atau rumah induk.

#### 7. Dummy Load

Adalah tempat pembuangan tegangan berlebih yang dihasilkan oleh pembangkit.

#### 8. Data Logger

Adalah merupakan suatu device atau piranti yang dapat membaca berbagai macam jenis sinyal input yang selanjutnya merekamnya dan disimpan dalam memori internal serta langsung dihubungkan dengan computer. Data logger ini sangat cocok untuk lembaga penelitian seperti PLTH dengan budget terbatas namun

menginginkan spek akuisisi data yang baik. Selain itu, data logger ini dapat digunakan untuk memantau lingkungan yang mensyaratkan perekaman data secara real-time dan terus menerus 24 jam sehari.

## 9. Tower

Tower PLTB dapat dibedakan menjadi 3 jenis seperti Gambar 2.7 dibawah ini. Setiap jenis tower memiliki karakteristik masing-masing dalam hal biaya, perawatan, efisiensinya, ataupun dari segi kesusahan dalam pembuatannya.



**Gambar 2. 7** Tower PLTB (Kiri) Guyed (Kiri) Lattice (Kanan) Mono-Struktur [5]

## II.6 Gangguan Sistem Tenaga Listrik [6]

Jenis gangguan dibagi menjadi dua kategori yaitu :

- a. Gangguan simetris

b. Gangguan tak simetris

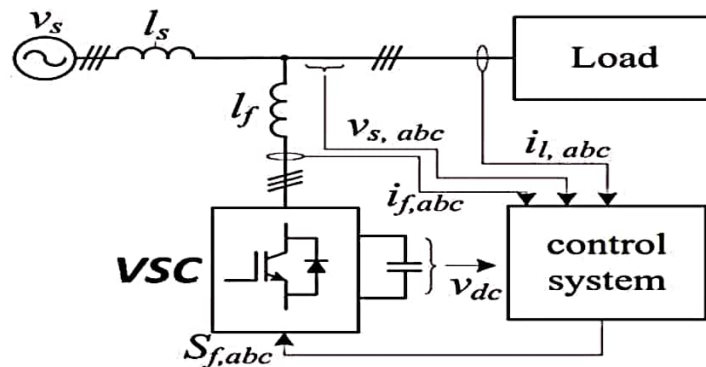
Salah satu contoh gangguan simetris adalah gangguan tiga fasa simetris yang mana terjadi pada saat ketiga fasanya terhubung singkat melalui atau tanpa impedansi. Gangguan tak simetris terdiri dari gangguan hubung singkat tak simetris, gangguan tak simetris melalui impedansi dan penghantar terbuka. Gangguan hubung singkat tak simetris terjadi sebagai gangguan tunggal saluran ke tanah, gangguan antar saluran, serta gangguan ganda ke tanah.

Bila hubung singkat dibiarkan berlangsung agak lama pada suatu sistem tenaga listrik maka pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan dapat terjadi. Pengaruh tersebut yaitu sebagai berikut :

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk suatu sistem tenaga listrik.
- b. Rusaknya peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus yang besar, arus yang tidak seimbang atau tegangan-tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
- c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya hubung singkat dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan lain.
- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem tenaga listrik itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda.

## II.7 STATCOM (*Static Synchronous Compensator*) [7]

*Static synchronous compensator* (STATCOM) merupakan salah satu shunt device dari *Flexible AC Transmission System* (FACTS) yang dapat mengkompensasi daya reaktif dengan cara menyuplai dan atau menyerap daya reaktif untuk mengontrol tegangan agar tetap stabil. STATCOM terdiri dari beberapa bagian yaitu *Voltage Source Converter* (VSC), kapasitor DC, dan sistem kontrol. VSC ialah peralatan konverter elektronika daya yang berguna untuk mengkonversi tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Kapasitor DC berguna sebagai sumber tegangan untuk sistem kontrol STATCOM dan sebagai penyimpan energi (pada saat menyerap daya reaktif) dan sumber daya (pada saat menyuplai daya reaktif). Sistem kontrol berguna untuk mendeteksi arus dan tegangan pada sistem dan akan mengirimkan sinyal kepada VSC untuk menyuplai atau menyerap daya reaktif apabila terjadi perubahan tegangan.



**Gambar 2. 8** Struktur Dasar Sistem STATCOM [7]

Prinsip kerja dari STATCOM dapat dilihat pada Gambar 2.8 Pengontrolan STATCOM diatur oleh sistem kontrol, dimana pada sistem kontrol menerima tegangan dan arus masukan dari sistem, dan tegangan dan arus pada STATCOM. Pada sistem kontrol diatur besar tegangan normal dari sistem dan akan mengatur



tegangan keluarannya sefasa dengan tegangan sistem dan Pada saat kondisi normal, sehingga tegangan pada VSC dan sistem sama. Apabila terjadi perubahan tegangan yang terjadi pada sistem, maka sistem kontrol akan mengirimkan sinyal pada VSC untuk mengatur besarnya daya reaktif yang akan disuplai atau diserap. Pada saat tegangan sistem lebih besar dari tegangan VSC maka STATCOM akan menyerap daya reaktif dari sistem. Pada saat tegangan sistem lebih kecil dari tegangan VSC maka STATCOM akan menyuplai daya reaktif ke sistem.

STATCOM dikategorikan sebagai teknologi baru dalam bidang kompensator daya reaktif. STATCOM mampu menghasilkan nilai harmonik yang kecil dan nilai tegangan AC yang terkendali sebagai outputnya. Nilai-nilai tersebut dapat mempengaruhi nilai-nilai daya reaktif. Selain itu STATCOM juga mampu berfungsi untuk mengkompensasi beberapa masalah lain seperti flicker, impedansi hantaran pada sistem transmisi, dan perbedaan sudut fasa.

Kendali daya reaktif oleh STATCOM terjadi dengan cara membandingkan besarnya nilai tegangan terminal antara STATCOM dengan sistem. Apabila tegangan STATCOM bernilai lebih rendah maka STATCOM akan menyerap daya reaktif pada sistem. Apabila bernilai lebih tinggi dari sistem maka akan menghasilkan daya reaktif ke system. STATCOM pada dasarnya terdiri dari empat komponen utama, yaitu:

1. Voltage Source Converter (VSC)
2. Kopling Transformator
3. Pengontrol

#### 4. Penyimpanan energi DC

## II. AGC (*Automatic Generation Control*) [8]

Kontrol pembangkit otomatis adalah masalah yang sangat penting dalam operasi dan kontrol sistem tenaga untuk memastikan pasokan tenaga listrik yang cukup dan handal dengan kualitas yang baik. Tujuan utama AGC adalah untuk memberikan sinyal control untuk mengatur daya output nyata dari berbagai generator listrik dalam area yang ditentukan sebagai respon terhadap perubahan frekuensi sistem dan pembebanan sehingga dapat mempertahankan frekuensi sistem terjadwal dan menetapkan pertukaran dengan area lain. Performa dari AGC tergantung pada bagaimana unit pembangkit listrik merespon sinyal-sinyal ini. Respon kecepatan mereka dibatasi oleh jadwal jeda dari berbagai dinamika turbin dari sistem tenaga itu sendiri. Dengan kata lain, desain AGC tergantung pada berbagai dinamika sumber energi yang terlibat dalam AGC area tersebut.

Adapun tujuan dari AGC adalah untuk menjamin fungsi berikut yang dibentuk sebagai berikut:

1. Frekuensi tegangan bus dan arus yang bervariasi dijaga pada atau mendekati nilai nominal khusus
2. Aliran daya diantara area terinterkoneksi dijaga pada level khusus
3. Daya total yang dikehendaki pada sistem sebagai suatu keseluruhan terbagi pada individu generator dalam suatu ragam optimum secara ekonomis

4. Perubahan daya aktif memberikan efek utama pada frekuensi sistem, disamping itu daya reaktif kurang sensitif untuk merubah frekuensi tetapi utamanya merubah magnitude tegangan

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **III.1 Judul Penelitian**

Judul dari penelitian ini adalah Analisis Penggunaan STATCOM untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik dengan PLTB.

#### **III.2 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan Di Grup Riset Power And Energy System, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

#### **III.3 Waktu Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dari tugas akhir ini dimulai Januari 2021 sampai dengan bulan Agustus 2021. Adapun penulisan dari tugas akhir ini dimulai pada bulan September 2020 sampai dengan bulan Oktober 2021.

#### **III.4 Teknik Pengambilan Data.**

Jenis penelitian ini adalah studi kasus sistem kelistrikan pada PLTB, dimana dalam penelitian yang akan diteliti yaitu penempatan STATCOM dengan bantuan *software*. Data Penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari IEEE. Dengan demikian penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan secara objektif tentang bagaimana kestabilan sistem setelah dan sebelum pemasangan STATCOM kemudian kondisi sistem setelah mengalami gangguan besar sebelum dan sesudah pemasangan STATCOM. Adapun data yang akan dikumpulkan adalah data pembangkit, data transformator, data transmisi, data reaktansi dan impedansi, beban