

**STUDI KESTABILAN SUDUT ROTOR SISTEM  
INTERKONEKSI SULSELBAR DENGAN INTEGRASI PLTB  
SIDRAP**



**Tugas Akhir**

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

**OLEH :**

**MOCH. ARIEF AMRAN**  
**D41114520**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2019**



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI KESTABILAN SUDUT ROTOR SISTEM INTERKONEKSI SULSELBAR**  
**DENGAN INTEGRASI PLTB SIDRAP**

Disusun Oleh :

MOCIL ARIEF AMRAN

D41114520

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

Disahkan oleh :

Pembimbing I



Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST.MT

Nip. 197311181998031001

Pembimbing II



Ir. Hj. Zannab Muslimin, MT

Nip. 196602011992022002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro



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

Nip. 196212311990031024



## ABSTRAK

Besarnya permintaan energi listrik mengakibatkan perlunya membangun pusat-pusat pembangkitan energi listrik yang lebih banyak lagi. 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 stabilitas sistem tenaga menjadi tidak seimbang terutama pada kestabilan sudut rotor. Untuk mengatasi pemenuhan kebutuhan listrik ini, salah satu upaya pemanfaatan energi terbarukan yang dilakukan yaitu pembangunan Pusat Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Sulawesi Selatan yaitu di Kabupaten Sidrap. Metode yang digunakan dalam menganalisa terintegrasinya PLTB Sidrap yaitu metode analisis dengan memberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada saluran transmisi. Tujuan penelitian yaitu untuk menentukan kestabilan sudut rotor setelah terintegrasinya PLTB Sidrap, dan menentukan respon sudut rotor sistem interkoneksi Sulsebar ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa sebelum dan setelah terintegrasinya PLTB dengan menggunakan software MATLAB Tools PSAT. Ketika PLTB Sidrap terintegrasi dalam sistem, kondisi sudut rotor masih dalam keadaan stabil dikarenakan masih dalam batasan yaitu tidak melampui  $90^0$  atau melampui  $-90^0$ . Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa setelah PLTB Sidrap terintegrasi dapat lebih memperlambat terjadinya pembangkit lepas sinkron ketika terjadi gangguan sesuai dengan *Critical Clearing Time* (CCT) yang digunakan yaitu pada saat terjadi gangguan di saluran transmisi Sungguminasa – Maros digunakan CCT sebelum PLTB Sidrap terintegrasi ditentukan CCT = 0.53 detik dan setelah terintegrasi ditentukan CCT = 0.656 detik, sedangkan pada saluran transmisi Punagaya – Jeneponto sebelum PLTB Sidrap terintegrasi ditentukan CCT = 0.075 dan setelah terintegrasi ditentukan CCT = 0.076 detik.

Kata Kunci : PLTB Sidrap, sudut rotor, gangguan hubung singkat 3 fasa, *Critical Clearing Time* (CCT)



## Kata Pengantar

*Alhamdulillah Rabbil' alamin*, Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas kehendak-Nya tugas akhir ini dapat kami selesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, Nabi yang telah membawa umat manusia dari alam yang penuh dengan kejahiliah menuju alam yang terang benderang seperti sekarang ini.

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya (Amran dan Hj. Hasnah) sebagai bentuk ucapan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya. Terima kasih atas segala doa restu, kasih sayang, semangat dan dukungan moral yang diberikan selama ini. Semoga Allah SWT membalasnya dengan yang lebih baik.

Walaupun Tugas Akhir ini telah saya selesaikan dengan usaha dan kerja keras, tetapi saya menyadari jikalau Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kami mengharapkan saran dan kritik kepada para pembaca agar Tugas Akhir ini dapat lebih baik dalam penelitian selanjutnya.

Melalui kesempatan ini pula saya ingin menghanturkan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini. Terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Ibunda Hj. Hasnah dan Ayahanda Amran. selaku kedua orang tua yang tak henti-hentinya memberikan dukungan baik moral maupun materil kepada penulis.
2. Bapak **Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., MT** dan Ibu **Ir. Hj Zaenab Muslimin, MT** sebagai pembimbing I dan pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, Bapak **Prof. Dr.Ir. H. Salama Manjang, ST., MT.** sebagai ketua departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. serta



seluruh staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

4. Seluruh pihak PT. PLN (persero) Wilayah Sulbagsel yang telah membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan.
5. Semua sahabat “RECTIFIER14”, Keluarga “Lab Relay” , serta seluruh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.
6. Terima kasih kepada “H.MRfams”, “Sedikit Mami S.T”, dan “LakesshitSquad” yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Tim PSAT yang telah banyak membantu saya dalam memahami Matlab PSAT.
8. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Makassar, April 2019

Moch. Arief Amran



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Metode Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik.....	9
2.3 Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan .....	10
2.3.1 Kondisi Eksisting .....	10
2.3.2 Kondisi Saat Terintegrasi dengan PLTB Sidrap.....	13
2.4 Energi Terbarukan .....	13
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu .....	15
2.6 Sistem Interkoneksi .....	19
2.7 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	19
2.7.1 Kestabilan Keadaan Tetap (Steady State Stability).....	21
2.7.2 Kestabilan Dinamis (Dynamic Stability).....	22
2.7.3 Kestabilan Peralihan (Transient Stability).....	22



2.8	Kestabilan Sudut Rotor .....	23
2.9	PSAT (The Power Sistem Analysis Toolbox).....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		25
3.1	Jenis Penelitian .....	25
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian .....	25
3.3	Data yang diperlukan .....	25
3.4	Metode Penelitian .....	25
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	26
3.6	Data Sistem .....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1	Kestabilan Sudut Rotor Sistem Interkonesi Suleselbar sebelum dan setelah PLTB Sidrap Terintegrasi.....	36
4.2	Simulasi Kestabilan Sudut Rotor pada saat terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa disalurkan Transmisi sebelum dan setelah PLTB Sidrap Terintegrasi.....	37
4.2.1	Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa pada Transmisi Sungguminasa–Maros.....	37
4.2.2	Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa pada Transmisi Punagaya-Jeneponto.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		51
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran .....	51



DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.2 Pembagian Level Tegangan .....	7
Gambar 2.3 Peta Sistem Kelistrikan Eksisting Provinsi Sulawesi Selatan dan Rencana Pengembangannya .....	11
Gambar 2.4 Data Rata-Rata Kecepatan Angin Bulanan Sidrap ketinggian 150 m .	13
Gambar 2.5 Contoh Energi Terbarukan .....	14
Gambar 2.6 Jenis-jenis Kincir Angin .....	16
Gambar 2.7 Karakteristik Kincir Angin .....	16
Gambar 2.8 Tower PLTB Guyed Lattice Mono-structure .....	18
Gambar 2.9 Klasifikasi Sistem Tenaga .....	20
Gambar 2.10 Kondisi Stabil Dan Tidak Stabil .....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 3.2 Single Line Diagram Sistem SulselBar .....	28
Gambar 4.1 Kestabilan Sudut Rotor Sebelum PLTB Sidrap Terintegrasi Dalam Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	36
Gambar 4.2 Kestabilan Sudut Rotor Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi Dalam Sistem Interkoneksi Sulselbar.....	36
Gambar 4.3 Ketika Terjadi Gangguan pada Saluran Transmisi Sungguminasa-Maros Sebelum PLTB Sidrap Terintegrasi.....	39
Gambar 4.4 Ketika Terjadi Gangguan Pada Saluran Transmisi Sungguminasa-Maros Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi .....	40
Gambar 4.5 Kestabilan Sudut Rotor Ketika Terjadi Gangguan di Saluran Transmisi Sungguminasa-Maros Sebelum PLTB Sidrap Terintegrasi (0.53) detik.....	41



Gambar 4.6 Kestabilan Sudut Rotor Ketika Terjadi Gangguan di Saluran Transmisi Sungguminasa–Maros Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi (0.53) detik ..... 41

Gambar 4.7 Kestabilan Sudut Rotor Ketika Terjadi Gangguan di Saluran Transmisi Sungguminasa–Maros Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi (0.656) detik ..... 42

Gambar 4.8 Ketika Terjadi Gangguan Pada Saluran Transmisi Punagaya-Jenepono Sebelum PLTB Sidrap Terintegrasi ..... 45

Gambar 4.9 Ketika Terjadi Gangguan Pada Saluran Transmisi Punagaya-Jenepono Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi ..... 46

Gambar 4.10 Grafik Kestabilan Sudut Rotor Ketika Terjadi Gangguan Di Saluran Transmisi Punagaya–Jenepono Sebelum PLTB Sidrap Terintegrasi(0.075)detik.47

Gambar 4.11 Grafik Kestabilan Sudut Rotor Ketika Terjadi Gangguan Di Saluran Transmisi Punagaya–Jenepono Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi(0.075)detik.. 47

Gambar 4.12 Grafik Kestabilan Sudut Rotor Ketika Terjadi Gangguan Di Saluran Transmisi Punagaya–Jenepono Setelah PLTB Sidrap Terintegrasi(0.076)detik.. 48



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rincian Pembangkit Eksisting Di Provinsi Sulawesi Selatan .....	11
Tabel 3.1 Penomoran Generator Sistem Sulsel .....	29
Tabel 3.2 Penomoran Dan Jenis Bus Sistem Sulsel .....	30
Tabel 3.2 (Lanjutan) Penomoran Dan Jenis Bus Sistem Sulsel .....	31
Tabel 3.3 Data Impedansi Saluran Transmisi Sistem Sulsel .....	31
Tabel 3.3 (Lanjutan) Data Impedansi Saluran Transmisi Sistem Sulsel.....	32
Tabel 3.4 Data Pembebanan Dan Pembangkitan Sulsel .....	33
Tabel 3.4 (Lanjutan) Data Pembebanan Dan Pembangkitan Sulsel.....	34
Tabel 4.1 Respon Sudut Rotor Sistem Interkoneksi Sulselbar Sebelum Dan Sesudah PLTB Sidrap Terintegrasi .....	37
Tabel 4.2 Respon Sudut Rotor Sistem Interkoneksi Sulselbar Sebelum Dan Sesudah PLTB Sidrap Terintegrasi Dengan CCT 0.53.....	43
Tabel 4.3 Kestabilan Respon Sudut Rotor Sistem Interkoneksi Sulselbar Sebelum dan Sesudah PLTB Sidrap Terintegrasi Dengan CCT 0.075.....	49



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. 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 stabilitas sistem tenaga menjadi tidak seimbang. Konsumsi energi 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. Hal ini membuat pemerintah untuk menginvestasikan dana yang cukup besar untuk membangun pembangkit listrik di berbagai daerah di Indonesia. Untuk mengatasi pemenuhan kebutuhan listrik ini, maka diperlukan sebuah energi baru yang mampu memenuhi kebutuhan listrik nasional yang semakin besar.

Energi terbarukan berasal dari proses alami dan kemungkinan tidak akan pernah habis. Potensi untuk mengembangkan energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar seperti potensi energi surya, energi angin, energi air, biomassa, energi panas bumi dan energi gelombang laut. Potensi ini cukup banyak dan tersebar

wilayah Indonesia. Jika energi-energi ini dapat diolah dan dimanfaatkan energi ini tidak akan lagi mengalami krisis energi listrik.



Salah satu upaya pemanfaatan energi terbarukan yang dilakukan yaitu pembangunan Pusat Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Sulawesi Selatan yaitu di Kabupaten Sidrap. Pembangkit Listrik ini mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Jenis pembangkit energi angin tergolong baru di Indonesia walaupun pembangkit energi angin sudah lama dimanfaatkan oleh Negara maju seperti Belanda, Inggris, Australia, dan lain-lain. Pusat Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap merupakan PLTB pertama di Indonesia yang terbesar, tidak banyak Negara di Asia yang memiliki pembangkit listrik jenis ini. Daya yang dihasilkan PLTB Sidrap cukup besar yakni kapasitas 75 MW. Listrik yang dihasilkan dari pembangkit tersebut akan disalurkan ke PLN melalui jaringan interkoneksi Sulawesi Selatan. Jaringan ini menyambungkan ke saluran transmisi PLN 150 kV. Pembangkit ini berintegrasi dengan sistem kelistrikan Sulawesi Selatan pada tahun 2020 sesuai yang tertera pada RUPTL PLN 2017-2026.

Dengan mensimulasikan adanya pembangkit baru dengan memanfaatkan tenaga angin di Kabupaten Sidrap dan penambahan pasokan listrik pada sistem interkoneksi Sulselbar, maka akan di analisis bagaimana pengaruh terintegrasinya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap terhadap kestabilan sistem interkoneksi terkhusus pada kestabilan sudut rotor sistem interkoneksi Sulselbar. Selain itu juga kami akan mensimulasikan kestabilan sistem ketika terjadi gangguan sebelum dan setelah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sidrap terintegrasi pada sistem interkoneksi Sulselbar. Dengan menggunakan bantuan software MATLAB.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan sebuah penelitian yang berjudul “Studi Kestabilan Sudut Rotor Sistem Interkoneksi Sulselbar Dengan Integrasi PLTB Sidrap“. Dalam penelitian ini, kestabilan sudut pada sistem Sulselbar akan dianalisis dan membandingkan hasilnya sebelum dan sesudah integrasi PLTB, serta analisis ketika terjadi gangguan pada saat PLTB masuk ke sistem, dalam sistem interkoneksi Sulselbar dengan menggunakan software

B.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kestabilan sudut rotor sistem interkoneksi apabila PLTB Sidrap terintegrasi pada sistem?
2. Bagaimana respon sudut rotor sistem interkoneksi Suselbar ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada jaringan transmisi Suselbar sebelum dan setelah terintegrasi PLTB Sidrap ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kestabilan sudut rotor apabila PLTB Sidrap terintegrasi pada sistem interkoneksi Suselbar.
2. Menentukan respon sudut rotor sistem interkoneksi Suselbar ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada jaringan transmisi Suselbar sebelum dan sesudah PLTB Sidrap terintegrasi pada sistem interkoneksi Suselbar.

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil pembahasan yang terarah, maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas. Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Data keseluruhan sistem, berupa data pembangkitan, sistem transmisi, generator, bus, dan beban sistem diperoleh dari Unit Pengatur Beban PT. PLN Wilayah Suselbar
2. Analisis yang dilakukan hanya pada sistem interkoneksi Suselbar dengan memerhatikan kestabilan sudut rotor .
3. Menganalisis kondisi kestabilan sistem interkoneksi Suselbar dengan memberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada jaringan transmisi Suselbar dengan terintegrasinya PLTB Sidrap.
4. Simulasi dan analisis menggunakan software MATLAB versi 2014a .



## I.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan masukan terhadap PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Sulselbar Opsi dalam menganalisis kestabilan respon sudut rotor sistem interkoneksi Sulawesi Selatan saat PLTB Sidrap mulai terintegrasi dengan sistem.
2. Sebagai bahan acuan untuk akademisi maupun praktisi yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut.

## I.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain :

1. Studi literatur  
Studi literatur dilakukan dengan cara mengadakan studi dari buku, internet, dan sumber bahan pustaka, atau informasi lainnya yang dapat menunjang penelitian.
2. Pengamatan di lapangan  
Dilakukan dengan meninjau langsung ke lapangan untuk melakukan pengamatan secara langsung.
3. Pengambilan data  
Dilakukan pengambilan data pada industri tempat melakukan penelitian.
4. Pengelompokan data, yang bertujuan untuk :
  - a. Mengumpulkan dan mengelompokkan data agar lebih mudah dianalisis.
  - b. Mengetahui kekurangan data sehingga kerja menjadi efisien.
5. Pengolahan data  
Dikerjakan dengan menerapkan dan melakukan simulasi aplikasi MATLAB serta melakukan beberapa perhitungan dan penggambaran, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel.
6. Analisa hasil pengolahan data

Dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh simpulan sementara. Selanjutnya simpulan sementara ini akan diolah lebih lanjut pada bab pembahasan.



## 7. Simpulan

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

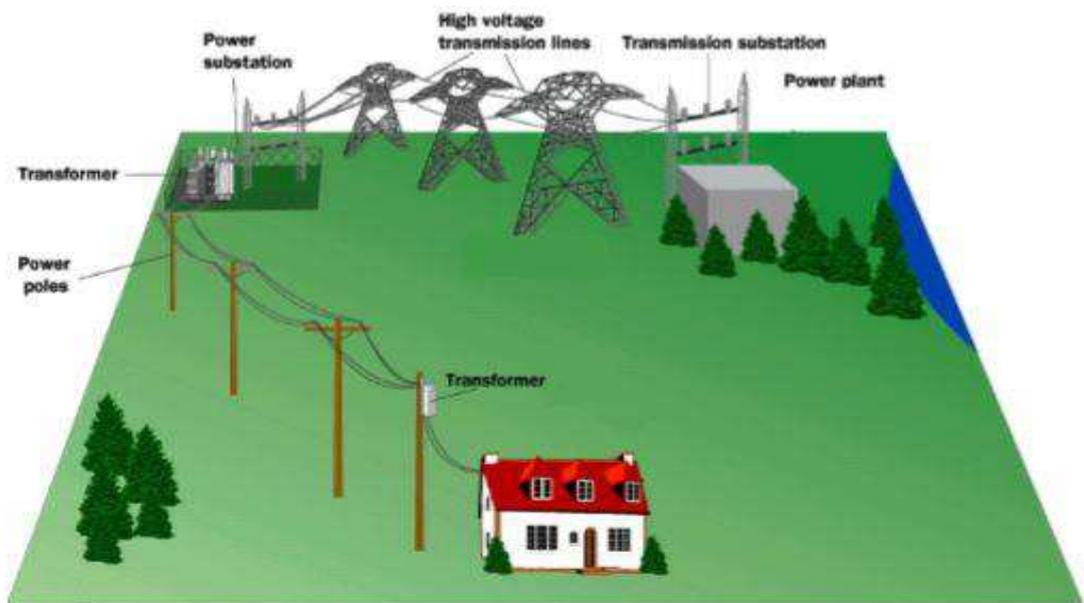


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik [1]

Pada pembangkitan tenaga listrik terdapat proses perubahan sumber energi primer menjadi energi listrik. Proses perubahan sumber energi baik konvensional maupun non konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.1. Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda, sesuai dengan prime movernya. Satu hal yang sama pada pembangkit tenaga listrik adalah semuanya berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan cara mengubah potensi energi mekanik yang berasal dari air, uap, gas, angin, panas bumi, nuklir, kombinasinya [1].



Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik [1]

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

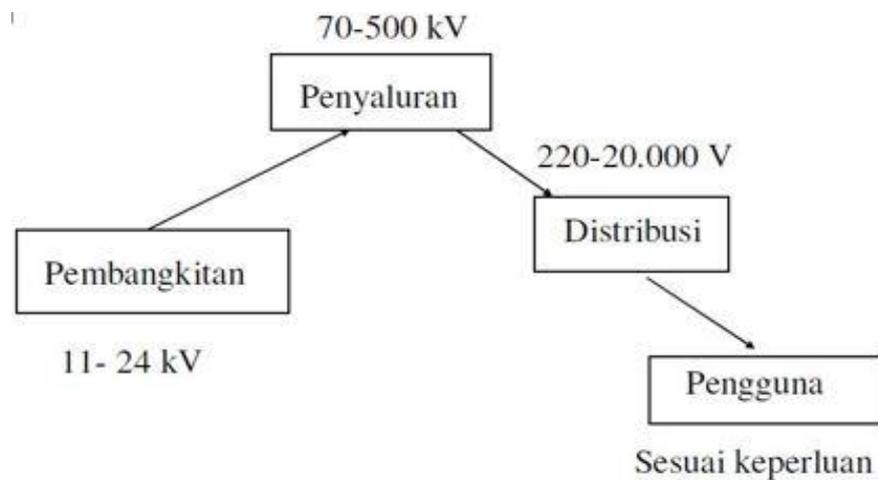
- 1) Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.

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 seperti tertera pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pembagian level tegangan [2]

Klasifikasi 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.

Saluran transmisi biasanya digunakan level tegangan yang lebih tinggi. 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 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.

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 220V 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.

Sistem tenaga listrik yang diuraikan pada Gambar 2.2 adalah gambaran secara sederhana, yaitu satu sistem pembangkitan yang melayani satu sistem beban. Sistem yang demikian disebut sistem tunggal. Namun dalam prakteknya kadang suatu sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa sistem pembangkit untuk melayani beberapa macam beban yang ada pada lokasi yang berlainan. Untuk memperoleh pelayanan yang lebih baik, maka seluruh sistem haruslah saling terkoneksi atau interkoneksi sehingga dapat dikendalikan dari satu tempat.



Demikian pula kebutuhan daya dapat dilayani dari pembangkit mana saja sekalipun lokasinya jauh dari pusat beban.

Untuk mendapatkan sistem yang demikian setiap pembangkit dan pusat beban harus saling berhubungan. Sistem yang demikian disebut sebagai sistem interkoneksi. Dengan sistem ini di harapkan kualitas pelayanan dapat menjadi lebih baik. Dengan sistem interkoneksi, sistem tenaga listrik menjadi lebih kompleks, sehingga biaya pembangunan dan operasionalnya menjadi lebih besar dan pengelolaannya menjadi lebih rumit. Dengan demikian sistem interkoneksi hanya digunakan pada sistem tenaga listrik dengan daya besar dan memerlukan standar kualitas pelayanan yang tinggi [1].

## 2.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik [2]

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 perantara 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 tidak terpengaruh oleh faktor cuaca dan lebih estetika karena tidak mengganggu pandangan. Karena itulah

kabel bawah tanah lebih disukai terutama di daerah dengan penduduk yang 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 [2].

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).

### **2.3 Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan [3]**

#### **2.3.1 Kondisi Eksisting**

Sistem kelistrikan Provinsi Sulawesi Selatan saat ini terdiri dari sistem interkoneksi 70 kV, 150 kV, 275 kV dan sistem *isolated* 20 kV serta sistem tegangan rendah 220 Volt di pulau-pulau terpencil. Sistem interkoneksi tersebut merupakan bagian dari sistem interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan (Sulbagsel), dipasok dari PLTU, PLTA, PLTG/GU, PLTD dan PLTMH. Transmisi 275 kV digunakan untuk transfer energi dari PLTA Poso ke sistem Sulselbar melalui GI Palopo. Sedangkan sistem kecil *isolated* 20 kV dan 220 Volt di pulau-pulau seperti di Kabupaten Selayar, Kabupaten Pangkep, dipasok dari PLTD setempat. Sistem kelistrikan di Kabupaten Selayar dan pulau-pulau di Kabupaten Pangkep, dilayani PLTD BBM dan sebagian dilayani oleh PLTM. Rasio jumlah pelanggan rumah tangga berlistrik PLN pada Tahun 2015 untuk Provinsi Sulawesi Selatan adalah sebesar 88,30%. Table 2.1 berikut adalah rincian pembangkit eksisting di Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan Gambar 2.3 adalah peta sistem kelistrikan eksisting Provinsi Sulawesi Selatan dan rencana pengembangannya [3].





Gambar 2.3 Peta sistem kelistrikan eksisting Provinsi Sulawesi Selatan dan rencana pengembangannya [3].

Tabel 2.1 Rincian pembangkit eksisting di Provinsi Sulawesi Selatan

No	Sistem/Pembangkit	Jenis	Jenis Bahan Bakar	Pemilik	Kapasitas Terpasang (MW)	Daya Mampu Neto (MW)	Beban Puncak (MW)	
1	Sulsel	Bakaru 1	PLTA	Air	PLN	63,0	63,0	
		Bakaru 2	PLTA	Air	PLN	63,0	63,0	
		Bili Bili	PLTA	Air	PLN	20,0	19,4	
		Sawitto	PLTM	Air	PLN	1,6	1,0	
		Balla Mamasa	PLTM	Air	PLN	0,7	0,5	
		Kalukku mamuju	PLTM	Air	PLN	1,4	0,0	
		Bonehau mamasa	PLTM	Air	PLN	4,0	0,0	
		Budong2 mamuju	PLTM	Air	PLN	2,0	0,0	
		Barru #1	PLTU	Batubara	PLN	50,0	40,0	
		Barru #2	PLTU	Batubara	PLN	50,0	40,0	



		Westcan	PLTG	BBM	PLN	0,0	0,0	
		Alsthom 1	PLTG	BBM	PLN	0,0	0,0	
		Alsthom 2	PLTG	BBM	PLN	0,0	0,0	
		GE 1	PLTG	BBM	PLN	33,4	25,0	
		GE 2	PLTG	BBM	PLN	33,4	28,0	
		Mitsubishi 1	PLTD	BBM	PLN	12,6	8,0	
		Mitsubishi 2	PLTD	BBM	PLN	12,6	8,0	
		SWD 1	PLTD	BBM	PLN	12,4	8,0	
		SWD 2	PLTD	BBM	PLN	12,4	8,0	
		GT 11	PLTG	Gas	IPP	42,5	36,0	
		GT 12	PLTG	Gas	IPP	42,5	36,0	
		ST 18	PLTG U	CC Gas	IPP	50,0	38,0	
		GT 21	PLTG	Gas	IPP	60,0	50,0	
		GT 22	PLTG	Gas	IPP	60,0	50,0	
		ST 28	PLTG U	CC Gas	IPP	60,0	50,0	
		Suppa	PLTD	BBM	IPP	62,2	51,5	
		Jeneponto#1	PLTU	Batubara	IPP	125,0	100,0	
		Jeneponto#2	PLTU	Batubara	IPP	125,0	100,0	
		Tangka Manipi Sinjai	PLTM	Air	IPP	10,0	10,0	
		Simbuang Luwu	PLTM	Air	IPP	3,0	2,0	
		Siteba Palopo	PLTM	Air	IPP	7,5	5,0	
		Malea Tator	PLTM	Air	IPP	14,0	10,0	
		Ranteballa palopo	PLTM	Air	IPP	2,4	2,0	
		Bungin Enrekang	PLTM	Air	IPP	3,0	2,5	
		Poso 1	PLTA	Air	IPP	65,0	40,0	
		Poso 2	PLTA	Air	IPP	65,0	40,0	
		Poso 3	PLTA	Air	IPP	65,0	0,0	
		Saluanoa Luwu	PLTM	Air	IPP	2,0	1,5	
		Tallasa	PLTD	BBM	Sewa	80,0	75,0	
		Tallo Lama	PLTD	BBM	Sewa	20,0	20,0	
		Sawatama Masamba	PLTD	BBM	Sewa	4,0	4,0	
<b>Total Sistem Sulsel</b>						<b>1.340,6</b>	<b>1.035,4</b>	<b>934,0</b>
2	Isolate d	Selayar	PLTD	BBM	PLN	10,1	6,8	6,3
		Malili (PT Vale excess Power)	PLTA	Air	Sewa	8,0	8,0	8,0
<b>Total Sistem Sulsel</b>						<b>18,1</b>	<b>14,8</b>	<b>14,3</b>
<b>Total</b>						<b>1.358,7</b>	<b>1.050,2</b>	<b>948,3</b>

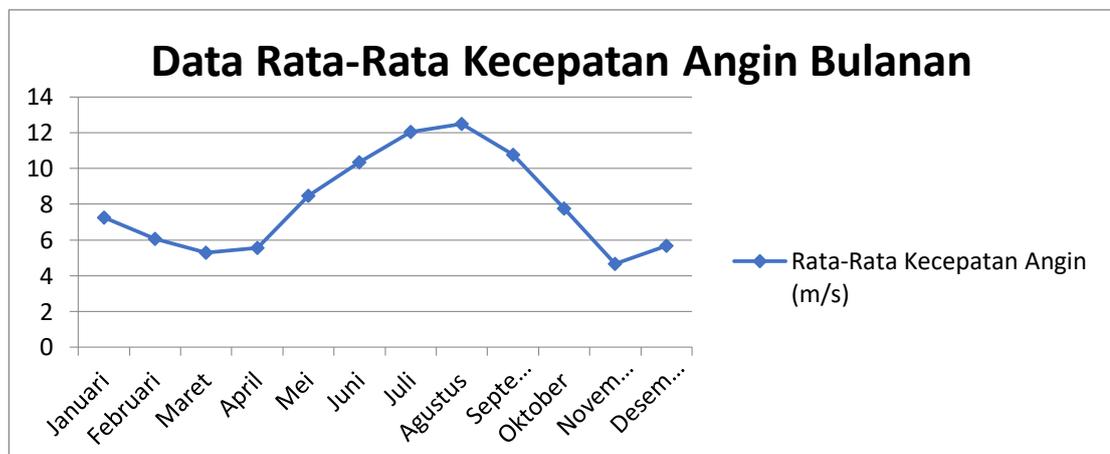
UPTL PLN 2017-2026



### 2.3.2 Kondisi Saat Terintegrasi Dengan PLTB Sidrap

Pengembangan pembangkit di daerah Sulselbar sangat diperlukan mengingat pertumbuhan ekonomi yang semakin meningkat tiap tahunnya akan berdampak pula pada permintaan kebutuhan energi listrik. Pusat beban di Provinsi Sulawesi Selatan sebagian besar berada pada daerah selatan yaitu di Kota Makassar dan sekitarnya. Sedangkan, potensi energi primer berada di bagian utara dan tengah provinsi ini. Pemanfaatan sumber energi baru terbarukan jelas akan membawakan keuntungan pada sistem kelistrikan Sulselbar. Pusat Listrik Tenaga Bayu telah dibangun di daerah Sidrap dengan kapasitas 75 MW, terdiri dari 30 turbin angin dengan kapasitas masing-masing 2,5 MW. PLTB Sidrap berintegrasi dengan sistem Sulselbar melalui jaringan transmisi 150 kV. Jaringan transmisi Sidrap-Maros akan dilepas dan digantikan dengan jaringan transmisi Sidrap-PLTB Sidrap dan PLTB Sidrap-Maros [3].

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan kondisi potensi angin dengan ketinggian 150 m di lokasi PLTB Sidrap berada.



Sumber : indonesia.windprospecting.com

Gambar 2.4 Data rata-rata kecepatan angin bulanan Sidrap ketinggian 150 m [3]

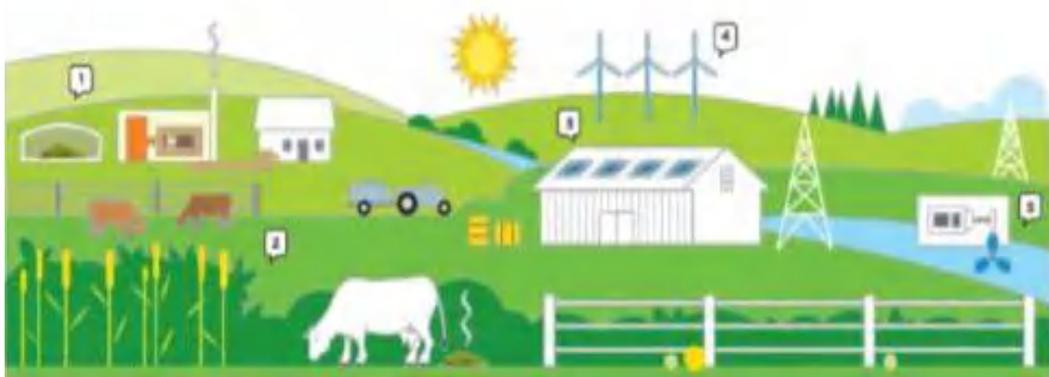
### 2.4 Energi Terbarukan [4]

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang berasal dari proses alam dan kemungkinan tidak akan pernah habis, 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 perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bias 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 kinetic (gerakan) 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 [4].



- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| 1. Pembangkit Biomassa      | 4. Tenaga Angin |
| 2. Biomassa                 | 5. Tenaga Air   |
| 3. Fotovoltaik Tenaga Surya |                 |

Gambar 2.5 Contoh energi terbarukan [4]



## 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu [5]

Dalam realitas, 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 memanaskan dalam waktu yang berbeda. Udara panas naik, 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 di atas 'sayap' juga disebut bilah atau aerofoil dari turbin angin, yang menyebabkan berputar cepat. Turbin angin menggunakan gerakan rotasi untuk membangkitkan listrik atau menjalankan peralatan mesin seperti pompa [5]

Umumnya suatu pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) terdiri dari beberapa komponen utama yaitu ; a) kincir angin, b) gear box, c) brake sistem, d) generator dan e) alat penyimpan energi. Selanjutnya komponen-komponen tersebut akan diuraikan berikut ini [6]:

### a. Kincir Angin

Secara umum kincir angin dapat dibagi menjadi 2, yaitu kincir angin yang berputar dengan sumbu horizontal, dan yang berputar dengan sumbu vertikal. Gambar 2.6 menunjukkan jenis-jenis kincir angin berdasarkan bentuknya. Sedangkan Gambar 2.7 menunjukkan karakteristik setiap kincir angin sebagai fungsi dari kemampuannya untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi putar turbin untuk setiap kondisi kecepatan angin. Dari Gambar 2.6 dapat

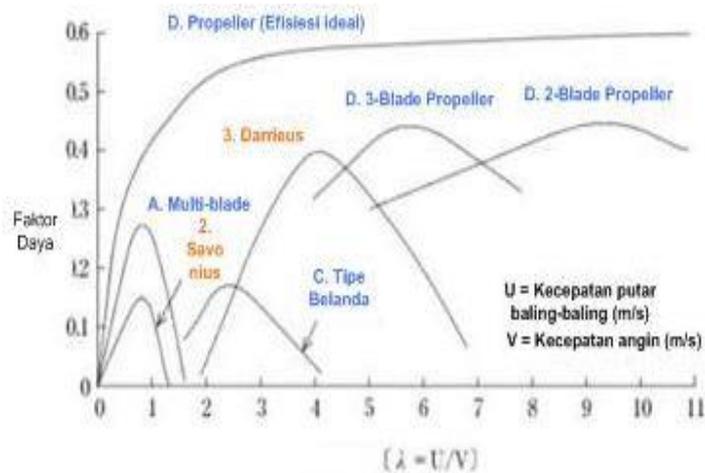
diambil kesimpulan bahwa kincir angin jenis multi-blade dan savonius cocok digunakan untuk aplikasi PLTB kecepatan rendah. Sedangkan kincir angin tipe propeller,



paling umum digunakan karena dapat bekerja dengan lingkup kecepatan angin yang luas.



Gambar 2.6 Jenis-jenis kincir angin [6]



Gambar 2.7 Karakteristik kincir angin [6]



Box

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

### c. Brake Sistem

Alat ini 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.

### d. Generator

Ada berbagai jenis generator yang dapat digunakan dalam sistem turbin angin, antara lain generator serempak (synchronous generator), generator tak-serempak (unsynchronous 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 membutuhkan sistem kontrol yang rumit. Generator tak-serempak sering digunakan untuk sistem turbin angin dan sistem mikrohidro, baik untuk sistem fixedspeed maupun sistem variable speed.

### e. 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 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga selama 0.5 jam pada daya 780 watt.

### f. Box Control Turbin Angin

Setiap Turbin Angin memiliki box kontrol masing - masing. Fungsi dari box kontrol sendiri adalah untuk mengatur kecepatan putaran pada kincir dan supply



dalam kondisi cuaca normal. tegangan dari turbin angin ke panel beban atau rumah induk.

g. Dummy Load

Merupakan tempat pembuangan tegangan berlebih yang dihasilkan oleh pembangkit.

h. Data Logger

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.

i. Tower

Tower PLTB dapat dibedakan menjadi 3 jenis seperti Gambar 2.8. Setiap jenis tower memiliki karakteristik masing-masing dalam hal biaya, perawatan, efisiensinya, ataupun dari segi kesusahan dalam pembuatannya.



Gambar 2.8 Tower PLTB (kiri), guyed (tengah), lattice (kanan), monostructure[6]



## 2.6 Sistem Interkoneksi [7]

Sistem interkoneksi kelistrikan merupakan sistem terintegrasi pusat pembangkit menjadi satu sistem pengendalian. Dengan adanya sistem interkoneksi ini akan diperoleh suatu keharmonisan antara pembangunan stasiun pembangkit dengan saluran transmisi dan saluran distribusi agar bisa menyalurkan daya dari stasiun pembangkit ke pusat beban secara ekonomis, efisien, dan optimum dengan keandalan tinggi.

Jika suatu daerah memerlukan beban listrik yang lebih besar dari kapasitas bebannya maka daerah itu perlu beban tambahan yang harus disuplai dari 2 stasiun yang jaraknya cukup jauh. Agar diperoleh sistem penyaluran tenaga listrik yang baik, diperlukan sistem interkoneksi. Dengan interkoneksi dimungkinkan tidak terjadi pembebanan lebih pada salah satu stasiun dan kebutuhan beban bisa disuplai dari kedua stasiun secara seimbang.

Kedua stasiun pembangkit S1 dan S2, selain memberikan arus listrik pada beban di sekitarnya, juga menyalurkan arus listrik I1 dan I2 pada beban melalui jaringan transmisi 1 dan 2. Stasiun tenaga dihubungkan dengan menggunakan interkonektor, sedangkan penyaluran tenaga listrik berlangsung seperti ditunjukkan anak panah pada gambar berikut. Oleh karena beban lokal di sekitar stasiun dihubungkan pada stasiun S1 dan S2 maka tegangan pada bus bar nya harus dijaga agar konstan seperti tegangan pada beban konsumen. Agar kedua jaringan transmisi bisa menyalurkan daya yang sama dan sistem beroperasi pada terminal yang sama, maka diperlukan peralatan regulasi yang dipasang pada akhir pengiriman masing-masing jaringan transmisi dan interkonektor.

Untuk memperoleh stabilitas operasi dari sistem interkoneksi stasiun pembangkit, maka kedua sistem harus diinterkoneksi melalui sebuah reaktor, sehingga tenaga listrik akan mengalir dari stasiun satu ke stasiun lainnya sebagaimana diperlukan pada kondisi operasi [7].

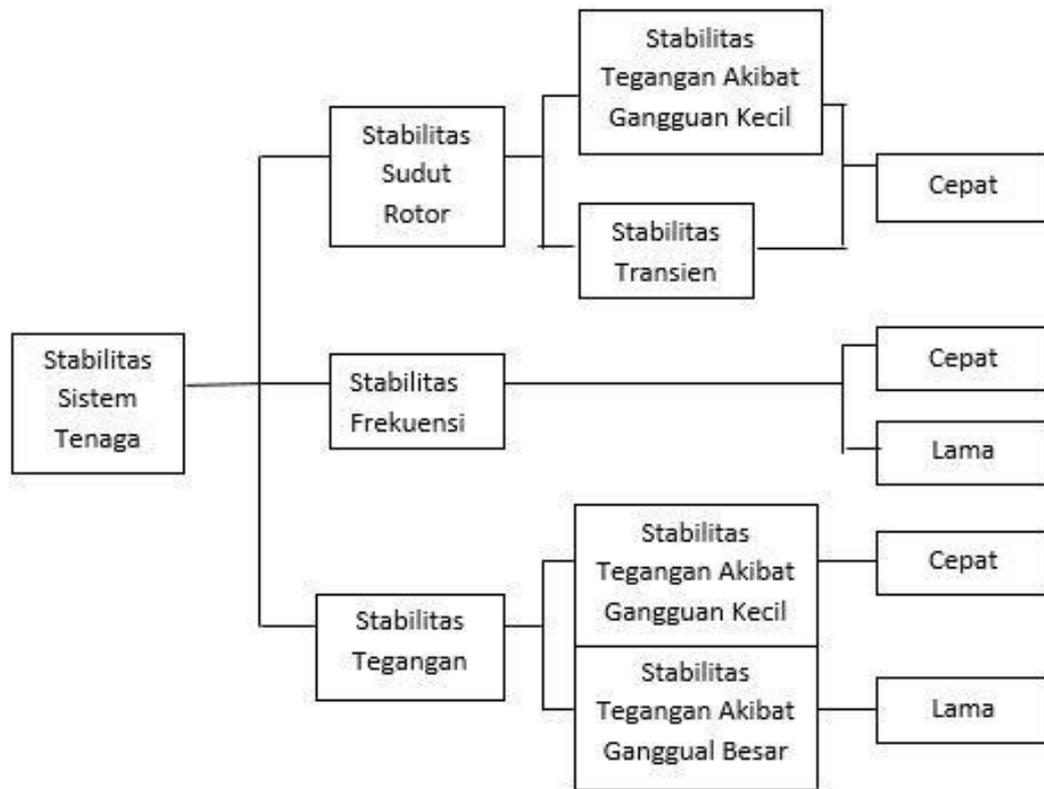
## 2.7 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [8]

Stabilitas sistem tenaga listrik secara luas dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari satu sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam kondisi yang diinginkan dalam operasi normal dan dapat memperoleh kembali kondisi



seimbang setelah sistem mengalami gangguan. Oleh karena itu, perlu pengklasifikasian kestabilan sistem tenaga berdasarkan faktor kontribusi yang menyebabkan ketidakstabilan lebih jelasnya tertera pada Gambar 2.9 [8].

Tujuan dari kestabilan sistem tenaga itu sendiri ialah untuk menentukan rotor mesin yang terganggu agar dapat kembali ke keadaan normal dengan kecepatan konstan. Artinya, pada kondisi ini kecepatan rotor harus menyimpang dari kecepatan sinkron, paling tidak untuk beberapa waktu. Penyeimbangan kecepatan rotor yang terlalu lama dapat membuat mesin menjadi rusak.



Gambar 2.9 Klasifikasi sistem tenaga [8]

Analisis kestabilan biasanya digolongkan kedalam 3 jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu :

- . Kestabilan Keadaan Tetap (Steady State Stability)
- . Kestabilan Dinamis (Dynamic Stability)
- . Kestabilan Peralihan (Transient Stability)

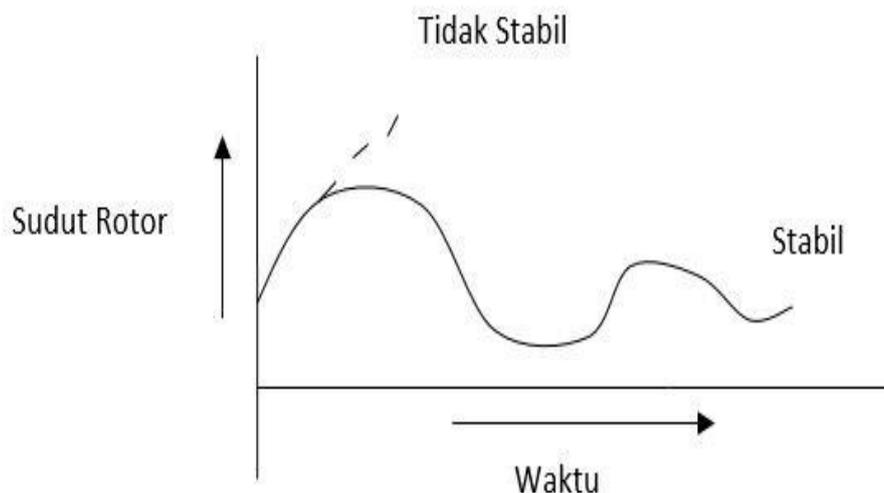


### 2.7.1 Kestabilan Keadaan Tetap (Steady State Stability)

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

Saat daya yang dikirim generator meningkat, rotor akan mendahului sumbu referensi medan putarnya dan akibat adanya inerti bagian yang berputar maka akan terjadi overshoot dari posisi keseimbangan. Saat kondisi sistem stabil, terjadi osilasi rotor yang terendam. Jika osilasi ini tidak terendam, mesin akan kehilangan sinkronisasinya. Hal ini mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil.

Pada Gambar 2.10, dapat dilihat grafik hubungan kestabilan dan ketidakstabilan sudut rotor terhadap waktu. Dikatakan kondisi stabil, apabila terjadi gangguan osilasi rotor terendam. Sedangkan, dapat dikatakan pada kondisi tidak stabil, apabila osilasi ini tidak terendam saat terjadi gangguan yang mengakibatkan mesin akan kehilangan sinkronisasinya.



Gambar 2.10 Kondisi stabil dan tidak stabil [8]



### 2.7.2 Kestabilan Dinamis (Dynamic Stability)

Kestabilan Dinamis didefinisikan sebagai Kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ketitik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relative kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang lama. Analisa kestabilan dinamis lebih kompleks karena memasukkan komponen kontrol otomatis dalam perhitungannya.

Setelah terjadi gangguan, governer penggerak awal akan bereaksi untuk menaikkan atau menurunkan daya input guna mengembalikan keseimbangan antara daya masuk dengan beban listrik yang ada. Periode antara saat governer mulai bereaksi sampai dengan terjadinya kondisi keseimbangan inilah yang disebut kestabilan dinamis.

Pada periode ini, governer membuka atau menutup katup untuk menaikkan atau menurunkan daya masuk pada penggerak mula. Ketika governer mendeteksi penurunan kecepatan, maka katup uap akan terbuka untuk menaikkan kecepatan. Akan tetapi, saat menaikkan kecepatan terjadi ketidakseimbangan dimana daya mekanik akan melebihi beban. Berbuhung kecepatan melebihi batas normal, maka governer akan berusaha untuk menurunkan kecepatan. Sebagai hasilnya, terjadi osilasi pada daya masuk dan putaran rotor. Apabila osilasi ini terendam, maka sistem akan menjadi stabil [8].

### 2.7.3 Kestabilan Peralihan (Transient Stability)

Kestabilan peralihan didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk mencapai suatu titik keseimbangan atau sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem kehilangan stabilitas karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem. Analisa kestabilan peralihan adalah analisa yang utama untuk menelaah perilaku sistem daya seperti gangguan yang berupa :

1. Perubahan beban yang mendadak karena terputusnya unit pembangkit
2. Perubahan pada jaringan transmisi misalnya gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar.

Setelah hilangnya pembangkitan, tidak ada keseimbangan antara daya dengan beban listrik. Pada kondisi daya mekanik yang kurang, inertia rotor putar memberikan energi tersimpannya yang mengakibatkan putaran akan menurun begitu pula frekuensinya. Apabilan beban yang lepas maka



kecepatan mesin akan bertambah atau frekuensinya meningkat. Respon eksitasi juga sangat mempengaruhi kestabilan sistem. Gangguan pada sistem, biasanya diikuti dengan turunnya tegangan dan pengembalian tegangan ke kondisi normal secara cepat. Hal itu sangat penting untuk menjaga stabilitas [8].

## 2.8 Kestabilan Sudut Rotor [9]

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron setelah terjadi gangguan. Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada masing masing mesin. Ketidakstabilan tersebut dapat mengakibatkan berubahnya kecepatan sudut ayunan generator sehingga generator mengalami hilang sinkronisasi dengan generator yang lain. Hal tersebut disebabkan daya output dari generator berubah sesuai dengan berubahnya sudut rotor .

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi ketika sistem mengalami gangguan besar, seperti hubung singkat pada saluran transmisi. Respon sudut rotor generator mengalami penyimpangan dan dipengaruhi oleh ketidaklinieran hubungan sudut daya. Studi stabilitas transien memiliki kurun waktu 3-5 detik setelah gangguan. Untuk sistem yang sangat besar dengan ayunan antar wilayah yang dominan maka kurun waktu dapat diperpanjang menjadi 10-20 detik. Kestabilan sudut rotor kecil dan kestabilan transien dikategorikan sebagai fenomena jangka pendek.

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kesinkronan akibat gangguan kecil . Studi kestabilan ini mempunyai kurun waktu 10-20 detik setelah gangguan dan tergantung pada operasi awal sistem. Ketidakstabilan ini terjadi akibat dua hal antara lain kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi *damping* [9].

## 2.9 PSAT (The Power System Analysis Toolbox) [10]

Power System Analysis Toolbox (PSAT) adalah toolbox Matlab yang digunakan untuk analisis dan simulasi sistem tenaga listrik. Versi baris perintah juga kompatibel GNU Octave. Semua operasi dapat dinilai dengan



menggunakan antarmuka pengguna grafis (GUI) dan pustaka berbasis Simulink menyediakan alat yang mudah digunakan untuk desain jaringan.

Fitur utama dari PSAT seperti: Power Flow; Aliran Daya Lanjutan; Aliran Daya Optimal; Analisis Stabilitas Sinyal Kecil; Simulasi Domain Waktu; Antarmuka Pengguna Grafis Lengkap; Model FACTS; Model Turbin Angin; Konversi File Data dari beberapa Format; Mengekspor hasil ke file EPS, teks biasa, MS Excel dan LaTeX; Antarmuka untuk GAMS dan Program UWPFLOW; Penggunaan Baris Perintah; dan Kompatibilitas GNU Octave [10].

