

SKRIPSI

Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Sulbagsel Akibat Hilangnya Beban Besar

Disusun dan diajukan oleh:

Wahyudi S. Salama

D411 16 306



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA
LISTRIK SULBAGSEL AKIBAT HILANGNYA BEBAN BESAR**

Disusun dan diajukan Oleh:

WAHYUDI S. SALAMA

D411 16 306

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 30 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui:

Pembimbing Utama

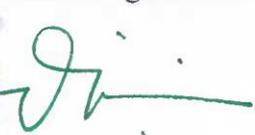
Pembimbing Pendamping


Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D
NIP. 19780424 200112 2 001


Ir. H. Gassing, MT.
NIP. 19600720 198702 1 001

Ketua Program Studi




Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini, nama Wahyudi S. Salama, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK SULBAGSEL AKIBAT HILANGNYA BEBAN BESAR", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Gowa, 9 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,



Wahyudi S. Salama
NIM : D411 16 306

KATA PENGANTAR

Segala puji atas kehadiran Allah SWT atas berkat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul : “Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Sulbagsel Akibat Hilangnya Beban Besar”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagai syarat menyelesaikan studi bagi mahasiswa program S-1 diprogram Studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan banyak terima kasih bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Kedua Orangtua saya, Syahabuddin dan Muhmina beserta Keluarga saya yang saya cintai yang terus memberikan doa, memberikan motivasi, dan memberikan dukungan dari segi moril maupun materi kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya ini.
2. Ibu Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D dan Bapak Ir. H. Gassing, MT. selaku dosen pembimbing skripsi saya yang telah memberikan bimbingan dan kritik hingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro.

4. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A, selaku Rektor Universitas Hasanuddin
6. Seluruh pihak PT. PLN (Persero) UPB Makassar.
7. Bapak/Ibu dosen dan staff di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya program studi Teknik Elektro yang telah banyak membantu saya selama menjalani masa studi.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjamuddin Harun, M.Si dan Bapak M. Bachtiar Nappu, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
9. Kepada teman-teman Syahrul College (Andeng, Almand, Dave, Onan, Dammang, Gafur, Vicky, Ryan) yang selalu menjadi teman berbagi cerita dan keluh kesah, Kepada teman-teman EXCITER16 dan Saudara Teknik 16 untuk kebersamaannya, serta kepada sahabat-sahabat saya dari CSM yang selalu memberikan dukungan baik dalam susah maupun senang.
10. Kepada semua pihak yang terlibat dan tidak dapat saya sebut satu persatu, terima kasih yang tak terhingga atas semua dukungan dan bantuannya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua, amin.

Makassar, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Rumusan Masalah.....	18
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Batasan Masalah.....	19
1.5 Metode Penelitian.....	20
1.6 Sistematika Penulisan.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	22
II.1 Sistem Tenaga Listrik	22
II.2 Interkoneksi Jaringan.....	25
II.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	26
II.4 <i>Voltage Swell dan Over Voltage</i>	30

II.5 Beban Listrik dan Klasifikasi Beban	32
II.6 Energi Terbarukan	34
II.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	36
II.7.1 Turbin Angin	37
II.7.2 Jenis Turbin Angin.....	37
II.8 <i>Load Shedding</i> (pelepasan beban)	39
II.9 <i>Static Var System</i>	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	45
III.1 Judul Penelitian	45
III.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	45
III.3 Pengambilan Data.....	45
III.4 Alur Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
IV.1 Perencanaan Simulasi.....	47
IV.2 Data Sistem Sulbagsel	47
IV.3 Hasil Simulasi	50
IV.3.1 Simulasi gangguan lepasnya beban pada sistem Sulbagsel	50
IV.3.2 Simulasi Metode Mempertahankan Kestabilan Tegangan.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
V.1 Kesimpulan	79
V.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema sistem interkoneksi	25
Gambar 2. 2 Klasifikasi Kestabilan Sistem.....	27
Gambar 2. 3 Model <i>Static Var System</i>	42
Gambar 2. 4 Data dasar dari <i>Static Var System</i>	43
Gambar 2. 5 Konfigurasi kontrol tegangan SVS.....	44
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian.....	46
Gambar 4. 1 Single line diagram Sulbagsel	49
Gambar 4. 2 Letak gangguan beban Kendari pada sistem.....	50
Gambar 4. 3 Simulasi tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak siang.....	50
Gambar 4. 4 Simulasi tegangan pada bus 70 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas	51
Gambar 4. 5 Simulasi tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak siang.....	51
Gambar 4. 6 Letak gangguan beban Panakkukang pada sistem.....	53
Gambar 4. 7 Simulasi tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak siang	53
Gambar 4. 8 Simulasi tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak siang	54
Gambar 4. 9 Simulasi tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak malam	55
Gambar 4. 10 Simulasi tegangan pada bus 70 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak malam	56

Gambar 4. 11 Simulasi tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak malam	56
Gambar 4. 12 Simulasi tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak malam	58
Gambar 4. 13 Simulasi tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak malam	58
Gambar 4. 14 Simulasi tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban rendah	60
Gambar 4. 15 Simulasi tegangan pada bus 70 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban rendah	60
Gambar 4. 16 Simulasi tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban rendah	61
Gambar 4. 17 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak siang.....	65
Gambar 4. 18 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 70 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak siang.....	65
Gambar 4. 19 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak siang.....	66
Gambar 4. 20 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak siang	68
Gambar 4. 21 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak siang	68
Gambar 4. 22 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak malam	69

Gambar 4. 23 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 70 kV saat beban Kendari terlepas saat beban puncak malam	70
Gambar 4. 24 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban puncak malam	70
Gambar 4. 25 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak malam	72
Gambar 4. 26 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Panakkukang terlepas saat beban puncak malam	72
Gambar 4. 27 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 150 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban rendah	73
Gambar 4. 28 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 70 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban rendah	74
Gambar 4. 29 Simulasi kestabilan tegangan pada bus 20 kV dengan gangguan beban Kendari terlepas saat beban rendah	74

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Perbandingan total daya yang dibangkitkan dan beban sebelum dan setelah terjadinya gangguan Kendari	52
Tabel 4. 2 Perbandingan total daya yang dibangkitkan dan beban sebelum dan setelah terjadinya gangguan Panakkukang	55
Tabel 4. 3 Perbandingan total daya yang dibangkitkan dan beban sebelum dan setelah terjadinya gangguan Kendari	57
Tabel 4. 4 Perbandingan total daya yang dibangkitkan dan beban sebelum dan setelah terjadinya gangguan Panakkukang	59
Tabel 4. 5 Perbandingan total daya yang dibangkitkan dan beban sebelum dan setelah terjadinya gangguan Kendari	62
Tabel 4. 6 Perbandingan total daya yang dibangkitkan dan beban sebelum dan setelah terjadinya gangguan Panakkukang	63
Tabel 4. 7 Data pembebanan pada pembangkit yang dipasang AVR	64
Tabel 4. 8 Data bus yang memiliki tegangan rendah pada kondisi beban puncak siang	67
Tabel 4. 9 Data bus yang memiliki tegangan rendah pada kondisi beban puncak malam.....	71
Tabel 4. 10 Daya aktif pada sistem setelah mengalami kestabilan.....	75
Tabel 4. 11 Perbandingan tegangan saat beban puncak siang.....	75
Tabel 4. 12 Perbandingan tegangan saat beban puncak malam	76
Tabel 4. 13 Perbandingan tegangan saat beban rendah	77
Tabel 4. 14 Perbandingan tegangan saat beban puncak siang.....	77
Tabel 4. 15 Perbandingan tegangan saat beban puncak malam	78

ABSTRAK

Wahyudi S. Salama, Analisis Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik Sulbagsel Akibat Hilangnya Beban Besar (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan Gassing).

Sistem tenaga listrik merupakan sistem jaringan interkoneksi yang berfungsi untuk mendistribusikan listrik dari pembangkit ke pengguna. Pembangkit tenaga listrik, sistem saluran transmisi dan saluran distribusi listrik, merupakan komponen utama dalam penyaluran listrik demi memenuhi kebutuhan penggunaan beban listrik konsumen. Hal ini menyebabkan sistem harus bekerja secara terus-menerus sehingga memungkinkan untuk terjadinya gangguan dalam proses penyaluran listrik. Salah satu gangguan yang mungkin saja dapat terjadi adalah kondisi dimana beban pada sistem terlepas secara tiba-tiba, yang menyebabkan ketidakstabilan frekuensi maupun tegangan pada sistem tersebut. Guna mengatasi terjadinya ketidakstabilan dalam hal ini yaitu kondisi tegangan yang tidak stabil, maka diperlukan solusi untuk mencegah ketidakstabilan tegangan. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu pemasangan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* pada sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan, memiliki fungsi untuk mengontrol putaran dari generator sinkron demi menjaga kestabilan tegangan. Tugas akhir ini bertujuan untuk mempertahankan kestabilan tegangan saat terjadi gangguan berupa lepasnya salah satu beban pada sistem. Pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan software *DIgSILENT PowerFactory* dan menggunakan *tools RMS/EMT Simulation*. Terdapat tiga kondisi waktu dalam simulasi kestabilan tegangan yang dilakukan yaitu saat beban puncak siang, beban puncak malam dan beban rendah. *AVR* dipasang pada beberapa pembangkit besar guna menjaga kestabilannya saat terjadi gangguan.

Kata Kunci : Kestabilan, *Automatic Voltage Regulator (AVR)*, Interkoneksi.

ABSTRACT

Wahyudi S. Salama, Voltage Stability Analysis of the South Sulawesi Electric Power System Due to Loss of Large Loads (supervised by Ardiaty Arief and Gassing).

The electric power system is an interconnected network system that had functions to distribute electricity from generators to users. Power plants, transmission line systems and electricity distribution lines are the main components in the distribution of electricity to fulfill the needs of consumers' electricity consumption. This causes the system to work continuously so that it is possible for disturbances to occur in the process of distributing electricity. One of the disturbances that may occur is a condition where the load on the system is released suddenly, which causes frequency and voltage instability in the system. In order to overcome the occurrence of instability in this case, namely unstable voltage conditions, a solution is needed to prevent voltage instability. One solution that can be done is to install an Automatic Voltage Regulator (AVR) on a faulty power supply system, where the AVR aims to maintain voltage stability with controlling the rpm of the generator when a disturbance occurs in the form of the release of one of the loads on the system. System modeling is done by using DIgSILENT PowerFactory software and using RMS/EMT Simulation tools. There are three time conditions in the stress stability simulation carried out, namely when the day peak load, night peak load and low load. AVR is installed on a few power plants that has a bigger capacity of loading.

Keywords : Stability, Automatic Voltage Regulator (AVR), Interconnect.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu cara yang paling paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Pada pusat pembangkit, sumberdaya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batubara). Hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa.

Melalui transformator penaik tegangan, energi listrik ini kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat – pusat beban. Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan berarti mengurangi rugi panas (*heat loss*) I^2R yang menyertainya. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah, melalui transformator penurun tegangan.

Di pusat – pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah lagi menjadi bentuk - bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis (motor), penerangan, pemanas, pendingin, dan sebagainya.

PT PLN (Persero) menyiapkan investasi sekitar Rp137 triliun untuk mengembangkan pembangkit, jaringan transmisi, gardu induk, dan jaringan

distribusi di Sulawesi untuk menopang pembangunan industri smelter di wilayah tersebut. Terdapat potensi penjualan listrik ke industri smelter di Sulawesi sebesar 4.000 MW. Hingga saat ini, kebutuhan listrik eksisting di Sulawesi adalah sebesar 1.750 MW. Dengan kemungkinan adanya potensi peningkatan penjualan listrik ke industri smelter, kebutuhan listrik di Sulawesi akan meningkat hingga 200%. Dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik tersebut, PLN perlu membangun pembangkit baru, jaringan transmisi, gardu induk, dan distribusi. Adapun, perhitungan investasi senilai Rp137 triliun tersebut berkaca pada perbandingan biaya program megaproyek 35.000 MW.

Sekarang ada dua sistem besar di Sulawesi yakni Sistem Sulutgo [Sulawesi –Gorontalo] dan Sulbagsel [Sulawesi Bagian Selatan dan Tenggara]. Sistem Sulbagsel memiliki daya mampu pasok (DMP) sebesar 1.705,8 MW dengan beban puncak 1.310,8 MW atau sekitar 76,8% dari DMP. Artinya, sistem tersebut memiliki cadangan sebesar 395 MW atau 30,2% yang menandakan sistem kelistrikan masih terhitung aman [1].

Permasalahan mengenai energi saat ini khususnya energi listrik merupakan permasalahan yang perlu dipikirkan dampaknya dimasa yang akan datang. Saat ini sumber energi listrik masih didominasi oleh bahan bakar fosil. Khususnya di Indonesia, pembangkit listrik tenaga air telah digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemakaian listrik oleh konsumen. Namun jenis pembangkit tersebut belum mampu untuk memenuhi kebutuhan pemakaian listrik secara keseluruhan karena banyaknya permintaan beban, akibatnya untuk menutupi kekurangan pasokan energi listrik, pemerintah maupun swasta membangun pembangkit listrik yang bersumber dari bahan bakar fosil. Hal ini

telah mengakibatkan banyak dampak buruk baik bagi lingkungan maupun ekonomi. oleh karena itu pemerintah, industri dan akademisi dituntut untuk memikirkan solusi apa yang harus dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Pemakaian energi yang sumbernya dapat diperbaharui merupakan solusi untuk mengatasi permasalahan energi listrik ini. Salah satu sumber energi listrik yang memiliki potensi tersebut yaitu energi angin.

Potensi energi angin di Indonesia telah teridentifikasi di beberapa lokasi terutama di wilayah Jawa, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara dan Maluku. Beberapa pengembang telah mengusulkan pembangunan PLTB di beberapa lokasi seperti: Sukabumi, Banten, Sidrap, Tanah Laut, Bantul dan Jeneponto. Beberapa potensi ini telah dan akan dikembangkan seperti di Sidrap, Jeneponto dan Tanah Laut, sedangkan lokasi lainnya masih membutuhkan kajian lebih lanjut. Salah satu hal yang perlu dicermati dalam masuknya PLTB ke sistem adalah kestabilan sistem menerima masuknya unit PLTB. PLTB yang merupakan pembangkit dengan sumber energi *intermittent*, menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang fluktuatif. Sehingga, untuk setiap daerah dengan karakter sistem berbeda, dibutuhkan kajian yang berbeda juga untuk menilai kelayakan proyek PLTB, terutama skala besar.

Pemanfaatan sumber energi angin telah dilakukan dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Sulawesi Selatan yaitu di Kabupaten Sidrap dan Kabupaten Jeneponto. Pembangkit listrik ini menggunakan turbin angin sebagai penggerak utama generator. Pembangkit energi angin sudah lama dimanfaatkan oleh negara maju seperti Jerman, Australia, Belanda dan lain-lain, namun di Indonesia sendiri pembangkit jenis ini masih terbilang baru. Pusat

Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap dan Jeneponto merupakan PLTB pertama di Indonesia yang terbesar. Daya yang dihasilkan yakni pada PLTB Sidrap dengan kapasitas 75 MW dan pada PLTB Jeneponto dengan kapasitas 60 MW.

Kestabilan tegangan pada sistem Sulbagsel sangat dipengaruhi oleh daya yang dibangkitkan oleh pembangkit dan beban yang di suplai. Hilangnya beban secara tiba-tiba bisa saja terjadi akibat gangguan baik di pembangkit, transmisi ataupun distribusi. Hal tersebut tentunya akan mempengaruhi kestabilan pada sistem. Selain itu dengan masuknya industri – industri berskala besar pada sistem sulbagsel, maka kebutuhan daya listrik sistem sulbagsel akan meningkat. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa dampak dari gangguan tersebut dan dampak apabila terjadi kehilangan beban berskala besar serta memikirkan solusi terbaik untuk permasalahan tersebut. **”Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Sulbagsel Akibat Hilangnya Beban Besar”** adalah sebuah penelitian yang bertujuan untuk menganalisa kestabilan sistem ketika terjadi peristiwa hilangnya beban besar dengan mensimulasikan kestabilan tegangan sistem apabila pada sistem terjadi kehilangan beban dalam skala besar.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kestabilan tegangan sistem Sulbagsel saat beban puncak siang dan malam ketika dipengaruhi oleh gangguan hilangnya beban besar.
2. Bagaimana kestabilan tegangan sistem Sulbagsel apabila terjadi kehilangan beban dalam skala besar saat suplai beban rendah.

3. Bagaimana kestabilan tegangan setelah pemasangan AVR pada beberapa pembangkit berkapasitas besar.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kestabilan tegangan sistem Sulbagsel saat beban puncak siang dan malam ketika dipengaruhi oleh gangguan hilangnya beban besar.
2. Menganalisis kestabilan tegangan sistem Sulbagsel jika terjadi kehilangan beban dalam skala besar saat supply beban rendah.
3. Menganalisis kestabilan tegangan setelah pemasangan AVR pada beberapa pembangkit berkapasitas besar.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencegah persepsi yang salah dan pembahasan yang meluas, maka penulis memberikan batasan masalah yaitu:

1. Sistem kelistrikan yang dianalisis adalah sistem jaringan transmisi Sulbagsel.
2. Sistem yang dianalisis dipengaruhi oleh besarnya tingkat pemakaian beban.
3. Pemakaian beban besar yang dianalisis berasal dari pusat-pusat beban.
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* DigSILENT *PowerFactory*.

1.5 Metode Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini, metode penelitian yang digunakan adalah:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan metode penelitian dengan mencari bahan dari berbagai pustaka mengenai topik yang akan dibahas pada tugas akhir ini.

2. Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data ini dilakukan dengan melakukan pengambilan data secara langsung kepada perusahaan ataupun instansi terkait.

3. Metode Analisis Data

Metode analisis data dilakukan dengan menggunakan software.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan berisi uraian singkat mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan dari tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab landasan teori diuraikan teori-teori yang berkaitan dengan masalah yang diteliti pada tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, dibahas mengenai waktu dan tempat penelitian, metode pengumpulan data, serta langkah-langkah penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan yang terdapat pada rumusan masalah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sistem Tenaga Listrik

Energi tersedia di alam dalam berbagai bentuk, dan manusia mengubahnya ke dalam bentuk energi listrik untuk memenuhi kebutuhannya. Pengubahan atau konversi ini memberikan keuntungan namun konversi tersebut juga memerlukan biaya yang tidak kecil. Berbagai bentuk energi yang mungkin dikonversikan ke dalam energi listrik:

- Energi radiasi (sinar matahari).
- Energi panas bumi.
- Energi kimia (batubara, minyak bumi).
- Energi kinetik gelombang laut.
- Energi kinetik arus laut.
- Energi potensial air terjun.
- Energi nuklir.

Bentuk energi listrik memberikan beberapa keuntungan:

- Lebih mudah diatur/dikendalikan.
- Dapat ditransmisikan dengan kecepatan cahaya.
- Dapat dikonversikan ke bentuk energi lain dengan efisiensi tinggi.
- Bebas polusi, walaupun dalam konversi dari bentuk aslinya juga menimbulkan masalah polusi.
- Konversi ke bentuk lain biasanya mudah dan sederhana.

Kelemahan energi listrik terutama adalah bahwa proses penyediaannya memerlukan pendanaan cukup besar. Diketahui bahwa sistem tenaga listrik adalah besar baik dilihat dari ukurannya, investasinya, jumlah energi yang dikelola, besaran fisisnya (tegangan, arus) sampai kepada piranti-pirantinya. Oleh karena itu pembangunan sistem biasanya dilakukan tidak selalu dari nol melainkan mengembangkan sistem yang sudah ada. Kebutuhan energi listrik yang terus tumbuh memaksa sistem tenaga listrik selalu dimodifikasi dengan mengambil manfaat dari perkembangan teknologi yang terjadi.

Dalam tinjauan sistem tenaga listrik ini, banyak menoleh ke PLN. Energi listrik diperkenalkan pertama kali di Indonesia pada tahun 1897 (masih zaman penjajahan) dengan didirikannya perusahaan listrik pertama yang bernama *Nederlandsche Indische Electriciteit Maatschappij* (NIEM) di Batavia (sekarang Jakarta) dengan kantor pusat di Gambir. Dua belas tahun setelah itu di Surabaya didirikan *Algemeene Indische Electriciteit Maatschappij* (ANIEM) pada tahun 1909 oleh perusahaan gas NIGM. Frekuensi yang digunakan pada sistem tenaga yang dibangun adalah 50 Hz, standar Eropa. Yang menarik dalam kaitan perkembangan kelistrikan di Indonesia adalah bahwa pengenalan energi listrik di Indonesia tidaklah jauh dari perkembangan kelistrikan di Amerika. Misalnya dalam buku Charles A Gross bahwa pada tahun 1890-an perusahaan *Westinghouse* baru bereksperimen dengan apa yang disebut “*alternating current*”. Persaingan berkembang antara *General Electric* dan *Westinghouse* dalam menentukan apakah *DC* atau *AC* yang sebaiknya digunakan oleh industri. Pada akhirnya bentuk *AC* dapat diterima, antara lain oleh alasan-alasan berikut:

- Transformator (*AC*) memberikan kemungkinan untuk mengubah tegangan maupun arus secara mudah.
- Generator *AC* jauh lebih sederhana dibandingkan dengan generator *DC*.
- Motor-motor *AC* juga lebih sederhana dan lebih murah dari motor *DC*.

Pada sekitar 1900 masih diperdebatkan mengenai frekuensi yang harus digunakan dalam mencatu daya *AC*, apakah 25, 50, 60, 125, dan 133 Hz. Jika tidak distandarkan akan diperlukan biaya untuk peralatan konversi agar antar sistem dapat dihubungkan. Pada waktu itu pembangkit hidro cenderung menggunakan 25 Hz karena turbin air dapat dirancang untuk mencapai efisiensi yang lebih baik pada kecepatan yang sesuai dengan pembangkitan 25 Hz. Masalah yang timbul pada penggunaan frekuensi ini adalah terjadinya *flicker* pada lampu pijar. Pada akhirnya diterimalah frekuensi 60 Hz sebagai frekuensi standar karena pada frekuensi ini *flicker* tidak lagi terasa dan turbin uap berkinerja baik pada kecepatan perputaran yang berkaitan yaitu 3600 dan 1800 rpm. Sementara itu di Eropa ditetapkan frekuensi 50 Hz sebagai frekuensi standar.

Pemanfaatan energi listrik yang pertama kali adalah untuk keperluan penerangan. Lampu listrik terus dikembangkan untuk memperoleh lumen per watt semakin tinggi. Kebutuhan energi listrik kemudian berkembang, tidak hanya untuk memenuhi keperluan penerangan tetapi juga keperluan akan energi untuk mengoperasikan berbagai alat rumah tangga, alat kantor, pabrik-pabrik, gedung-gedung, sampai ke arena hiburan. Kebutuhan yang terus meningkat tersebut memerlukan penyaluran energi dengan tegangan yang lebih tinggi. Dibuatlah transformator penaik tegangan untuk mengirimkan energi dan

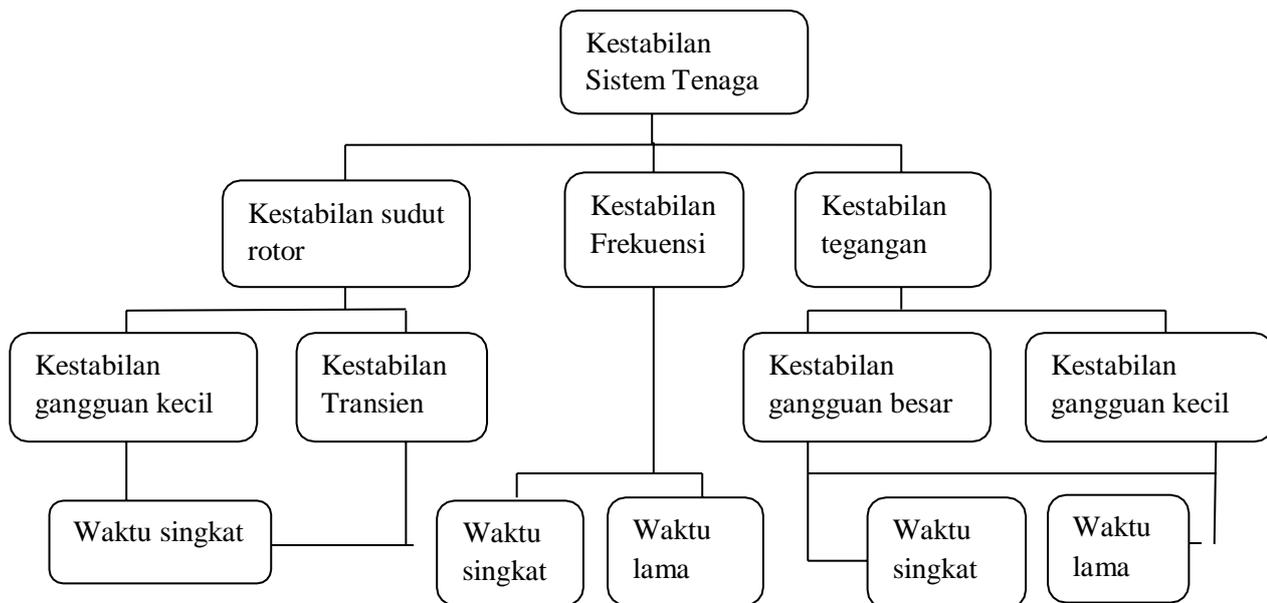
Dalam sistem interkoneksi, semua pembangkit perlu dikoordinir agar dicapai biaya pembangkitan yang minimum, tentunya dengan tetap memperhatikan mutu serta keandalan. Mutu dan keandalan penyediaan tenaga listrik menyangkut frekuensi, tegangan, dan gangguan. Demikian pula masalah penyaluran daya yang juga perlu diamati dalam sistem interkoneksi agar tidak ada peralatan penyaluran (transmisi) yang mengalami beban lebih [3].

II.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik dengan kondisi operasi awal tertentu, untuk mendapatkan kembali kondisi keseimbangan operasi setelah mengalami gangguan fisik. Sistem tenaga listrik beroperasi berdasarkan perubahan beban, keluaran generator, topologi, dan parameter operasi lain yang berubah secara kontinyu. Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua, yakni, gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban yang terjadi secara kontinyu dan sistem menyesuaikan dengan perubahan kondisi. Sistem harus dapat beroperasi dibawah setiap kondisi secara memuaskan dan sesuai dengan permintaan beban. Selain itu, sistem juga harus dapat bertahan terhadap beberapa gangguan besar dari dalam dan luar sistem, termasuk hubung singkat pada saluran transmisi atau lepasnya sebuah pembangkit besar [4].

Respon sistem tenaga listrik terhadap gangguan dapat mempengaruhi kondisi peralatan. Sebagai contoh, sebuah gangguan pada elemen yang kritis dapat menyebabkan variasi pada aliran daya, tegangan bus jaringan, dan kecepatan rotor mesin. Variasi tegangan akan mengaktifkan *exciter* pada generator, variasi beban akan mengaktifkan governor untuk menyesuaikan

kecepatan generator, serta variasi tegangan dan frekuensi akan mempengaruhi beban sistem menjadi bervariasi bergantung pada karakteristik masing-masing. Kestabilan tersebut kemudian dikelompokkan ke dalam tiga bagian yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 [4]:



Gambar 2. 2 Klasifikasi Kestabilan Sistem

Berdasarkan Gambar 2.2, kestabilan sistem tenaga listrik terbagi menjadi tiga kelompok [4]

a. Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor berhubungan dengan kemampuan suatu mesin yang terinterkoneksi dalam sebuah sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam keadaan sinkron setelah mengalami gangguan. Hal ini bergantung pada kemampuan untuk mempertahankan atau mengembalikan kesetimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik masing-masing mesin sinkron dalam sistem. Ketidakstabilan dapat menyebabkan terjadinya kenaikan sudut ayunan beberapa generator menuju kehilangan sinkronisasinya dengan generator lain.

Salah satu faktor utama penyebab ketidakstabilan sudut rotor adalah variasi daya keluaran dari masing-masing mesin sinkron dapat menyebabkan sudut rotor berubah. Dalam kondisi mantap, keseimbangan antara masukan torsi mekanik dengan keluaran torsi elektromagnetik dari masing-masing mesin sinkron ini terpenuhi sehingga kecepatannya tetap konstan. Namun, jika sistemnya terganggu, maka mesin akan kehilangan keseimbangannya sehingga akan terjadi percepatan ataupun perlambatan dari rotor mesin. Kestabilan sudut rotor dibagi menjadi dua kategori, yaitu kestabilan gangguan kecil (keadaan tunak) dan kestabilan pada keadaan transien.

b. Kestabilan Tegangan

Adapun kestabilan tegangan berhubungan dengan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan tunak pada seluruh bus dalam sistem yang berada dibawah kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan. Ketidakstabilan mungkin terjadi dalam bentuk kenaikan atau penurunan tegangan pada beberapa bus secara progresif. Akibat dari ketidakstabilan tegangan adalah lepasnya beban pada area dimana tegangan mencapai nilai rendah yang tidak dapat diterima. Faktor utama yang mempegaruhi ketidakstabilan tegangan adalah jatuh tegangan yang terjadi ketika aliran daya aktif dan daya reaktif melalui reaktansi induktif jaringan transmisi. Hal ini membatasi kemampuan jaringan transmisi untuk menyalurkan daya. Transfer daya akan semakin terbatas ketika beberapa generator mencapai batas kemampuan daya reaktifnya. Kestabilan tegangan sangat terancam ketika kebutuhan akan daya reaktif melebihi kapasitas daya reaktif yang tersedia dari sumber. Kestabilan tegangan juga terbagi menjadi dua kategori, yaitu stabilitas

tegangan gangguan besar dan stabilitas tegangan gangguan kecil. Rentang waktu untuk masalah stabilitas tegangan bervariasi dari beberapa detik hingga hitungan menit. Sehingga, stabilitas tegangan mungkin merupakan fenomena jangka panjang atau jangka pendek. Ketidakstabilan tegangan tidak selalu muncul dalam bentuk murni. Sering ketidakstabilan sudut rotor dan ketidakstabilan tegangan berjalan beriringan. Adanya salah satu ketidakstabilan tersebut dapat menyebabkan munculnya yang lain dan perbedaannya tidak jelas. Akan tetapi, perbedaan antara kestabilan sudut rotor dan kestabilan tegangan penting untuk dipahami. Terdapat beberapa kasus dimana salah satu bentuk ketidakstabilan tersebut dominan. IEEE mendapatkan dua situasi ekstrim, yaitu :

1. Sebuah generator sinkron yang lokasinya jauh dihubungkan dengan saluran transmisi menuju suatu sistem yang besar (kestabilan sudut rotor murni, masalah sebuah mesin dengan bus yang tak terbatas).
2. Sebuah generator sinkron atau sistem besar dihubungkan oleh saluran transmisi menuju beban asinkron (kestabilan tegangan murni).

Kestabilan tegangan berkaitan dengan daerah beban dan karakteristik beban. Kestabilan sudut rotor berkaitan dengan pembangkit listrik kecil yang terintegrasi dengan sebuah sistem besar melalui saluran transmisi yang panjang. Singkatnya, secara mendasar kestabilan tegangan merupakan kestabilan beban, sedangkan kestabilan sudut rotor merupakan kestabilan generator. Sehingga apabila terjadi runtuh tegangan (*voltage collapse*) pada sebuah sistem transmisi yang jauh dari beban, hal itu merupakan ketidakstabilan sudut rotor. Jika runtuh tegangan terjadi pada daerah beban, hal tersebut sebagian besar disebabkan oleh masalah ketidakstabilan tegangan [5].

c. Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi terkait dengan kemampuan sebuah sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi tunak dengan kisaran nominal mengikuti beberapa gangguan sistem yang menghasilkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban. Hal ini bergantung pada kemampuan sistem untuk mengembalikan keseimbangan antara beban dengan pembangkitan dimana pelepasan atau kehilangan beban diminimalisir. Umumnya, masalah kestabilan frekuensi berhubungan dengan tidak memadainya respon peralatan, koordinasi yang buruk pada peralatan proteksi dan kendali, atau ketersediaan pembangkitan yang kurang. [4]

II.4 Voltage Swell dan Over Voltage

Voltage Swell adalah kenaikan tegangan AC untuk durasi 0,5 siklus dalam waktu 1 menit. Pada *voltage swell*, impedansi tinggi koneksi netral, lepasnya beban secara tiba – tiba (seperti beban skala besar), dan kesalahan fase tunggal pada sistem tiga fasa merupakan sumber umum penyebab terjadinya *voltage swell*.

Hasilnya bisa berupa kesalahan data, lampu yang kedap - kedip, degradasi kontak listrik, kerusakan semikonduktor dalam barang elektronik, dan degradasi isolasi. Pemeliharaan saluran daya, sistem UPS, dan kontrol *ferroresonant* pada transformer merupakan solusi umum untuk mengatasi *voltage swell*.

Voltage swell tidak akan nampak sampai hasilnya terlihat. Pemasangan UPS dan/atau perangkat pemeliharaan listrik yang juga memantau dan mencatat

jumlah daya yang masuk, dapat membantu untuk mengukur kapan, dan seberapa sering peristiwa ini terjadi.

Tegangan lebih dapat menjadi hasil dari masalah jangka panjang dari *voltage swell*. Sebuah tegangan lebih dapat dianggap sebagai kenaikan tegangan dalam jangka panjang. Tegangan lebih juga umum di daerah di mana pengaturan pasokan tap trafo ditetapkan secara tidak benar dan beban telah berkurang. Hal ini biasa terjadi di daerah-daerah musiman di mana masyarakat mengurangi penggunaan daya selama akhir musim dan output yang ditetapkan untuk penggunaan bagian yang tinggi selama musim berlangsung tetap dipasok meskipun kebutuhan daya listrik jauh lebih kecil. Kondisi tegangan lebih dapat menghasilkan arus yang tinggi dan menyebabkan pelepasan yang tiba – tiba pada *circuit breaker*, serta *overheating* dan memberikan tekanan pada peralatan.

Karena *overvoltage* merupakan *voltage swell* yang konstan, UPS yang sama atau pemeliharaan peralatan yang bekerja untuk *voltage swell* dapat bekerja untuk tegangan lebih. Namun, jika kekuatan daya yang masuk terus-menerus dalam kondisi tegangan lebih, maka utilitas daya yang masuk ke peralatan listrik mungkin perlu diperbaiki. Gejala yang sama untuk *voltage swell* juga berlaku untuk tegangan lebih. Sejak tegangan lebih menjadi lebih konstan, panas berlebih bisa menjadi akibat dari sebuah tegangan lebih. Peralatan (dibawah kondisi lingkungan dan penggunaan yang normal), yang biasanya menghasilkan sejumlah panas, secara tiba-tiba dapat meningkatkan output panas karena tekanan yang disebabkan oleh tegangan lebih [6].

II.5 Beban Listrik dan Klasifikasi Beban

Secara umum beban yang dilayani oleh sistem distribusi elektrik ini dibagi dalam beberapa sektor yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang cukup besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut dominan pada malam hari. Sedang pada sektor industri fluktuasi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak terhadap beban rata-rata hampir mendekati satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada malam hari.

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam :

1. Beban rumah tangga, pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.
2. Beban komersial, pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat – alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai

beban komersial (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik di siang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan dan menurun di waktu sore.

3. Beban industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan industri besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam.
4. Beban Fasilitas Umum berupa lampu jalan, lampu lalu lintas, serta papan reklame.

Pengklasifikasian ini sangat penting artinya bila kita melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari.

Pemakaian daya pada industri akan lebih merata, karena banyak industri yang bekerja siang-malam. Maka dilihat dari sini, jelas pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata. Sedangkan pada beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari.

Beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, pelanggan bisnis mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding dengan pelanggan rumah tangga [7].

II.6 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang tidak bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb.

Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini. Ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. 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 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 [8].

Tenaga angin adalah 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 menaik, dan udara yang lebih sejuk tertarik untuk menggantikannya. Inilah yang menyebabkan terjadinya angin. Jadi 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 angin, yang menyebabkan berputar cepat. Turbin angin menggunakan gerakan rotasi untuk membangkitkan listrik atau menjalankan peralatan mesin seperti pompa [8].

Angin memiliki profil geseran (*wind shear profile*) atau profil kecepatan ketika melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Kecepatan angin di permukaan bumi relatif sama dengan nol. Kemudian kecepatan ini menjadi semakin tinggi sebanding dengan ketinggian dari permukaan bumi. Ada dua jenis profil geseran angin yang biasa digunakan untuk menghitung energi, pertama, profil geseran angin eksponensial (*exponential wind shear profile*) dan profil kecepatan angin berdasarkan kekasaran permukaan. Profil geseran fluida eksponensial yang dijabarkan pada persamaan (2.1).

$$v = v_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^a \quad (2.1)$$

Dimana, v : kecepatan angin pada ketinggian

h : ketinggian dari permukaan tanah hub turbin angin (m)

v_{ref} : kecepatan angin saat pengukuran dilakukan (m/s) h

h_{ref} : ketinggian referensi

Data angin bisa didekati dengan suatu fungsi kontinyu berupa distribusi *weibull* untuk mendapatkan prediksi yang akurat mengenai keluaran turbin angin dan juga untuk mengetahui karakteristik pola angin [9].

II.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Angin dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber pembangkit tenaga listrik. Mengingat Indonesia merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin menjadi salah satu solusi yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi. Salah satu keuntungan menggunakan tenaga angin adalah sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya melimpah. Pembangkit listrik tenaga bayu adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi berupa angin agar dapat menghasilkan listrik. Pembangkit ini memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area turbin untuk memutar baling-baling atau kincir angin, kemudian putaran tersebut menuju ke generator sehingga energi listrik dapat dihasilkan.

Kualitas daya listrik merupakan masalah yang ditemui dalam pembangkit listrik tenaga angin. Masalah tersebut dapat berupa penyimpangan tegangan, arus maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan konsumen energi listrik. Salah satu elemen yang penting dalam sistem pembangkitan listrik yaitu generator.

Generator induksi dengan prinsip *squirrel cage* digunakan pada beberapa sistem konversi tenaga angin. Generator ini membuktikan efisiensi yang berkualitas meliputi kekuatan, biaya rendah dan mudah dipakai saat dihubungkan secara langsung pada suatu jaringan. Namun demikian pembangkit turbin angin dirancang agar kecepatan generator konstan mendekati kecepatan sinkron sehingga akan mengurangi kemungkinan bertambahnya energi listrik yang dihasilkan oleh kecepatan angin [10].

II.7.1 Turbin Angin

Turbin angin atau yang sering dikenal kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin. Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air, dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun, seperti Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *windmill*. Secara umum tempat-tempat yang baik untuk pemasangan turbin angin antara lain :

1. Celah diantara gunung karena secara tidak langsung celah gunung dapat berfungsi sebagai *nozzle* yang dapat mempercepat aliran angin,
2. Datar terbuka yang tidak terdapat objek-objek penghalang aliran angin, seperti daerah pantai, savana, gunung, dan lain sejenisnya, dan
3. Daerah pesisir pantai, hal ini disebabkan akibat perbedaan *temperature* di laut dan daratan menyebabkan angin bertiup secara *continue* [11].

II.7.2 Jenis Turbin Angin

- Turbin Angin Sumbu Horisontal

Prakondisi

- Mulai operasikan pada saat kecepatan angin mencapai 3-5m/detik
- Memerlukan pemilihan lokasi yang tepat

Keuntungan

- Memberikan kinerja yang lebih baik pada produksi energi dibandingkan dengan turbin angin dengan sumbu vertikal

- Turbin angin berkapasitas 3kW menghasilkan listrik 5.000-7.000 kWh per tahun (kecepatan angin 5.4m/detik)

Kekurangan

- Memerlukan kecepatan angin yang lebih tinggi untuk bisa memproduksi listrik
- Memerlukan menara yang tinggi untuk menangkap kecepatan angin yang cukup
- Tambahan sistem ekor (yaw) adalah bagian dari turbin horizontal, lebih kompleks

- Turbin Angin Sumbu Vertikal

Prakondisi

- Mulai beroperasi pada saat kecepatan angin mencapai 1.5-3/detik

Keuntungan

- Bisa ditempatkan di lokasi di mana turbin angin bersumbu horizontal akan sesuai
- Tidak perlu diarahkan ke arah angin
- Mulai dioperasikan pada angin berkecepatan rendah
- Pemeliharaan lebih mudah
- Dikenal tidak bising

Kekurangan

- Kinerja lebih buruk dalam memproduksi energi dibandingkan dengan turbin angin bersumbu
- Tidak bisa hidup sendiri, terkadang turbin angin bersumbu vertikal memerlukan motor listrik kecil untuk menghidupkannya

- Kegagalan baling-baling karena aus [8].

II.8 Load Shedding (pelepasan beban)

Untuk menjaga kontinuitas daya listrik dari pembangkit yang mengalami penurunan daya listrik secara tiba-tiba, maka sebagian beban sistem harus dilepaskan. Setelah sebagian beban dilepas, beban-beban yang ditanggung pembangkit-pembangkit yang masih bekerja akan berkurang dan frekuensi akan dapat kembali ke keadaan normal, segera setelah terjadi keseimbangan antara pembangkit yang masih beroperasi dengan beban dilayani, pembangkit-pembangkit yang masih bekerja pun dapat terhindar dari kerusakan.

Definisi *Critical Rating*

Definisi dari *critical rating* pada suatu perusahaan adalah sebagai berikut;

Critical rating adalah ukuran untuk dapat mengetahui perbedaan relatif pentingnya peranan suatu peralatan terhadap peralatan lain didalam suatu proses produksi (perusahaan), *Critical rating* tersebut menyatakan tingkat besarnya konsekuensi yang akan diterima terhadap kriteria yang disetujui apabila peralatan tersebut mengalami kerusakan.

Pembagian jenis beban (*Critical Rating*)

Penggolongan dari peralatan berdasarkan tingkat kekritisian (*criticality order*) dapat dilakukan sebagai berikut ;

- *Vital*

Adalah peralatan yang dipergunakan untuk proses utama, vital terhadap operasi komersial dan keselamatan petugas. Bila peralatan tersebut rusak akan menyebabkan proses *shutdown*, mempunyai biaya penggantian suku cadang yang mahal, *plant* dan keselamatan petugas tidak terjamin. Peralatan ini memerlukan frekuensi monitoring yang tinggi secara periodik.

- *Essential*

Adalah peralatan yang dipergunakan dalam proses operasi atau *essential* terhadap komersial. Bila peralatan tersebut rusak akan menyebabkan pengurangan produksi dan mempunyai biaya penggantian suku cadang yang mahal. Peralatan ini memerlukan frekuensi monitoring yang tinggi secara periodik.

- *Support*

Adalah peralatan yang digunakan dalam proses dan memerlukan periodik monitoring secara rutin. Bila peralatan tersebut rusak, tidak akan berpengaruh terhadap *commercial operation* dan *safety*.

- *Operational*

Adalah semua peralatan yang tidak termasuk kategori 1, 2 dan 3, dan tidak memerlukan periodik monitoring secara rutin. Bila peralatan

tersebut rusak, tidak berpengaruh terhadap keselamatan dan operasi komersial.

Perencanaan *load shedding*

Pelepasan beban didalam suatu sistem adalah menentukan jumlah tingkat pelepasan beban, beban yang dilepas per tingkat frekuensi. Kriteria yang diinginkan dari setiap program yang direncanakan meliputi :

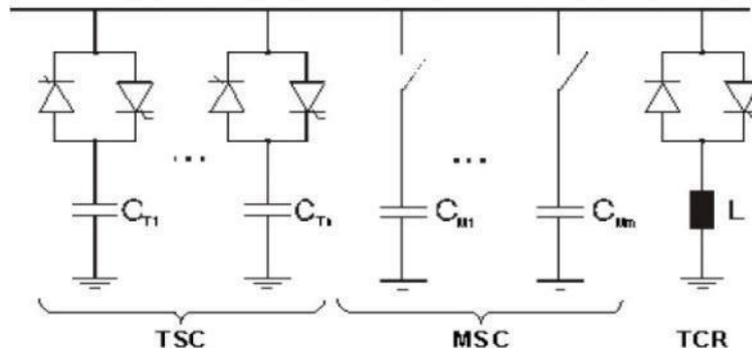
- a. Program harus dapat menahan frekuensi sistem tidak melewati suatu batas minimum tertentu, bila terjadi kehilangan daya pembangkit, artinya jumlah beban yang dilepas harus cukup.
- b. Program harus sedemikian rupa, sehingga tidak ada suatu kondisi bila terjadi kehilangan daya pembangkit tertentu, hanya diikuti pelepasan beban yang terlalu kecil, sehingga memungkinkan frekuensi sistem terlalu lama berada didaerah berbahaya.
- c. Pelepasan beban sebaiknya hanya dilakukan pada saat dibutuhkan, yaitu pada saat laju penurunan frekuensi mencapai nilai setting [12].

II.9 Static Var System

a. Deskripsi Umum

Sistem kompensator var statis (*SVS*) adalah kombinasi dari bank kapasitor shunt dan reaktor shunt yang dikendalikan thyristor. Kapasitor di bank kapasitor dapat diaktifkan dan dinonaktifkan satu per satu. Kapasitor dapat dialihkan dengan thyristor (*TSC*) atau dapat dihubungkan

secara permanen (secara mekanis) (*MSC*). Model dari *SVS* dapat dilihat pada Gambar 2.3 [13].

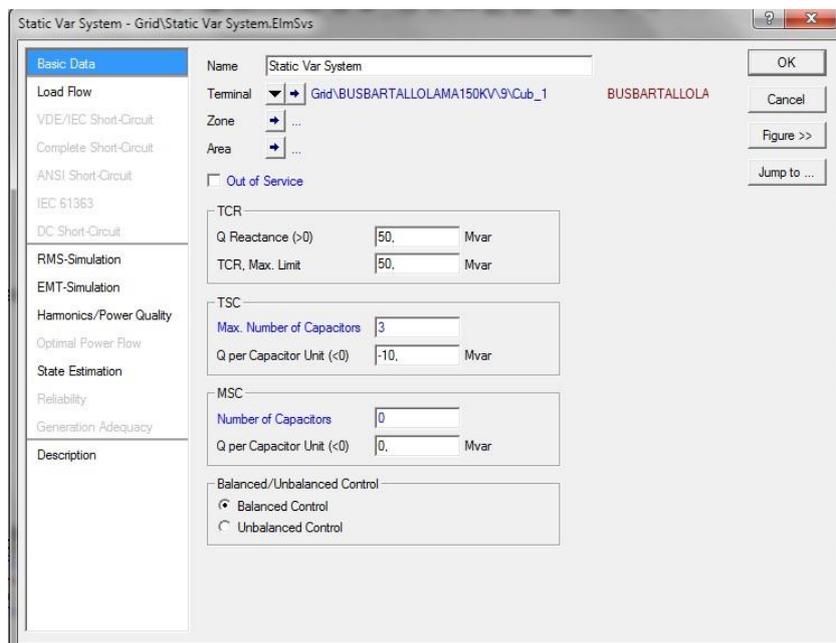


Gambar 2.3 Model *Static Var System*

SVS penting untuk mengontrol tegangan pada busbar yang terhubung langsung atau pada busbar jarak jauh. Kapasitor dapat diaktifkan dan dinonaktifkan, tergantung pada situasi beban, sebagai respons terhadap perubahan permintaan daya reaktif. Reaktor yang dikendalikan thyristor menyempurnakan daya reaktif yang diberikan oleh *SVS*. Sebuah *SVS* dapat menghasilkan sebagian atau seluruh permintaan daya reaktif dari beban terdekat. Hal itu mengurangi arus saluran yang diperlukan untuk memasok beban. Penginputannya mengurangi penurunan tegangan pada saluran karena faktor daya ditingkatkan. Karena *SVS* menurunkan persyaratan reaktif dari generator, output daya yang lebih nyata akan tersedia. Bank kapasitor dan reaktor terhubung dalam konfigurasi delta. Lokasi optimal untuk pemasangan *SVS* adalah dengan memilih bus yang memiliki amplitudo tegangan yang rendah dan memasang *SVS* pada salah satunya, lalu lakukan simulasi analisis aliran daya [14].

b. Data Dasar

Elemen SVS tidak memerlukan tipe. Pada halaman data dasar dapat dimasukkan data untuk reaktor kendali thyristor (*TCR*), kapasitor sakelar thyristor (*TSC*) dan kapasitor sakelar mekanis (*MSC*). Selanjutnya dimungkinkan untuk menentukan jenis kontrol (seimbang/tidak seimbang). Data dasar dari SVS dapat dilihat pada Gambar 2.4.



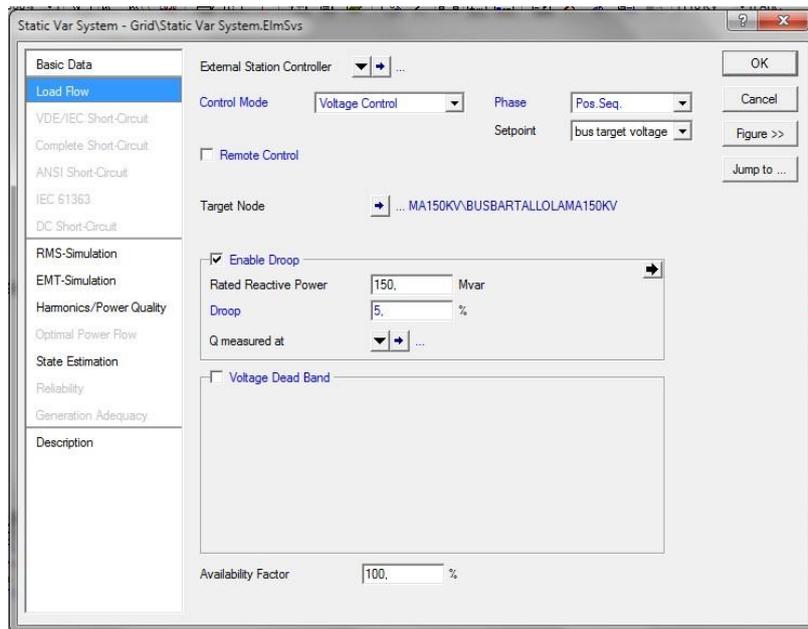
Gambar 2. 4 Data dasar dari *Static Var System*

c. Kontrol Tegangan

SVS dapat diatur untuk mengontrol tegangan lokal pada terminalnya atau tegangan pada busbar jarak jauh ke *setpoint* tertentu.

Ketika diatur menjadi kontrol tegangan, kontrol droop dapat diaktifkan. Tegangan pada busbar lokal atau remote kemudian dikendalikan. Dengan kontrol droop, *setpoint* tidak tercapai dalam hal apa pun karena *setpoint* dipindahkan akibat lebih banyak daya reaktif

diperlukan untuk mencapai setpoint tegangan asli SVS. Keuntungan dari kontrol droop adalah bahwa lebih dari satu SVS pada satu busbar dapat mengontrol tegangan. Adapun partisipasi SVS dapat dikonfigurasi dengan pengaturan nilai droop. Konfigurasi pengaturan tagangan pada SVS dapat dilihat pada Gambar 2.5 [15].



Gambar 2. 5 Konfigurasi kontrol tegangan SVS