

SKRIPSI
ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PT. SEMEN TONASA

Disusun dan diajukan oleh :

HAYKAL DILFANSYAH

D041181031



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PT. SEMEN TONASA

Disusun dan diajukan oleh:

HAYKAL DILFANSYAH

D041 18 1031

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 29 September 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T.
NIP. 19601106 198601 2 001



Prof. Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.
NIP. 19731118 199803 2 001

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. IPM
NIP. 19691026 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Haykal Dulfansyah
NIM : D041181031
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PT. SEMEN TONASA

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

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 mempertanggungjawabkan segala resiko.

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

Gowa, 29 September 2023

Yang Menyatakan



Haykal Dulfansyah



ABSTRAK

HAYKAL DILFANSYAH. *Analisis Kestabilan Tegangan PT. Semen Tonasa* (dibimbing oleh Sri Mawar Said dan Indar Chaerah)

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan baik dan stabil ketika sistem tenaga listrik mampu menyalurkan daya atau energi secara terus menerus, memiliki besaran atau parameter yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Kestabilan merupakan kemampuan suatu sistem untuk bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Kestabilan tegangan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kinerja sistem tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik diharapkan mampu menjaga kestabilan tegangannya untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik dengan kualitas tegangan yang baik. Studi kasus dilakukan di PT. Semen Tonasa dengan melakukan penelitian yang berfokus pada kestabilan tegangan dengan menggunakan perangkat lunak *ETAP Power Station 19.0.1*, perangkat lunak yang mampu menampilkan antarmuka pengguna grafis secara spesifik dan jelas. Studi dilakukan dengan mengamati parameter tegangan ketika dilakukan *starting* dan pelepasan beban motor dengan kapasitas besar secara bersamaan. Regulasi tegangan atau kondisi operasi normal tegangan oleh PLN adalah +5% dan -10% dari tegangan nominal. Studi ini bertujuan untuk mengamati tegangan setiap bus di beberapa sektor untuk beberapa skenario yang dibuat. Dari simulasi beberapa skenario yang dilakukan baik itu *starting* dan pelepasan beban motor, profil tegangan bus yang diamati masih berada dalam batas operasi normal.

Kata Kunci: Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Kestabilan Tegangan, *Starting*, Pelepasan Beban, Profil Tegangan



ABSTRACT

HAYKAL DILFANSYAH. Voltage Stability Analysis of PT. Semen Tonasa (guided by Sri Mawar Said and Indar Chaerah)

An electric power system is said to be good and stable when the electric power system is able to distribute power or energy continuously, has a magnitude or parameter in accordance with established standards. Stability is the ability of a system to work normally after experiencing a disruption. Voltage stability is one of the factors that affect the performance of the electric power system. An electric power system is expected to be able to maintain voltage stability to maintain the continuity of electric power distribution with good voltage quality. The case study was conducted at PT. Semen Tonasa by conducting research focusing on voltage stability using ETAP Power Station 19.0.1 software, software that is able to display a specific and clear graphical user interface. The study was conducted by observing the voltage parameters when starting and load shedding of motors with large capacities simultaneously. Voltage regulation or normal operating conditions of voltage by PLN are +5% and -10% of nominal voltage. The study aimed to observe the voltage of each bus across multiple sectors for several scenarios created. From the simulation of several scenarios carried out both starting and load shedding, the observed bus voltage profile is still within normal operating limits.

Keywords: Electric Power System Stability, Voltage Stability, Starting, Load Shedding, Voltage Profile



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sistem Tenaga Listrik	5
2.2. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	6
2.3. Kestabilan Tegangan.....	7
2.4. Voltage Sag	11
2.4.1. Sumber Voltage Sag	11
2.4.2. Memperkirakan Kinerja Voltage Sag.....	11
2.5. Analisis Stabilitas Tegangan.....	12
2.5.1. Analisis Statis.....	12
2.5.2. Kurva P-V	13
2.5.3. Kurva Q-V	13
2.6. Electric Transient and Analysis Program (ETAP) 19.0.1	14
2.7. Upaya Mengatasi Kestabilan Tegangan	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
Jenis Penelitian	17
Tempat/Lokasi Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19



4.1	Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa	19
4.2	Data Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa IV	22
	Gambar 2 Gambar Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa IV	22
4.2.1.	Substation I (SG-1)	23
4.2.2.	Substation II (SG-4)	24
4.2.3.	Substation III (SG-5)	25
4.2.4.	Data Transformator di Pabrik Tonasa IV	25
4.3	Data Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa V	27
4.3.1.	Electrical room 582 ER 52	28
4.3.2.	Electrical room 582 ER 53	28
4.3.3.	Electrical room 582 ER 54	28
4.3.4.	Electrical room 582 ER 55	29
4.3.5.	Electrical room 582 ER 56	29
4.3.6.	Electrical room 582 ER 57	30
4.3.7.	Electrical room 582 ER 58	30
4.3.8.	Electrical room 582 ER 59	31
4.3.9.	Data Transformator Tonasa V	31
4.4	Pemodelan Simulasi Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa	34
4.4.1	Hasil Simulasi	35
4.4.2	Analisis Aliran Daya PT. Semen Tonasa Pabrik IV dan Pabrik V	35
4.4.3	Analisis Starting motor	36
4.4.4	Analisis Pelepasan Beban Motor	40
4.5	Stabilitas Tegangan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		48



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Generator PLTU 25 MW	20
Tabel 2 Data Generator PLTU 35 MW	21
Tabel 3 Data Beban SG-1	23
Tabel 4 Data Beban SG-4	24
Tabel 5 Data Beban SG-5	25
Tabel 6 Data Trafo 2 belitan di Pabrik Tonasa IV	25
Tabel 7 Data beban electrical room 582 ER 51	28
Tabel 8 Data beban electrical room 582 ER 52	28
Tabel 9 Data beban electrical room 582 ER 53	28
Tabel 10 Data beban electrical room 582 ER 54	29
Tabel 11 Data beban electrical room 582 ER 55	29
Tabel 12 Data beban electrical room 582 ER 56	30
Tabel 13 Data beban electrical room 582 ER 57	30
Tabel 14 Data beban electrical room 582 ER 58	30
Tabel 15 Data beban electrical room 582 ER 59	31
Tabel 16 Data Transformator 2 belitan di Pabrik Tonasa V	31
Tabel 17 Data Transformator 3 belitan di Pabrik Tonasa V	33
Tabel 18 Data Stabilitas Tegangan Tonasa Unit IV dan V	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kurva PV	13
Gambar 2 Diagram alir penelitian	18
Gambar 3 Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa	22
Gambar 4 Single Line Diagram PT. Semen Tonasa	34
Gambar 5 Tegangan bus sektor Pabrik Tonasa IV kondisi beban penuh	35
Gambar 6 Tegangan bus sektor Pabrik Tonasa V kondisi beban penuh	36
Gambar 7 Hasil Simulasi starting motor Fan Rawmill2 dan Main Drive Raw Mill 2 terhadap bus di sektor Tonasa IV	37
Gambar 8 Hasil simulasi starting Main Drive Cement Mill 2A dan Main Drive Cement Mill 2B terhadap bus di sektor Tonasa IV	38
Gambar 9 Hasil simulasi starting M532FN11 dan M532MD01 terhadap bus di sektor Tonasa V	39
Gambar 10 Hasil simulasi starting M553MD01 terhadap bus di sektor Tonasa V	40
Gambar 11 Hasil simulasi pelepasan beban motor Fan Rawmill 2 dan Main Drive Raw Mill 2 terhadap bus di sektor Tonasa IV	41
Gambar 12 Hasil simulasi pelepasan beban Main Drive Cement Mill 2A dan Main Drive Cement Mill 2B terhadap bus di sektor Tonasa IV	42
Gambar 13 Hasil simulasi pelepasan beban motor M532FN11 dan M532MD01 terhadap bus di sektor Tonasa V.	43
Gambar 14 Hasil simulasi pelepasan beban motor M553MD01 terhadap bus di sektor Tonasa V	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar rangkaian simulasi PT. Semen Tonasa Pabrik Unit IV dan V 49



KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian akhir ini yang berjudul “ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN PT. SEMEN TONASA” dapat terselesaikan. Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan hasil penelitian akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis skripsi ini dapat terselesaikan karena adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dengan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda, ibunda dan kakak atas segala doa, kasih sayang, motivasi serta dukungan moril, dan material yang telah diberikan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Mawar Said, MT. Selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Prof.Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan dalam mengerjakan skripsi ini.
3. Bapak Yusri Syam Akil, S.T.,M.T.,Ph.D Selaku Dosen penguji I dan Dr. Ir.Hasniaty A, ST.,M.T. Selaku Dosen penguji II.
4. Seluruh dosen dan staf pegawai Departemen Teknik Elektro yang telah banyak membantu dan memberi kemudahan selama menempuh proses perkuliahan.
5. Terima kasih ,Pak Ifnul Pak Rusdianto, Pak Syahrir, dan Seluruh staf pegawai PT Semen Tonasa
6. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kepada Rio dan Kiky yang telah menemani dan membantu serta berdiskusi dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini.

semua teman-teman seperjuangan CAL18RATOR. Kuatkan diri kalian dan jangan pernah ragu. Karena tidak ada satu pun orang yang hentikan langkah kalian untuk MERAH MIMPI.



9. Kepada teman-teman Lab Riset Grup Mesin-Mesin Listrik yang selalu menemani di lab saat proses penyusunan tugas akhir ini.
10. Kepada teman-teman di Komunitas Koin Untuk Negeri, Kejar Mimpi, dan GAPAKEREM ADVENTURE yang banyak memberi pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu demi satu yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun berupa dorongan moril kepada peneliti sehingga selesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak dapat menjadi masukan untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan hasil pemikiran penulis. Sehingga dapat mendatangkan manfaat bagi penulis maupun pembacanya.

Gowa, 29 September 2023

Haykal Dulfansyah



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan hal yang penting bagi kehidupan saat ini. Bahkan dengan listrik manusia dapat mencapai era globalisasi seperti sekarang. Pentingnya listrik bagi semua masyarakat didasarkan pada penggunaan energi setiap hari. Namun demikian kebutuhan listrik juga mutlak diperlukan oleh dunia industri, hal ini untuk menunjang kinerja dari sistem produksi yang ada. Berbagai masalah yang terjadi pada industri yang berkaitan dengan keseimbangan haruslah dicegah agar sistem kelistrikan menjadi tetap dalam keadaan normal.

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan baik dan stabil ketika sistem tenaga listrik mampu menyalurkan daya atau energi secara terus menerus, memiliki besaran atau parameter yang sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi, serta memiliki kemampuan mempertahankan kestabilan sistem itu sendiri. Kestabilan merupakan kemampuan suatu sistem untuk bekerja secara normal setelah mengalami gangguan. Hal ini berarti bahwa suatu sistem tenaga listrik harus bekerja secara normal secara terus menerus dengan tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Kestabilan tegangan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kinerja sistem tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik diharapkan mampu menjaga kestabilan tegangannya untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik dengan kualitas tegangan yang baik dan meminimalisi bahkan mencegah terjadinya blackout akibat jatuh tegangan atau tegangan lebih. Kestabilan sistem dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya fluktuasi beban, gangguan yang terjadi pada sistem seperti hubung singkat, lepasnya suatu pembangkit, dan permintaan daya reaktif.

Dalam penelitian ini, studi kasus dilakukan di PT. Semen Tonasa yang merupakan salah satu industri penghasil semen terbesar di kawasan Indonesia. Sebagian besar beban pada perusahaan ini merupakan motor listrik yang memiliki umsi daya listrik dengan kapasitas besar.



Motor listrik dengan kapasitas besar memerlukan jeda waktu cukup lama untuk menyesuaikan tegangan dikarenakan lonjakan arus yang cukup besar, hal ini ternyata menyebabkan ketidakstabilan sistem. Akibat adanya perubahan kondisi kerja dari sistem ini, maka keadaan sistem akan berubah dari keadaan lama ke keadaan baru. Oleh karena itu diperlukan suatu analisis sistem tenaga listrik untuk menentukan apakah sistem tersebut stabil atau tidak, jika terjadi skenario tersebut.

Untuk mendapatkan gambaran kestabilan tegangan dalam suatu sistem tenaga listrik perlu dilakukan analisis kestabilan dalam keadaan normal dengan melakukan simulasi aliran daya dan melakukan analisis dengan beberapa skenario untuk menganalisis keadaan dinamis. Hasil simulasi pada sistem yang diuji disajikan untuk menggambarkan masalah stabilitas tegangan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana aliran daya sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa?
2. Bagaimana kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik PT. Semen Tonasa ketika dilakukan starting motor dengan kapasitas besar secara bersamaan?
3. Bagaimana kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik PT. Semen Tonasa ketika dilakukan pelepasan motor dengan kapasitas besar secara bersamaan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis aliran daya PT. Semen Tonasa.
2. Menganalisis kestabilan tegangan sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa saat starting motor kapasitas besar secara bersamaan.

Menganalisis kestabilan tegangan sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa saat dilakukan pelepasan motor kapasitas besar secara bersamaan.



1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi bahan masukan terhadap sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa.
2. Dapat menjadi dasar penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini.
3. Dapat mengetahui respon tegangan terhadap penggunaan motor listrik kapasitas besar.

1.5 Batasan Masalah

1. Analisis aliran daya PT. Semen Tonasa dilakukan dengan menggunakan Software Digsilent.
2. Analisis yang dilakukan dengan simulasi starting motor dan motor berhenti beroperasi.
3. Analisis hanya berfokus pada analisis kestabilan tegangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi gambaran awal dari tugas akhir ini, berupa latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori yang mendasari proses pengambilan dan pengolahan . penarikan kesimpulan akhir dari penelitian.



METODE PENELITIAN

Bab ini berisi metode pelaksanaan penelitian, lokasi penelitian, waktu penelitian, dan proses pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data yang telah diperoleh dan dianalisis sesuai dengan kebutuhan penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara garis besar sistem tenaga listrik merupakan gabungan komponen komponen tenaga listrik yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi yang saling terhubung untuk melayani kebutuhan beban. Tujuan dari sistem tenaga listrik ini adalah mengupayakan penyediaan dan pengiriman daya listrik yang serendah mungkin dan tetap memperhatikan mutu serta keandalan yang ditinjau dari tegangan, frekuensi, dan jumlah gangguan yang terjadi. Berikut merupakan fungsi dari komponen-komponen sistem tenaga listrik:

1. Pembangkitan

Pembangkitan atau pembangkit listrik merupakan komponen yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan mengubah energi yang berasal dari sumber lain seperti air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, dan lain-lain menjadi energi listrik. Pada pembangkit listrik, sumber-sumber energi alam menjadi penggerak utama yang menghasilkan energi mekanis berupa kecepatan atau putaran yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Pada umumnya tegangan yang dibangkitkan oleh pembangkit berkisar antara 11 kV sampai dengan 24 kV.

2. Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban. Pada proses pentransmisi energi listrik dikirimkan dengan tegangan tinggi yang berkisar antara 70 hingga 750 kV. Pemilihan jenis saluran transmisi sangat ditentukan oleh jumlah energi yang akan disalurkan dan jarak saluran transmisinya.

3. Saluran Distribusi

Saluran distribusi atau saluran distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen. Tegangan pada saluran ini berkisar antara 220 V pada saluran tegangan rendah dan 20 kV saluran tegangan menengah.



4. Beban

Beban merupakan objek utama dari sistem tenaga listrik. Beban ini adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik untuk proses kerjanya.

1.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi operasi awal atau mengembalikan kesetimbangan kondisi operasinya setelah terjadinya gangguan. Agar kestabilan sistem tetap terjaga, integritas sistem tetap dipertahankan agar sistem tenaga listrik tetap utuh tanpa adanya pemutusan pembangkit atau beban. Kecuali jika gangguan yang terjadi menyebabkan diharuskannya suatu pemutusan, maka pemutusan dapat dilakukan untuk mengisolasi sistem dari elemen-elemen yang terkena gangguan atau pemutusan dilakukan untuk menjaga dan mempertahankan keberlangsungan operasi sistem.

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang bekerja secara dinamis. Hal ini dikarenakan perubahan beban, keluaran generator, dan parameter operasi lainnya yang berubah-ubah serta gangguan yang terjadi pada sistem. Namun demikian, sistem tenaga listrik dituntut agar tetap mempertahankan kesetimbangan operasi sistem walaupun pada kondisi yang dinamis. Hal ini karena kestabilan sistem operasi sistem tenaga listrik mensyaratkan kontinuitas kesetimbangan antara energi listrik yang dibangkitkan dengan beban pada sistem. Beban secara terus menerus berubah-ubah seperti penerangan, peralatan rumah tangga, dan motor-motor listrik yang terhubung dan terputus. Setiap kenaikan atau penurunan beban harus diimbangi dengan perubahan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator pada sistem agar sistem tetap dalam keadaan stabil. Jika reaksi generator terhadap perubahan beban tidak responsif maka akan menyebabkan keseimbangan daya dalam sistem terganggu sehingga berpengaruh terhadap efisiensi pengoperasian dan menyebabkan kinerja sistem memburuk.



Reaksi pembangkit terhadap perubahan yang terjadi dalam sistem merupakan faktor penentu kestabilan sistem. Secara umum permasalahan kestabilan sistem tenaga listrik berkaitan dengan kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan, dan kestabilan frekuensi.

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan mesin sinkron yang bekerja paralel atau terinterkoneksi dalam sebuah sistem tenaga listrik untuk tetap mempertahankan sinkronisasinya atau keadaan sinkronnya pasca terjadinya gangguan. Ketidakstabilan dapat menyebabkan terjadinya kehilangan sinkronisasi yang berakibat pada ketidakmampuan sistem untuk melayani kebutuhan beban.. Kehilangan sinkronisasi dapat terjadi antara satu mesin dengan sistem atau satu mesin dengan mesin yang lain.

Kestabilan tegangan merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan tunak pada semua bus dalam sistem yang beroperasi di bawah kondisi operasi normal pasca terjadinya gangguan. Ketidakstabilan tegangan memungkinkan dua keadaan yakni kenaikan tegangan atau penurunan tegangan pada beberapa bus secara progresif. Akibat dari hal tersebut adalah lepasnya beban pada area dimana tegangan mencapai nilai terendah yang tidak dapat ditoleransi.

Sedangkan kestabilan frekuensi merupakan kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan frekuensi dalam rentang yang telah ditentukan pasca terjadinya suatu gangguan. Kestabilan frekuensi dapat dipengaruhi oleh lepasnya beban atau lepasnya suatu pembangkit dalam sistem. Ketidakstabilan frekuensi dapat menyebabkan lepasnya beban dan bahkan berujung pada lepas sinkronnya suatu pembangkit dalam sistem.

1.3 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan yang tetap pada semua bus dalam sistem di bawah kondisi operasi normal dan setelah terjadi gangguan. Sebuah sistem berada dalam kondisi mengalami ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, misalnya permintaan beban, atau perubahan dalam kondisi sistem yang menyebabkan penurunan tegangan secara progresif dan tidak terkendali. Faktor



utama penyebab ketidakstabilan adalah ketidakmampuan sistem tenaga listrik untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahan biasanya adalah penurunan tegangan yang terjadi ketika daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi. Tegangan dan daya sistem akan tetap dapat dikendalikan setiap saat apabila kestabilan tegangan tetap terjaga .

Faktor utama penyebab ketidakstabilan tegangan seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, membatasi kemampuan jaringan transmisi untuk mengirim daya. Ketika beberapa generator telah mencapai batas kemampuan daya reaktifnya, maka transfer daya pun akan semakin terbatas. Hal menjadi pemicu utama ketidakstabilan tegangan adalah beban. Dalam merespon gangguan, regulator tegangan distribusi dan transformator on load tap-charging diharapkan dapat merespon gangguan tersebut untuk memulihkan daya yang dikonsumsi oleh beban. Pemulihan beban meningkatkan tekanan pada jaringan tegangan tinggi dan menyebabkan pengurangan tegangan yang lebih banyak. Situasi ini menyebabkan terjadinya ketidakstabilan tegangan.

Kestabilan tegangan terbagi atas dua kategori, yakni:

1. Kestabilan tegangan gangguan besar

Kestabilan ini dihubungkan dengan kemampuan suatu sistem dalam mengendalikan tegangan mengikuti gangguan besar, seperti gangguan sistem, lepasnya pembangkit, atau circuit contingencies. Karakteristik antara beban dan sistem, interaksi sistem proteksi dan kendali menjadi penentu kemampuan ini. Untuk menentukan kestabilan gangguan besar dibutuhkan pengujian performa sistem pada beban non-linear yang dinamis selama periode waktu tertentu sehingga dapat mengetahui interaksi dari beberapa peralatan seperti on-load transformer tap changer (OLTC) dan pembatas arus eksitasi pada generator. Waktu studi atau pengujian berkisar antara beberapa detik sampai puluhan menit. Oleh karena itu dibutuhkan simulasi dinamis (dynamic analysis) jangka panjang untuk analisis.

2. Kestabilan tegangan gangguan kecil

Kestabilan tegangan gangguan kecil dihubungkan dengan kemampuan suatu sistem untuk mengendalikan tegangan mengikuti gangguan kecil yang terjadi akibat kenaikan beban sistem. Kestabilan ini ditentukan oleh karakteristik



beban dan sistem kendali. Konsep ini digunakan untuk bagaimana tegangan sistem memberikan respon atau bereaksi terhadap perubahan kecil pada sistem yang terjadi setiap saat. Untuk menganalisis kestabilan ini, digunakan analisis statis (static analysis) untuk menentukan batas stabilitas, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhinya, dan menguji kondisi sistem dalam cakupan yang luas, serta beberapa skenario setelah terjadinya gangguan. Kriteria kestabilan tegangan gangguan kecil yakni, pada kondisi operasi untuk setiap bus dalam sistem, nilai tegangan pada bus meningkat pada saat injeksi daya reaktif pada bus tersebut meningkat. Jika pada saat kondisi tersebut nilai tegangan bus menurun, maka sistem tersebut dikatakan tidak stabil. Masalah kestabilan tegangan mempunyai rentang waktu yang variatif dari beberapa detik hingga hitungan menit. Sehingga dapat dikatakan bahwa masalah kestabilan tegangan merupakan fenomena jangka pendek atau jangka panjang. Masalah kestabilan tegangan tidak selamanya muncul secara murni. Seringkali masalah kestabilan tegangan beriringan dengan masalah kestabilan sudut rotor.

Menurut IEEE terdapat dua situasi ekstrim terkait dengan masalah kestabilan tersebut dominan, yakni:

1. Sebuah generator sinkron yang berlokasi jauh dari pusat beban yang besar dihubungkan melalui jaringan transmisi. Hal ini merepresentasikan kestabilan sudut rotor murni dengan kata lain masalah sebuah mesin dengan bus yang tak terbatas.
2. Sebuah generator sinkron atau sebuah sistem yang besar dihubungkan dengan beban asinkron melalui saluran transmisi. Hal ini merepresentasikan kestabilan tegangan murni.
3. Dari kedua situasi tersebut, dapat diketahui bahwa kestabilan tegangan berhubungan dengan daerah beban dan karakteristik beban. Sedangkan kestabilan sudut rotor berhubungan dengan pembangkit kecil yang terintegrasi dengan sebuah sistem yang besar yang dihubungkan melalui saluran transmisi



panjang. Secara sederhana, kestabilan tegangan merupakan kestabilan sudut rotor. Sedangkan kestabilan sudut rotor merupakan kestabilan generator atau pembangkit. Apa bila terjadi runtuh tegangan pada sebuah sistem transmisi,

maka hal ini merupakan ketidakstabilan sudut rotor. Dan apabila runtuh tegangan terjadi pada daerah beban, maka hal tersebut disebabkan secara dominan oleh ketidakstabilan tegangan.

Dari penjelasan yang telah dikemukakan di atas, maka dapat terlihat bahwa masalah kestabilan tegangan biasanya terjadi pada suatu sistem dengan beban yang besar. Tegangan yang tidak stabil dapat memicu terjadinya runtuh tegangan. Gangguan yang menjadi penyebab terjadinya runtuh tegangan diantaranya yakni kenaikan beban secara tiba-tiba, batas kendali tegangan atau daya reaktif generator, karakteristik beban, karakteristik kompensator daya reaktif, serta respon dari peralatan kendali tegangan seperti transformator on load tap changer. Berdasarkan waktu terjadinya, kestabilan tegangan diklasifikasikan menjadi dua, yakni kestabilan tegangan transien (transient voltage stability) dan kestabilan tegangan jangka panjang (long-term stability).

1. Kestabilan transien (transient stability)

Kestabilan transien adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi saat mengalami gangguan peralihan atau gangguan transien. Kestabilan tergantung keadaan operasi awal dan besar gangguan yang terjadi. Biasanya kondisi peralihan ini berlangsung antara 0 sampai dengan 10 detik.

2. Kestabilan jangka panjang (long-term stability)

Kestabilan jangka panjang ini biasanya terjadi dengan waktu berkisar antara beberapa menit sampai 10 menit. Umumnya, kestabilan jangka panjang dikhawatirkan menjadi kekurangan utama dalam respon peralatan, kordinasi yang buruk antara antara peralatan control dan peralatan proteksi, atau cadangan daya aktif/daya reaktif yang tidak mencukupi . Gangguan kestabilan jangka panjang dapat menyebabkan undervoltage dan overvoltage. Undervoltage adalah keadaan penurunan tegangan kurang dari 90% pada frekuensi sistem tenaga listrik untuk durasi lebih dari 1 menit. Sedangkan, overvoltage merupakan kondisi kenaikan tegangan lebih dari 110% pada ensi sistem tenaga listrik untuk durasi lebih dari 1 menit.



1.4 Voltage Sag

Voltage sag terkait dengan masalah kualitas daya. Biasanya merupakan hasil dari gangguan pada sistem tenaga dan *switching* untuk mengisolasi bagian yang terjadi gangguan. Mereka dicirikan oleh variasi tegangan rms di luar kisaran tegangan operasi normal. Voltage sag adalah pengurangan tegangan rms dalam durasi singkat (biasanya 0,5 hingga 30 siklus) yang disebabkan oleh gangguan pada sistem tenaga dan permulaan beban besar, seperti motor. Gangguan sesaat (biasanya tidak lebih dari 2 hingga 5 detik) menyebabkan hilangnya tegangan secara total dan merupakan akibat umum dari tindakan yang diambil oleh utilitas untuk men`gatasi gangguan transien pada sistem.

2.1.1. Sumber Voltage Sag

Penurunan tegangan umumnya disebabkan oleh gangguan (korsleting) pada sistem. Pertimbangan pelanggan yang disuplai dari feeder yang disuplai oleh pemutus sirkuit. Jika terjadi gangguan pada *feeder* yang sama, pelanggan akan mengalami voltage sag selama gangguan yang diikuti dengan gangguan saat pemutus terbuka untuk menghilangkan gangguan tersebut. Jika kesalahan bersifat sementara, operasi penutupan pada pemutus harus berhasil dan gangguan hanya akan bersifat sementara. Biasanya akan membutuhkan sekitar 5 atau 6 siklus agar pemutus beroperasi, selama waktu itu terjadi kedip tegangan. Pemutus akan tetap terbuka untuk biasanya minimal 12 siklus hingga 5 detik tergantung pada praktik penutupan utilitas. Peralatan sensitif hampir pasti akan tersandung selama gangguan ini.

2.1.2. Memperkirakan Kinerja Voltage Sag

Sangatlah penting untuk memahami kinerja voltage sag yang diharapkan dari sistem pembangkit sehingga fasilitas dapat dirancang dan spesifikasi peralatan dikembangkan untuk memastikan pengoperasian fasilitas produksi yang optimal.



ini adalah prosedur umum untuk bekerja dengan pelanggan industri guna
tan kesesuaian antara karakteristik sistem pembangkit dan pengoperasian
:

1. Tentukan jumlah dan karakteristik penurunan tegangan akibat gangguan sistem transmisi.
2. Menentukan jumlah dan karakteristik kedip tegangan akibat gangguan sistem distribusi (untuk fasilitas yang disuplai dari sistem distribusi).
3. Tentukan kepekaan peralatan terhadap kedip tegangan. Ini akan menentukan kinerja sebenarnya dari proses produksi berdasarkan kinerja kedip tegangan yang dihitung pada langkah 1 dan 2.
4. Mengevaluasi keekonomian berbagai solusi yang dapat meningkatkan kinerja, baik pada sistem pasokan (kedipan tegangan yang lebih sedikit) atau di dalam pelanggan fasilitas (kekebalan yang lebih baik).

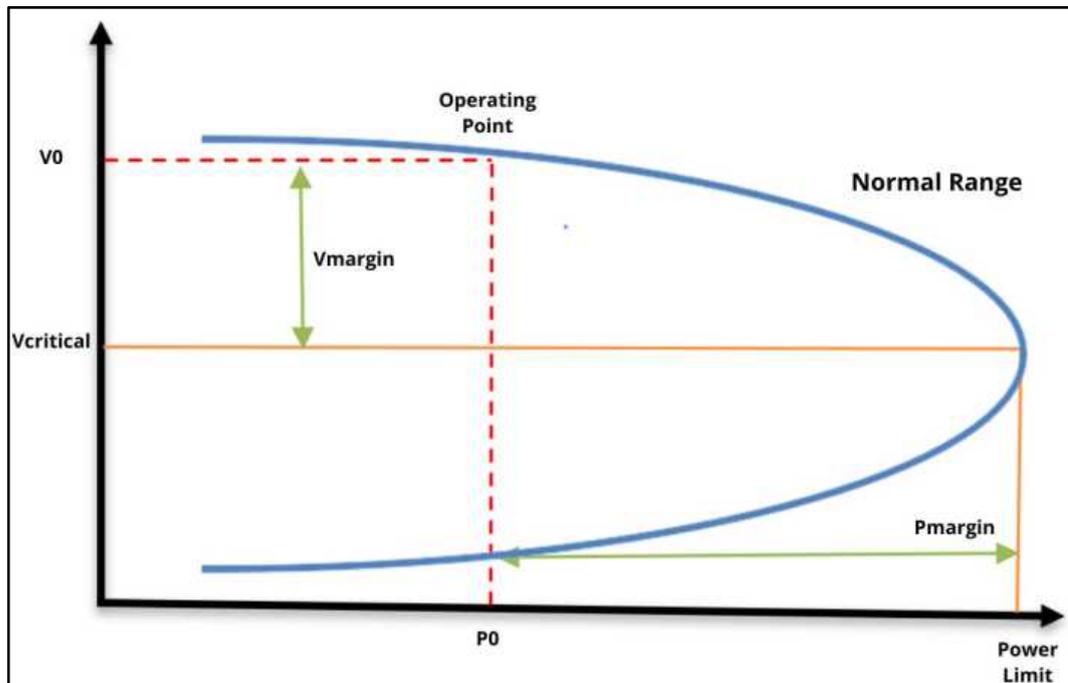
1.5 Analisis Stabilitas Tegangan

2.1.3. Analisis Statis

Analisis statis (pada keadaan tunak) biasanya digunakan pada masalah ketidakstabilan tegangan yang disebabkan oleh gangguan-gangguan kecil, seperti kenaikan beban. Metode studi utama yang digunakan untuk analisis statis adalah simulasi aliran daya. Metode ini terbagi menjadi dua, yakni: kurva P-V dan kurva Q-V. Kedua metode tersebut dapat menentukan batas pembebanan pada keadaan tunak yang terkait dengan stabilitas tegangan. Dengan mengetahui kurva P-V maka kurva Q-V dapat dibuat dengan mengubah nilai P menjadi nilai Q dengan faktor daya tertentu, begitu juga sebaliknya.



2.1.4. Kurva P-V



Gambar 1 Kurva PV

Kurva P-V digunakan untuk analisis konseptual stabilitas tegangan dan studi sistem radial. Metode ini juga digunakan pada jaringan melingkar (*ring*) dimana P adalah total beban pada sebuah area dan V adalah tegangan pada bus yang kritis atau representatif. P dapat juga berupa daya yang dikirim melalui saluran transmisi. Tegangan pada beberapa bus dapat digambar. Kelebihan kurva P-V lainnya adalah dapat digunakan untuk analisis karakteristik beban sebagai fungsi dari tegangan. Sebagai contoh sebuah beban resistif murni dapat digambarkan dengan persamaan $P_{load} = V^2/R$. Sedangkan untuk beban dengan daya konstan (tidak bergantung pada tegangan), kurva P-V berupa garis lurus vertikal. Di sisi lain, penggunaan kurva P-V juga memiliki kelemahan, yakni simulasi aliran daya akan divergen mendekati puncak atau titik daya maksimum kurva. Hal ini menyebabkan setengah bagian kurva tidak dapat digambarkan.



Kurva Q-V

Untuk sistem tenaga listrik yang besar, kurva Q-V didapatkan dengan kali simulasi aliran daya. Kurva V-Q menggambarkan tegangan

pada bus yang diuji atau bus yang kritis terhadap daya reaktif pada bus yang sama. Kurva Q-V dibuat dengan menentukan beberapa nilai daya reaktif pada bus dan disimulasikan untuk melihat nilai tegangan bus untuk setiap nilai Q yang berbeda. Keadaan operasi normal dianggap sebagai titik daya reaktif nol.kelebihan dari analisis dengan kurva Q-V.

1.6 Electric Transient and Analysis Program (ETAP) 19.0.1

Electric Transient And Analysis Program (ETAP) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk melakukan simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time. Fitur yang terdapat didalamnya antara lain fitur yang digunakan untuk pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pertahanan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain sebagai berikut: aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, yaitu American National Standards Institute (ANSI) dan International Electrotechnical Commission (IEC). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP adalah:

2. One Line Diagram, menunjukkan antara komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
3. Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
4. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang digunakan.



5. Case, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

5.1 Upaya Mengatasi Kestabilan Tegangan

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah kestabilan tegangan yaitu:

1. Pembangkit cadangan yang beroperasi

Pengoperasian pembangkit cadangan (back up supply) dapat dilakukan untuk menyediakan dukungan tegangan selama keadaan darurat, ketika saluran baru atau ketika transformator terlambat beroperasi.

2. Kompensator daya reaktif

Kompensator daya reaktif ini biasanya dilakukan dengan pemasangan kapasitor bank baik itu secara seri maupun secara paralel. Penggunaan kapasitor seri ditujukan untuk mengurangi rugi daya reaktif karena dengan pemasangan pemasangan kapasitor seri seolah-olah memperpendek saluran yang panjang. Selain itu, dengan memasang kapasitor seri dapat dapat mengirim daya reaktif yang lebih banyak menuju daerah yang kekurangan suplai daya reaktif. Begitu pula dengan kapasitor paralel, kapasitor tambahan dapat menyelesaikan masalah dengan menggantikan fungsi cadangan daya reaktif pada generator. Karena pada umumnya, hamper seluruh kebutuhan daya reaktif disuplai secara khusus, hal ini dikarenakan generator dominan menyuplai daya aktif.

3. Pengoperasian pada tegangan yang lebih tinggi

Suplai cadangan daya reaktif tidak ditingkatkan melalui dengan operasi tegangan yang lebih tinggi, namun dapat menurunkan permintaan daya reaktif. Sehingga generator dapat bertahan jauh dari batas daya reaktifnya.

4. Pelepasan beban undervoltage

Pelepasan beban merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kestabilan sistem jika terjadi suatu gangguan. Jika terjadi gangguan yang berakibat pada besarnya daya yang dihasilkan pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban, misalnya terdapat suatu pembangkit yang lepas, maka penggerak utama

ator akan melambat karena memikul beban melewati kapasitas serata ganpun akan mengalami penurunan. Jika hal ini tidak segera diatasi, sistem akan mengalami penurunan tegangan dan frekuensi di luar



standar yang diizinkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pelepasan beban. Pengurangan beban walaupun hanya sebesar 5% hingga 10% dapat membuat suatu perbedaan yang signifikan antara collapse atau bertahan.

