

**ANALISA STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU
PEMUTUSAN KRITIS (*CRITICAL CLEARING TIME*) PADA JARINGAN
TRANSMISI 150 Kv. DI PLTD TIMOR LESTE**

SKRIPSI



**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

**Disusun Oleh :
WILSON GARCIA
NIM : 10.12.001**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2015**

ANALISA STABILITAS TRANSIENT (SATURASI) PADA SISTEM tenaga listrik
PENGALIHAN TENAGA (POWER TRANSFER) PADA SISTEM tenaga listrik
TRANSISI 150 KV DI PLTD TINGIR LESTI

SKRIPSI

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS MALANG

Disusun Oleh :
WILSON GARCIA
NIM : 1012001

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO 3-3
KOMPUTERisasi TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2018

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU
PEMUTUSAN KRITIS (*CRITICAL CLEARING TIME*) PADA JARINGAN
TRANSMISI 150 Kv. DI PLTD TIMOR LESTE

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

Disusun oleh :

WILSON GARCIA
NIM : `10.12.001

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 1018800190

Bambang Prio Hartono, ST, MT
NIP. Y. 1028400082



Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2015



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : **WILSON GARCIA**
Nim : **10.12.001**
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2014 – 2015**
Judul :

**ANALISA STABILITAS TRANSIENT UNTUK
MENENTUKAN WAKTU PEMUTUSAN KRITIS
(CRITICAL CLEARING TIME) PADA JARINGAN
TRANSMISI 150 kV. DI PLTD TIMOR LESTE**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S – 1) pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 18 Agustus 2015
Dengan Nilai : 80.3 (A)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP.P.1030100358

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.Y.1030100361

Anggota Penguji

Dosen/Penguji I

Lauhil Mahfudz Hayusman,ST,MT
NIP.P. 1031400472

Dosen Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini,MT
NIP.P . 1030100371

**ANALISIS STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU
PEMUTUSAN KRITIS (CRITICAL CLEARING TIME) PADA JARINGAN
TRANSMISI 150 Kv
DI PLTD TIMOR LESTE**

Wilson Garcia, Nim : 10.12.001

Dosen Pembimbing :

Ir. Choirul Saleh, MT dan Bambang Prio Hartono, ST, MT

*Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas
Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang*

Email : wilson.maulara@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak - Suatu sistem tenaga listrik yang dihubungkan secara terinterkoneksi melalui jaringan transmisi tidak lepas dari adanya gangguan. Adanya gangguan yang terjadi dapat menimbulkan ketidakstabilan. Ketidakstabilan dapat mempengaruhi perubahan pada sistem, berupa perubahan pada tegangan dan frekuensi sistem. Gangguan berat yang bersifat mendadak pada sistem yang sering terjadi seperti hubung singkat, putusnya penghantar, dan meningkatnya pembebanan dapat menyebabkan hilangnya sinkronisasi. Hal tersebut memerlukan analisa stabilitas transien yang membantu untuk menentukan setting ulang parameter , dan waktu pemutusan kritis circuit breaker. Pada Skripsi ini bertujuan untuk mengetahui waktu pemutusan kritis (Critical Clearing Time) pada saat terjadi gangguan tiga fasa (3 phase fault) pada sistem kelistrikan di PLTD Timor Leste. Oleh karena itu, dilakukan simulasi dengan menggunakan Software ETAP dalam menentukan waktu pemutusan kritis yang tepat untuk mengantisipasi terjadinya ketidakstabilan sistem.

Dari hasil simulasi ETAP menunjukkan bahwa waktu pemutusan kritis ≤ 0.03 adalah waktu stabil dan ≥ 0.03 waktu tidak stabil.

Kata Kunci : Gangguan 3 fasa , Stabilitas Transien, Waktu Pemutusan Kritis

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : WILSON GARCIA
NIM : 10.12.001
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, April 2016

Yang membuat Pernyataan,



Wilson Garcia

10.12.001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan YME karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini yang berjudul “ANALISIS STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU PEMUTUSAN KRITIS (*CRITICAL CLEARING TIME*) PADA JARINGAN TRANSMISI 150 kV DI PLTD TIMOR LESTE” dapat diselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana pada program studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka penyusunan skripsi ini tidak dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Dr.Ir.Lalu Mulyadi ,MTA selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknolgi Nasional Malang.
3. M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ir. Choirul Saleh, MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bambang Prio Hartono, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik
7. Sahabat-Sahabat dan orang-orang tercinta yang tidak di sebutkan satu-persatu, penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan dalam proses pembuatan skripsi yang telah penulis kerjakan ,begitu juga dengan penyelesaian laporan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan,maka saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya serta menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Malang, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GRAFIK.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik	6
2.3 Pengertian Stabilitas	7
2.3.1 Kestabilan keadaan tetap	8
2.3.2 Kestabilan Dinamis	8
2.3.3 Kestabilan Peralihan.....	8
2.4 Parameter Keadaan Transien	9
2.5 Studi Aliran Daya	9
2.6 Persamaan Sudut Daya	10
2.7 Persamaan Ayunan (Swing Equation).....	12
2.8 Waktu pemutusan kritis	16
2.9 Kriteria Luas Sama (Equal Area Criterion).....	17
2.10 Aplikasi Metode Kriteria Luas Sama pada Gangguan Tiga Fasa.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode yang Digunakan.....	20
3.2 Software ETAP Power Station	20
3.3 Load Flow Analysis	22
3.3.1 Klasifikasi Bus	22
3.3.2 Metode <i>Newton Rhapson</i>	23
3.4 Transient Stability Analysis	24
3.5 Algoritma Simulasi pada software <i>ETAP POWER STATION</i>	25
3.6 Flowchart (Desain Sistem).....	26
3.7 Perencanaan Simulasi Menggunakan <i>ETAP Power Station</i>	27
3.7.1 Menggambar Single Line Diagram di <i>ETAP Power Station</i>	27
3.7.2 Input Data.....	27

BAB IV ANALISA SISTEM DAN SIMULASI

4.1 Data – data yang dikumpulkan	30
4.1.1 Data Generator	30
4.1.2 Data Trafo	31
4.1.3 Data Saluran	31
4.1.4 Data Beban	32
4.2 Sistem Kelistrikan PLTD Timor Leste 150 kV	32
4.3 SIMULASI DAN ANALISIS	33

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37

DAFTAR PUSTAKA	38
-----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Pusat Listrik yang dihubungkan melalui saluran transmisi ke Beban	5
Gambar. 2.2 Diagram faktor-faktor utama dalam masalah kestabilan	6
Gambar 2.3. Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga listrik	8
Gambar. 2.4. Diagram fasor mesin serempak untuk studi kestabilan transien	10
Gambar 2.5. Skema jaringan untuk studi kestabilan	11
Gambar 2.6. Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah perputaran serta medan putar mekanis dan listrik	13
Gambar 2.7. Lengkung sudut daya yang menunjukkan sudut pemutusan kritis δ_{cr} , Luas A_1 dan A_2 adalah sama	16
Gambar 2.8. Kriteria luas sama pada kecepatan serempak	18
Gambar 2.9. Kriteria luas sama pada perubahan beban mendadak	18
Gambar 3.1 Tampilan Utama Software ETAP Power Station	21
Gambar 3.2 Flowchart.....	26
Gambar 3.3 Single Line Diagram sistem 150 kV PLTD Timor Leste	27
Gambar 3.4 Input Rating Generator	27
Gambar 3.5 Input Rating Transformator (Step Up)	28
Gambar 3.6 Input Parameter Saluran	28
Gambar 3.7 Input data Beban	28
Gambar 3.8 Transient Stability Study Case	29
Gambar 4.1 Single line diagram jaringan transmisi 150 kV Timor Leste.....	33
Gambar 4.2 Single Line Sistem 150 kV PLTD Timor Leste menggunakan ETAP.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data generator PLTD Hera dan Betano.....	30
Tabel 4.2 Data trafo step up Hera dan Betano	31
Tabel 4.3 Data saluran transmisi 150 kV Timor Leste	31
Tabel 4.4 Data beban terpasang pada 9 gardu induk Timor Leste	32
Tabel 4.3.1 Hasil analisa waktu pemutusan kritis dan arus gangguan hubung singkat 3 fasa	54

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan kurva karakteristik arus generator terhadap Waktu	35
Grafik 4.2 Perbandingan kurva karakteristik kecepatan terhadap Waktu	35
Grafik 4.5 Perbandingan kurva karakteristik <i>relative power angle</i> generator terhadap Waktu	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik di masyarakat Timor Leste semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pemanfaatan tenaga listrik pada peralatan-peralatan rumah tangga, kantor, dan sebagainya, sehingga pasokan listrik harus ditambah yakni dengan pembangunan pembangkit listrik baru. Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem tenaga yang dapat melayani beban secara kontinyu dimana tegangan dan frekuensi konstan.^[1]

Dalam sistem tenaga listrik keseimbangan antara daya elektrik dan daya mekanis sangat dibutuhkan untuk menjaga kestabilan sistem. Daya elektrik dipengaruhi oleh adanya beban-beban listrik, sedangkan daya mekanis merupakan penggerak awal pada generator. Setiap ada perubahan dari daya elektrik yaitu perubahan besaran beban listrik harus diikuti dengan adanya perubahan mekanis. Jika daya mekanis pada poros penggerak awal (generator) tidak segera menyesuaikan diri dengan besarnya beban listrik maka akan terjadi perubahan frekuensi dan tegangan menjadi tidak normal. Apabila hal ini dibiarkan maka akan membuat sistem menjadi tidak normal.^{[1][2]}

Suplai listrik yang kontinyu sangat diinginkan semua pihak dan hal ini hanya dapat terjadi jika generator-generator sinkron dapat memenuhi permintaan energi listrik (*demand*). Apabila suatu saat generator menjadi tidak sinkron dengan sistem. Maka akan terjadi fluktuasi tegangan dan frekuensi yang signifikan sehingga terjadi pemutusan pada jaringan transmisi. Jika generator telah lepas dari sistem maka harus disinkronkan terlebih dahulu sebelum dibebani kembali (dengan catatan generator tersebut tidak rusak). Jadi, fluktuasi tegangan dan frekuensi yang terjadi harus berada pada batas toleransi yang diizinkan agar peralatan listrik konsumen dapat bekerja dengan baik dan aman. Gangguan yang terjadi (hubung singkat, putusnya penghantar, *switching*, atau *load shedding*) dapat menyebabkan hilangnya sinkronisasi yang mempengaruhi kestabilan sistem berupa perubahan tegangan dan frekuensi sistem. Berdasarkan sifat dan besarnya gangguan, analisis stabilitas sistem dapat diklasifikasikan dalam stabilitas keadaan mantap (*steady state*), keadaan transien dan keadaan dinamik. Gangguan

berat yang bersifat mendadak pada sistem daya memerlukan analisis stabilitas transien, hal ini dilakukan untuk mengetahui waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing time*) dalam mengantisipasi terjadinya ketidakstabilan sistem.^[5]

Maka dari itu, penulisan skripsi ini akan membahas mengenai ANALISIS STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU PEMUTUSAN KRITIS PADA (*CRITICAL CLEARING TIME*) JARINGAN TRANSMISI 150 Kv dengan menggunakan *Software* ETAP

1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*) harus cepat agar tiap generator tetap stabil setelah terjadi gangguan dengan memilih waktu pemutusan tercepat atau terpendek

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari Skripsi ini adalah :

- Untuk menentukan waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*) sesaat setelah terjadi gangguan sehingga sistem tetap stabil atau tidak *loss of synchron*.

1.4 Batasan Masalah

Karena ruang lingkup permasalahan yang sangat luas, maka dalam penulisan Skripsi ini, permasalahan akan dibatasi pada :

- Pembahasan mencakup masalah waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*).
- Gangguan yang terjadi adalah tiga fasa seimbang.
- Analisa dan simulasi yang digunakan analisis sudut arus generator, kecepatan dan *relative power angle* dengan menggunakan *software* ETAP.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penyusunan Skripsi ini digunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literature mengenai waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing time*) dan studi tentang stabilitas *transient* pada sistem tenaga listrik.
2. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan sebagai parameter yang digunakan dalam simulasi, yaitu data tentang pembangkitan, transmisi dan beban (*load*) pada sistem kelistrikan PLTD di Timor Leste 150 Kv.

3. Perencanaan dan Perhitungan

Melakukan perhitungan terhadap data-data yang diperoleh sesuai dengan teori-teori terkait sesuai dengan pokok bahasan tugas akhir.

4. Simulasi

Memasukkan data-data yang sudah diperoleh dan dihitung ke dalam sebuah *software computer* yaitu ETAP.

5. Analisis

Membandingkan kesesuaian antara teori, perhitungan dan simulasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah dari pokok pembahasan yang saling terkait antara satu dengan yang lainnya, yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Pada ini meliputi beberapa tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, manfaat penelitian serta sistematika pembahasan.

BAB II. DASAR TEORI

Pada bab ini diuraikan mengenai teori tentang waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*) pada jaringan transmisi 150 Kv di PLTD Timor Leste.

BAB III. METODELOGI PENELITIAN

Membahas tentang pengumpulan data-data yang diperlukan dalam laporan ini. Data-data dapat berasal dari dari PLTD di Timor Leste.

BAB IV.HASIL DAN ANALISA WAKTU PEMUTUSAN KRITIS (*CRITICAL CLEARING TIME*) JARINGAN TRANSMISI 150 Kv

Pada bab ini berisikan tentang hasil analisa simulasi dengan menggunakan *Software* ETAP yaitu berupa tampilan data berupa grafik dan table.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

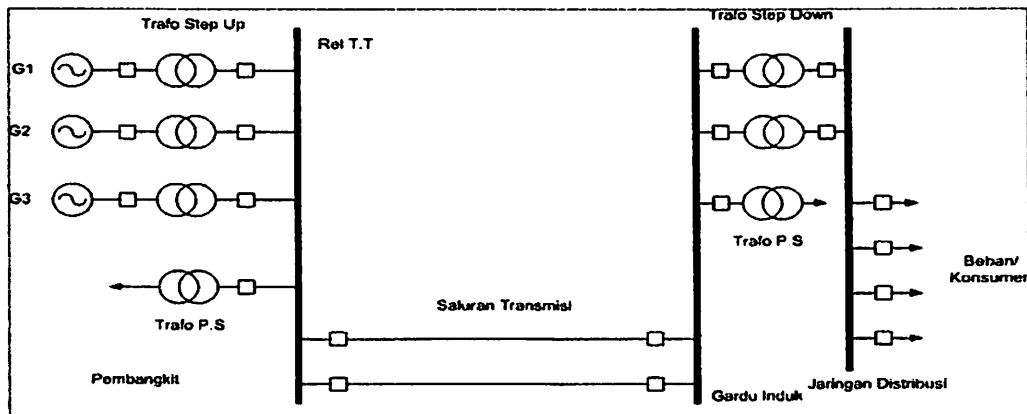
Merupakan bab terakhir yang merupakan inti dan hasil pembahasan berisikan kesimpulan dan saran

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat/pembangkit listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi agar tenaga listrik dapat mengalir sesuai kebutuhan. Berikut gambar 1 adalah gambar skema tenaga listrik secara umum dari pembangkit yang dihubungkan melalui saluran transmisi ke beban.



Gambar 2.1. Skema Pusat Listrik yang dihubungkan melalui saluran transmisi ke Beban.

Di dalam suatu keadaan sistem tenaga listrik yang saling interkoneksi seperti ini tidak luput dari adanya kesalahan pada sistem sehingga menyebabkan terganggunya aliran daya yang mengalir diberbagai bagian dari sistem. Kebanyakan dari gangguan yang sering terjadi itu adalah pada saluran transmisi, dimana dapat menimbulkan kerusakan besar pada suatu sistem khususnya dalam masalah peralihan (*Transient*) yang akan tercakup dalam keadaan studi kestabilan. Maka dalam hal ini sangat diperlukan suatu studi kestabilan untuk dapat menganalisa suatu sistem untuk meminimalisir kerusakan, sehingga pencegahan kerusakan peralatan pada saluran-saluran transmisi beserta cara-cara untuk perlindungan sistem pada saat terjadi gangguan-gangguan sistem.^[2]

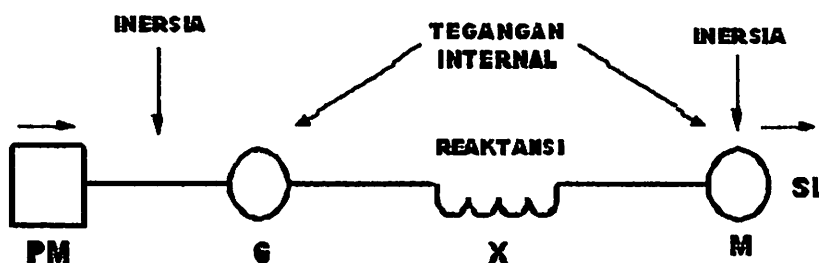
2.2 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik dengan operasi awal tertentu untuk mendapatkan kembali dan mempertahankan keseimbangan kondisi operasi dalam sistem setelah mengalami gangguan. Batas stabilitas sistem adalah daya-daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem untuk dipertahankan ketika keseluruhan sistem tanpa menyebabkan hilangnya stabilitas. Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban yang terjadi secara kontinyu dan sistem menyesuaikan dengan perubahan kondisi. Selain itu pada gangguan besar, sistem harus dapat bertahan dari dalam maupun dari luar sistem, termasuk hubung singkat pada saluran transmisi atau lepasnya operasi dari suatu pembangkit.^[5]

Dalam ketidakstabilan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik dapat terjadi dalam bentuk-bentuk tertentu yang bergantung bentuk gangguan yang terjadi. Stabilitas Sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal, diantaranya sifat alami dari ketidakstabilan yang dihasilkan terkait parameter sistem utama, dimana ketidakstabilan dapat diamati. Sifat alami lainnya adalah ukuran gangguan yang menunjukkan pada metode perhitungan dalam menangani ketidakstabilan yang sesuai. Selain dua sifat alami di atas terdapat juga sifat alami yaitu proses dan rentang waktu yang harus diambil untuk menjadi pertimbangan dalam menentukan kestabilan.

Faktor-faktor utama dalam masalah stabilitas adalah:

- PM* = Prime Mover
- G* = Generator sinkron
- X* = Reaktansi saluran
- SL* = Sumbu beban

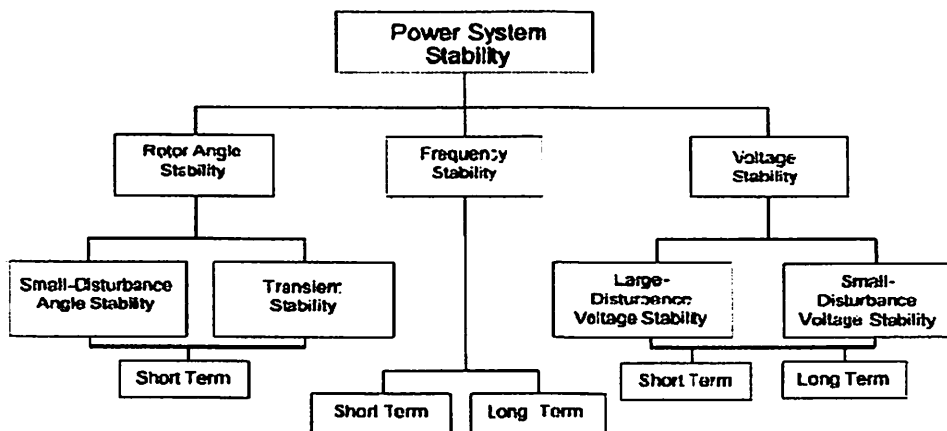


Gambar 2.2. Diagram faktor-faktor utama dalam masalah kestabilan

2.3 Stabilitas Transient

Stabilitas Transient yang merupakan kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak selama sekitar satu “swing” (yang pertama) dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) dan governor belum bekerja. Analisis stabilitas transien menggunakan pendekatan model non linear. Stabilitas transien merupakan fungsi dari kondisi operasi dan gangguan. Masalah kestabilan peralihan menyangkut gangguan besar yang tidak lagi memungkinkan proses kelinieran, sehingga persamaan tidak linier differensial dan aljabar harus diselesaikan dengan metoda langsung atau dengan prosedur iterasi.^[5]

Masalah kestabilan peralihan dapat lebih lanjut dibagi kedalam kestabilan ayunan pertama (first-swing) dan ayunan majemuk (*multiswing*). Kestabilan ayunan pertama didasarkan pada model generator yang cukup sederhana tanpa memasukkan sistem pengaturannya. Biasanya periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Bila mesin dikatakan berada dalam kondisi serempak sebelum berakhirnya detik pertama, maka kita katakan sistem ini stabil. Masalah kestabilan ayunan majemuk mencakup periode telah yang lebih lama, dan karenanya harus mempertimbangkan juga pengaruh sistem pengaturan generator terhadap kinerja mesin didalam periode waktu yang cukup lama. Model – model mesin dengan perincian yang lebih tinggi harus dibuat untuk menggambarkan kinerjanya dengan tepat. Pada bagan *gambar 3* menunjukkan klasifikasi stabilitas pada sistem tenaga listrik, yakni stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi, dan stabilitas tegangan.^[4]



Gambar 2.3. Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga listrik^[4]

2.4 Parameter Keadaan Transien

Kondisi sistem yang benar-benar mantap sebenarnya tidak pernah ada. Perubahan beban selalu terjadi dalam sistem. Penyesuaian oleh pembangkit akan dilakukan melalui governor dari penggerak mula dan eksitasi generator. Perubahan kondisi sistem yang seketika, biasanya terjadi akibat adanya gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik, dan pelepasan atau penambahan beban yang besar secara tiba-tiba. Akibat adanya perubahan kondisi kerja dari sistem ini, maka keadaan sistem akan berubah dari keadaan lama ke keadaan baru.^[9]

2.5 Studi Aliran Daya

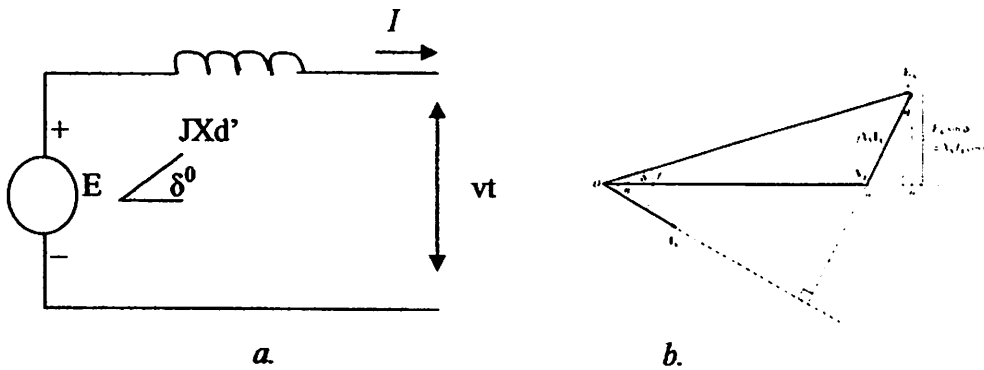
Studi aliran daya merupakan perhitungan untuk menentukan tegangan, arus, dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan pengoperasian normal baik yang dalam keadaan beroperasi maupun dalam perencanaan dan pengembangan sistem yang akan datang. Studi aliran daya biasanya digunakan untuk mengetahui efek interkoneksi sistem, perubahan beban, perubahan pada unit pembangkitan, serta pengaruh perubahan saluran transmisi. Dalam studi kestabilan transien sistem tenaga, analisis aliran daya digunakan sebagai kondisi awal sistem sebelum gangguan (*steady-state*).

Pada setiap titik/bus suatu sistem tenaga listrik dapat diperoleh nilai daya aktif (P), daya reaktif (Q), tegangan (E), dan sudut fasa tegangan (θ). Jadi pada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P, Q, E dan θ . Di dalam studi aliran daya, dua dari keempat besaran itu diketahui, dan dua yang lain perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut, bus-bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bus beban, bus generator, dan bus berayun (*slack bus*).

2.6 Persamaan Sudut Daya

Sudut daya adalah besarnya perbedaan sudut fasor antara tegangan pada bus pembangkit dengan tegangan di bus penerima. Suatu sistem yang mengalami gangguan akan membuat sudut daya menjadi membesar dan akan mengecil bila sudah distabilkan.

Untuk studi kestabilan peralihan, mesin serempak diwakili oleh tegangan dalam peralihannya (*Transient Internal Voltage*) E' yang terhubung seri dengan reaktansi peralihan X_d .

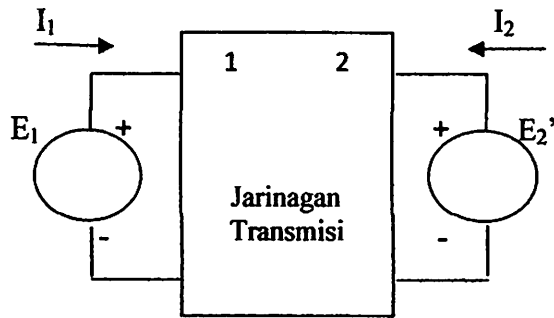


Gambar 2.4. Diagram fasor mesin serempak untuk studi kestabilan transient

Gambar 2.2a. merepresentasikan satu mesin serempak yang diwakili oleh tegangan dalam transien (E') yang terhubung seri dengan reaktansi transien (X_d') dengan V_t adalah tegangan terminal, resistansi jangkar dapat diabaikan, diagram fasornya terlihat pada gambar 2.2b. Untuk mempermudah penyelesaian permasalahan diperlukan beberapa asumsi antara lain :

1. Masukan daya mekanis dari penggerak mula P_m dianggap konstan.
2. Keluaran daya listrik P_e dapat berubah sesuai dengan kecepatan rotor yang mengalami percepatan, perlambatan atau tetap pada kecepatan serempak.
3. Pada kondisi daya mekanik (P_m) sama dengan daya elektrik (P_e) mesin dalam kecepatan serempak kondisi tetap.
4. Bila P_e berubah dari nilai rotornya menyimpang dari kecepatan serempak artinya perubahan P_e ini ditentukan oleh keadaan aliran daya (*Load Flow Equation*) hal ini disebabkan karena pengaruh kecepatan mesin pada tegangan diabaikan.

Gangguan jaringan listrik yang disebabkan perubahan yang hebat atau oleh bekerjanya pemutus rangkaian (*MCB*) dapat mengakibatkan output generator (P_e) berubah dengan cepat sehingga menimbulkan perubahan elektromekanis. Gambar 2.3. adalah gambaran skema generator yang mencatu daya melalui sistem transmisi yang terdiri dari komponen rangkaian pasif linear seperti Transformator, saluran Transmisi, Kapasitor dan Reaktansi peralihan generator. Karena itu tegangan E_1' mewakili tegangan dalam transien generator pada rel 1, sedang E_2' pada ujung penerima dianggap sebagai tegangan tak hingga yang reaktansi peralihannya sudah dimasukkan dalam jaringan.



Gambar 2.5. Skema jaringan untuk studi kestabilan

Matrik admitansi rel untuk jala-jala jaringan pada gambar diatas dinyatakan dalam 2 buah simpul yaitu :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}$$

Sedang hubungan antara daya nyata dan daya reaktif dari kedua generator dirumuskan sebagai berikut :

$$P_1 - jQ_1 = E_1' (Y_{11} E_1')^* + E_1' (Y_{12} E_2')^*$$

Jika : $E_1' = |E_1'| < \delta_1$ dan $E_2' = |E_2'| < \delta_2$

$$Y_{11} = G_{11} + jB_{11}. \quad Y_{12} = |Y_{12}| < \theta_{12}$$

Akan diperoleh :

$$P_1 = |E_1'|^2 G_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{11}'| \cos(\delta_1 - \delta_2 - \theta_{12})$$

$$Q_1 = - |E_1'|^2 B_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}'| \sin(\delta_1 - \delta_2 - \theta_{12})$$

Persamaan serupa berlaku pada rel 2 dengan saling menukarkan subskrip pada kedua persamaan tersebut, jika kita buat $\delta = \delta_1 - \delta_2$ dan menetapkan sudut baru y sedemikian rupa sehingga $y = \theta_{12} - \pi/2$ didapat persamaan :

$$P_1 = |E_1'|^2 G_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}'| \sin(\delta - y)$$

$$Q_1 = - |E_1'|^2 B_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}'| \cos(\delta - y)$$

Sehingga pers.(2.18) dapat dituliskan lebih sederhana sbb:

$$P_e = P_e + P_{maks} \sin(\delta - y)$$

$$\text{Dengan : } P_e = |E_1'|^2 G_{11}, \quad P_{\text{maks}} = |E_1'| |E_2'| |Y_{12}'|$$

$$|E_1'| \text{ dan } |E_2'| = \text{Konstan}$$

$$Y_{\text{rel}} = \text{suseptansi}, \quad G_{11} \text{ dan } y = \text{nol}$$

Karena P_1 mewakili keluaran daya listrik dari generator (rugi jangkar diabaikan) kita telah menggantinya dengan P_e pada gambar (2.20) yang disebut persamaan sudut daya, grafik yang dibuat sebagai fungsi δ dinamakan lengkung (kurva) sudut daya, untuk konfigurasi jaringan tertentu P_e , P_{maks} , $y = \text{konstanta}$.
 Persamaan sudut daya yang untuk jala-jala reaktansi murni adalah

$$P_e = P_{\text{maks}} \sin \delta \text{ dan } P_{\text{maks}} = |E_1'| |E_2'| / X_{12}$$

$$X_T = \text{Reaktansi transfer antara } E_1' \text{ dan } E_2'$$

2.7 Persamaan Ayunan (Swing Equation)

Untuk melakukan analisis kestabilan suatu sistem tenaga listrik, maka hal pertama yang harus dilakukan adalah membangun model matematika yang dapat menggambarkan dinamika sistem tenaga listrik saat ada gangguan besar. Model matematika yang dipakai untuk pembangkit listrik adalah persamaan ayunan (swing equation) Persamaan ayunan adalah persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin serempak didasarkan pada prinsip dalam dinamika yang menyatakan :
 "Momen putar percepatan (*accelerating torque*) adalah hasil kali momen kelembaban (*moment of inertia*) rotor dan percepatan sudutnya"

Untuk generator serempak, persamaan ayunan ditulis:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m - T_e$$

Dengan :

J = Moment inersia dari massa rotor (kg-m^2)

θ_m = Pergeseran sudut rotor terhadap sumbu yang stasioner (radianmekanis)

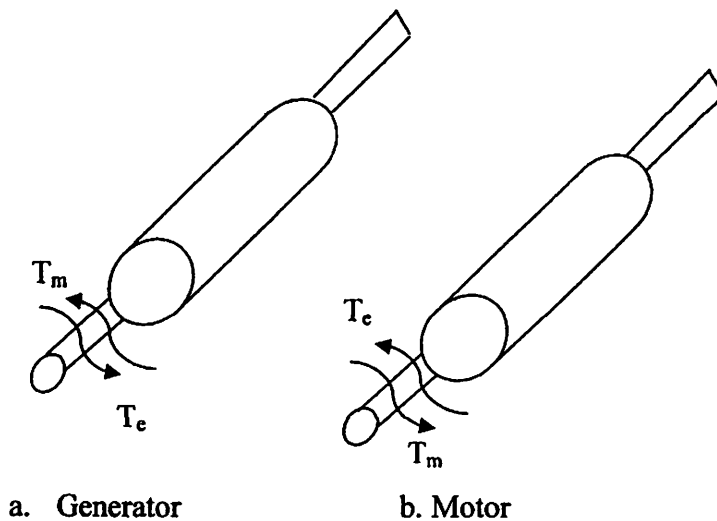
t = Waktu (detik)

T_m = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m)

T_e = Momen putar listrik (N-m)

Jika T_m dan T_e dianggap positif untuk generator serempak berarti bahwa T_m adalah resultan momen putar poros yang mempunyai kecenderungan untuk mempercepat rotor dalam arah θ_m yang positif. Prinsip dasar ini diilustrasikan pada Gambar 2.1 berikut.

Untuk generator yang bekerja dalam keadaan diam maka $T_m = T_e$, dalam keadaan ini tidak ada percepatan ataupun perlambatan terhadap massa rotor, sedang kecepatan tetap resultan adalah kecepatan serempak. Bila terjadi gangguan akan menghasilkan suatu percepatan ($T_m > T_e$) atau perlambatan ($T_m < T_e$)



Gambar 2.6. Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah perputaran serta medan putar mekanis dan listrik.

Karena θ_m diukur terhadap sumbu diam pada stator maka untuk mengukur posisi sudut rotor terhadap sumbu yang berputar dengan kecepatan sinkron maka :

$$\theta_m = \omega_{sm} t + \delta_m$$

Sehingga kecepatan putaran rotor :

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt}$$

Dengan : ω_{sm} = Kecepatan serempak mesin (rad-mekanis / detik)

δ_m = Pergeseran sudut rotor terhadap sumbu yang berputar dalam kecepatan serempak (rad-mekanis)

$d\delta_m / dt =$ Penyimpangan kecepatan rotor keadaan serempak (rad/dtk)

Sehingga persamaan (2.1) dapat diubah menjadi :

$$J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = T_m - T_e$$

Jika dikalikan dengan ω_m maka :

$$J \omega_m \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = (T_m - T_e) \omega_m = \omega_m T_m - \omega_m T_e$$

Jika kecepatan putar dikali torsi = daya, Maka

$$J \omega_m \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = (P_m - P_e)$$

Dengan : $J \omega_m =$ Momen sudut (momentum anguler) rotor dinyatakan dengan M.

Persamaan ayunan dalam hubungan dengan moment sudut adalah :

$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e$$

$$\text{Jika : } \delta = \frac{P}{2} \delta_m \quad \text{dan} \quad \omega = \frac{P}{2} \omega_m$$

Dengan : $\delta =$ Parameter sudut daya listrik

$p =$ Jumlah kutub generator serempak

$\delta_m =$ Sudut daya mekanik

Maka persamaan ayunan dalam hubungan sudut daya listrik :

$$J \omega_m \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = \frac{P}{2} M \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_e$$

Satu konstanta lain yang sering dijumpai dalam kelambanan adalah H didefinisikan :

$$H = \frac{\text{Energi kinetik dalam Mj pada kecepatan serempak}}{\text{Rating Mesin (MVA)}}$$

$$\text{Atau : } H = \frac{\omega_k}{S_B}$$

Sehingga persamaan (2.7) jika diubah dalam satuan perunit (pu) :

$$\frac{2}{P} \frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_{m(PU)} - P_{e(PU)}$$

Dengan : P_m (pu) = Daya Mekanik perunit

P_e (pu) = Daya elektrik perunit.

Hubungan kecepatan putar listrik dan kecepatan putar mekanik :

$$\omega_{sm} = (2/p) \omega_s$$

Sehingga persamaan (2.9) menjadi :

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_{m(Pu)} - P_{e(PU)}$$

Dengan : ω_s = Kecepatan serempak dalam satuan listrik

ω_{sm} = Kecepatan serempak dalam satuan mekanik

Jika persamaan diatas diekspresikan dalam bentuk frekuensi f,

$$\text{Dengan : } \omega_s = 2\pi f$$

Dan subscript perunit dihilangkan, sehingga daya dinyatakan dalam satuan perunit:

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_{m(Pu)} - P_{e(PU)}$$

Bila δ dinyatakan dalam derajat listrik maka :

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e$$

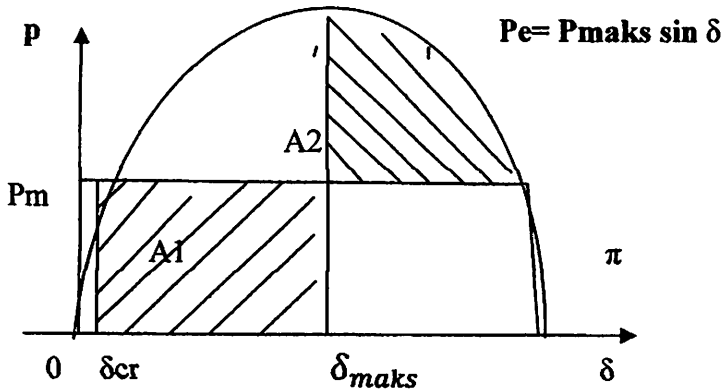
Persamaan (2.12) disebut persamaan ayunan mesin yaitu persamaan dasar yang mengatur dinamika (gerak) perputaran mesin serempak dalam kestabilan peralihan. Kita lihat bahwa persamaan tersebut adalah persamaan diffrensial orde dua yang dapat dituliskan menjadi dua buah persamaan orde satu dengan ω , ω_s .

$$\frac{2H}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

$$\text{Dan } \frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s$$

Grafik dalam penyelesaian persamaan diatas disebut "Kurva Ayunan" (swing curve) mesin, dan dengan meneliti kurva ayunan semua mesin dalam sistem daya yaitu diselesaikan dalam besaran δ terhadap waktu, maka akan terlihat grafik penyelesaian mesin akan tetap serempak sekalipun terjadi gangguan.

2.8 Waktu pemutusan kritis



Gambar 2.7. Lengkung sudut daya yang menunjukkan sudut pemutusan kritis δ_{cr} , Luas A_1 dan A_2 adalah sama.

Pada Gambar 2.7, luas A_1 yang diarsir tergantung pada waktu yang diperlukan untuk menghilangkan gangguan. Jika ada keterlambatan dalam pemutusan gangguan ini, sudut δ_{cr} akan bertambah sehingga luas bagian yang diarsir A_1 dan juga bertambah, untuk mengembalikan rotor pada kecepatan serempak pada sudut ayunan maksimal δ_{maks} yang lebih besar. Jika keterlambatan tersebut di atas diperpanjang sedemikian rupa sehingga sudut rotor δ berayun melebihi sudut δ_{maks} maka kecepatan rotor pada titik itu dalam lengkung sudut daya adalah lebih besar dari kecepatan serempak ketika didapat lagi daya percepatan positif. Dengan adanya pengaruh daya percepatan positif ini, sudut δ akan meningkat tanpa batas dan terjadilah ketidakstabilan. Oleh karena itu kita temukan sudut kritis untuk pemutusan (*clearing*) gangguan disebut sudut pemutusan kritis δ_{cr} (*critical clearing angle*). Sedang waktu kritis yang diperlukan untuk menghilangkan gangguan disebut waktu pemutusan kritis t_{cr} (*critical clearing time*).

Perhitungan untuk sudut pemutusan kritis dan waktu pemutusan kritis sebagai berikut, Luas segi empat A_1 adalah :

$$A_1 = \int_{\delta_0}^{\delta_{cr}} P_m d\delta = P_m (\delta_{cr} - \delta_0)$$

Sedangkan luas A_2 adalah :

$$\begin{aligned} A_2 &= \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{maks}} (P_{maks} \sin \delta - P_m) d\delta \\ &= P_{maks} (\cos \delta_{cr} - \cos \delta_{maks}) - P_m (\delta_{maks} - \delta_{cr}) \end{aligned}$$

Dengan $A_1 = A_2$

$$P_m (\delta_{cr} - \delta_0) = P_{maks} (\cos \delta_{cr} - \cos \delta_{maks}) - P_m (\delta_{maks} - \delta_{cr})$$

$$\text{Atau : } \cos \delta_{cr} = (P_m / P_{maks}) (\delta_{maks} - \delta_0) + \cos \delta_{maks}$$

$$\cos \delta_{maks} = \pi - \delta_0 \text{ rad - listrik}$$

$$P_m = P_{maks} \sin \delta_0$$

Dengan memasukkan δ_{maks} dan P_m ke dalam persamaan (2.28) maka akan diperoleh :

$$\delta_{cr} = \cos^{-1} [(\pi - 2\delta_0) \sin \delta_0 - \cos \delta_0]$$

Sudut pemutusan kritis, nilai δ_{cr} adalah :

$$\delta_{cr} = \frac{\omega_s P_m}{4H} t_{cr}^2 + \delta_0$$

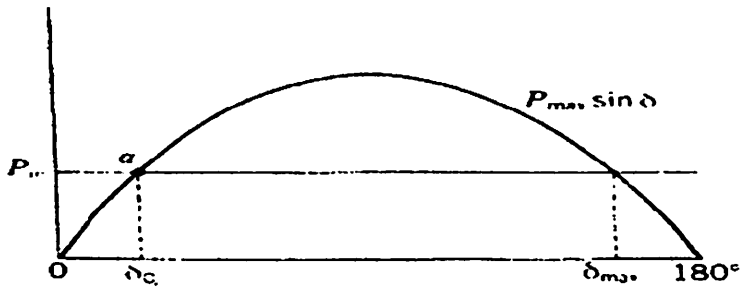
Disini akan diperoleh :

$$t_{cr} = \sqrt{\frac{4H (\delta_{cr} - \delta_0)}{\omega_s P_m}}$$

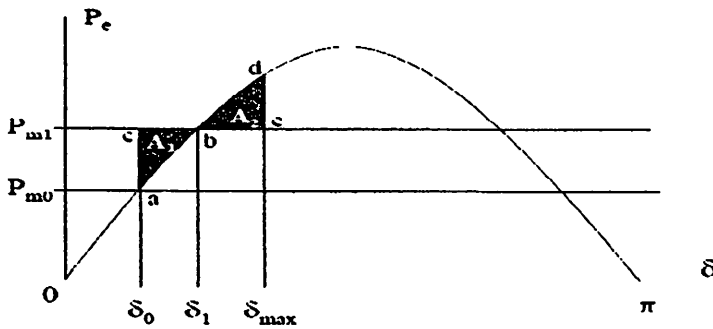
2.9 Kriteria Luas Sama (Equal Area Criterion)

Studi stabilitas transient meliputi penentuan tercapai tidaknya keserempakan setelah mesin mengalami gangguan. Gangguan tersebut dapat berupa pembebanan tiba-tiba, kehilangan pembangkit, kehilangan beban yang besar, ataupun gangguan pada sistem. Keadaan – keadaan fisik sebelum, selama, dan sesudah terjadinya gangguan dapat dimengerti dengan menganalisis lengkungan – lengkungan sudut daya dalam gambar 4. Ini hanya dapat dicapai dengan suatu peningkatan kecepatan yang dihasilkan dari daya percepatan P_m yang konstan. Mesin bekerja pada titik setimbang δ_0 . Pada titik ini daya input mekanik $P_{m0} = P_{e0}$ seperti ditunjukkan pada gambar 5. Penambahan daya input tiba-tiba yang dinyatakan oleh garis horizontal P_{m1} . Dengan $P_{m1} > P_{e0}$, daya percepatan pada rotor adalah positif dan sudut daya δ bertambah. Kelebihan energi yang tersimpan pada rotor selama percepatan awal adalah :

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta = \text{luas abc} = \text{luas } A_1$$



Gambar 2.8. Kriteria luas sama pada kecepatan serempak^[4]



Gambar 2.9. Kriteria luas sama pada perubahan beban mendadak^[4]

Dengan penambahan δ , daya listrik bertambah, dan pada saat $\delta = \delta_1$ maka daya input yang baru adalah P_{m1} . Walaupun daya percepatan adalah nol pada titik ini, rotor berputar di atas kecepatan serempak. Oleh karena itu sudut daya δ dan daya listrik P_e bertambah secara kontinyu. Sekarang $P_m < P_e$ yang menyebabkan motor diperlambat ke arah kecepatan serempak hingga $\delta = \delta_{mak}$, maka kelebihan energi yang tersimpan pada rotor selama perlambatan adalah sebagai berikut :

$$\int_{\delta_1}^{\delta_{mak}} (P_{m1} - P_e) d\delta = \text{luas } bde = \text{luas } A_2$$

Dari persamaan (2) dan (3) didapatkan suatu hubungan :

$$|\text{luas } A_1| = |\text{luas } A_2|$$

2.10 Aplikasi Metode Kriteria Luas Sama pada Gangguan Tiga Fasa

Untuk keandalan yang sempurna, suatu sistem harus dirancang untuk kestabilan peralihan terhadap gangguan tiga fasa pada lokasi yang menimbulkan pengaruh terburuk, dan ini sudah merupakan praktek yang dijalankan secara universal.^[4]

Untuk menentukan sudut dan waktu pemutusan kritis. Diperlukan penyelesaian persamaan ayunan non linear. Dalam hal ini, dimana daya listrik selama gangguan adalah nol penyelesaian analitik untuk *Critical Clearing Time* dapat ditentukan. Sehingga didapatkan persamaannya sebagai berikut :

- Waktu pemutusan Kritis (*Critical Clearing Time*),

$$t_c = \sqrt{\frac{2H(\delta_c - \delta_0)}{\pi \cdot f_0 P_m}}$$

- Sudut Pemutus Kritis,

$$\cos\delta_k = \frac{(P_m / P_{mak})(\delta_{mak} - \delta_0) + r_2 \cos\delta_{mak} - r_1 \cos\delta_0}{r_2 - r_1}$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode yang Digunakan

Dalam analisa kestabilan transient menggunakan acuan standart ANSI/IEEE. Analisa dilakukan dengan *Transient Stability Analysis* yang terdapat di dalam *software ETAP* untuk mengetahui seberapa besar perubahan dan lama waktu kondisi transient saat sistem beroperasi.

3.2 Software ETAP Power Station

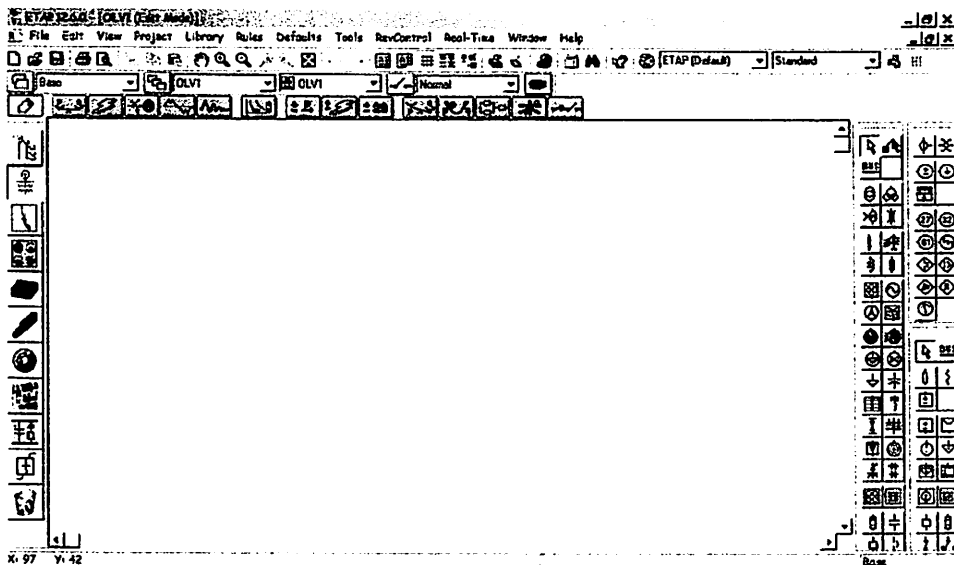
ETAP merupakan software full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisa untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. *ETAP* dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. *ETAP* didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi sistem tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC Networks*), desain jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (*ground grid*), *GIS*, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/DC kontrol sistem diagram (D. William, and Jr. Stevenson, 1990).

ETAP Power Station juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. *Software* ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modeling peralatan dan alat – alat pendukung berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya generator, data motor, data kabel, dll. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan *data base* untuk keperluan itu.

ETAP Power Station dapat digunakan untuk menggambarkan *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *motor starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah: (D.William, and Jr.Stevenson, 1990)

- **One line diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail dan lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- **Standart**, biasanya mengacu pada standart *IEC* atau *ANSI*, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.
- **Data**, kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisa akan sangat membantu hasil simulasi/analisa dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.



Gambar 3.1 Tampilan Utama Software ETAP Power Station

3.3 Load Flow Analysis

Dalam melayani beban yang dibutuhkan oleh consume dan pengoperasian tenaga listrik perlu dilakukan penganalisaan aliran daya, sehingga sistem yang dioperasikan dapat memenuhi persyaratan teknik yang sudah ditetapkan sebelumnya. Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan terhadap tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif, yang terdapat dalam berbagai titik jaringan (D.William, and Jr.Stevenson, 1990).

Tujuan dari analisa aliran daya adalah sebagai berikut :

1. Mencari daya reaktif dan sudut fasa tegangan δ dari generator.
2. Untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada bus.
3. Untuk mengetahui apakah semua peralatan pada sistem memenuhi batas – batas yang telah ditetapkan untuk operasi penyaluran daya.
4. Untuk mengetahui kondisi awal pada sistem.
5. Untuk mengetahui daya yang mengalir di setiap saluran jaringan tenaga listrik.
6. Untuk mengetahui nilai profil tegangan pada setiap bus.

3.3.1 Klasifikasi Bus

Pada setiap bus dari jaringan – jaringan terdapat parameter – parameter yaitu : daya aktif (P), daya reaktif (Q), rating tegangan $|V|$ dalam satuan PU dan sudut fasa tegangan δ .

Dengan melihat parameter di atas, setiap bus dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian :

1. Bus Beban (*Load Bus*) (PQ)

Pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan beban dimana P daya aktif dan Q daya reaktif diketahui, sementara $|V|$ dan δ berubah – ubah menurut kebutuhan. Oleh karena itu, $|V|$ dan δ harus ditentukan (dicari).

2. Bus Generator (PV)

Pada bus ini hanya terdapat daya pembangkit dimana $|V|$ diatur menggunakan regulator tegangan dan P diatur dengan governor. Sehingga untuk bus ini P dan $|V|$ diketahui. Sementara Q (daya reaktif) dan δ (sudut fasa) dicari.

3. Bus Slack

Pada bus ini $|V|$ dan δ sudah ditentukan besarnya sementara P dan Q dihitung. Biasanya nilai $|V|$ adalah 1 pu, sedangkan sudut fasa tegangan δ bernilai nol, karena fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi. Daya total yang mengalir pada setiap bus dituliskan sebagai berikut :

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k \times I_k \dots \dots \dots (3.1)$$

atau

$$P_k + jQ_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \dots \dots \dots (3.2)$$

Dari persamaan $V_k = v_k + j\delta_k$ dan $Y_{k11} = G_{k11} + jB_{k11}$ maka menjadi :

$$P_k - jQ_k - (v_k + j\delta_k) = \sum_{n=1}^N (G_{k11} + jB_{k11})(V_n + j\delta_n) \dots \dots \dots (3.3)$$

Bila dituliskan dalam bentuk real dan imajener maka persamaan di atas menjadi :

$$P_k = \sum_{n=1}^N \{v_k(v_k G_{kn} + \delta_k B_{kn}) + \delta_k(\delta_{kn} G_{kn} - v_k B_{kn})\} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$Q_k = \sum_{n=1}^N \{\delta_k(v_k G_{kn} + \delta_k B_{kn}) - v_k(\delta_{kn} G_{kn} - v_k B_{kn})\} \dots \dots \dots (3.5)$$

(Hadi Saadat, 2004)

3.3.2 Metode Newton Rhapson

Proses yang dilakukan adalah membandingkan antara daya yang ditempatkan berdasarkan data ($P_{k.sched}$ dan $Q_{k.sched}$) dengan daya hasil perhitungan ($P_{k.calc}$ dan $Q_{k.calc}$) menggunakan persamaan (3.4) dan (3.5) di atas. Selisih daya yang diterapkan dan perhitungan (ΔP_k dan ΔQ_k) dihitung dengan persamaan :

$$\Delta P_k = P_{k.sched} - P_{k.calc} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$\Delta Q_k = Q_{k.sched} - P_{k.calc} \dots \dots \dots (3.7)$$

Selisih daya dihitung dengan persamaan (3.5) dan persamaan (3.7) untuk menghitung nilai perubahan parameter tegangan bus, yaitu $\Delta|V_k|$ dan $\Delta|\delta|$, yaitu dengan menggunakan elemen Jacobian, sehingga koreksi terhadap nilai parameter tegangan yang telah ditetapkan nilai awal sebelumnya. Elemen Jacobian sendiri merupakan turunan parsial P dan Q terhadap masing – masing variable pada persamaan (3.4) dan (3.5), yang dalam bentuk matriks dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \dots \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta Q_1 \\ \dots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial V_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial V_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial \delta_{n-1}} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial V_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial V_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial \delta_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_1 \\ \dots \\ \Delta v_{n-1} \\ \Delta \delta_1 \\ \dots \\ \Delta \delta_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_3 \\ J_2 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |v| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.9)$$

Perubahan nilai tegangan bus dijumlahkan dengan nilai tegangan bus sebelumnya, yang kemudian nilai tegangan bus terbaru ini digunakan untuk menghitung kembali daya $P_{k.calc}$ dan $Q_{k.calc}$. Proses ini terus berulang, hal inilah yang disebut iterasi hingga mencapai kondisi dimana nilai perubahan daya ΔP dan ΔQ konvergen mencapai suatu nilai minimum yang telah ditentukan (bekisar 0,001 hingga 0,0001 pu).

Maka kesimpulan dari *Load Flow Analysis* pada *ETAP* adalah : berfungsi untuk menghitung tegangan bus, faktor daya pada cabang – cabang dan daya yang mengalir di seluruh sistem tenaga elektrik. *ETAP* memberikan fasilitas untuk menentukan kondisi *power plant* yang berfungsi sebagai *swing* atau *voltage regulated* dengan beberapa hubungan *power grid* dan generator. *ETAP* memungkinkan melakukan perhitungan analisa aliran daya baik pada *system radial* maupun *system loop* dengan beberapa metode perhitungan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang paling baik (Raj, Pushp. April 2009).

3.4 Transient Stability Analysis

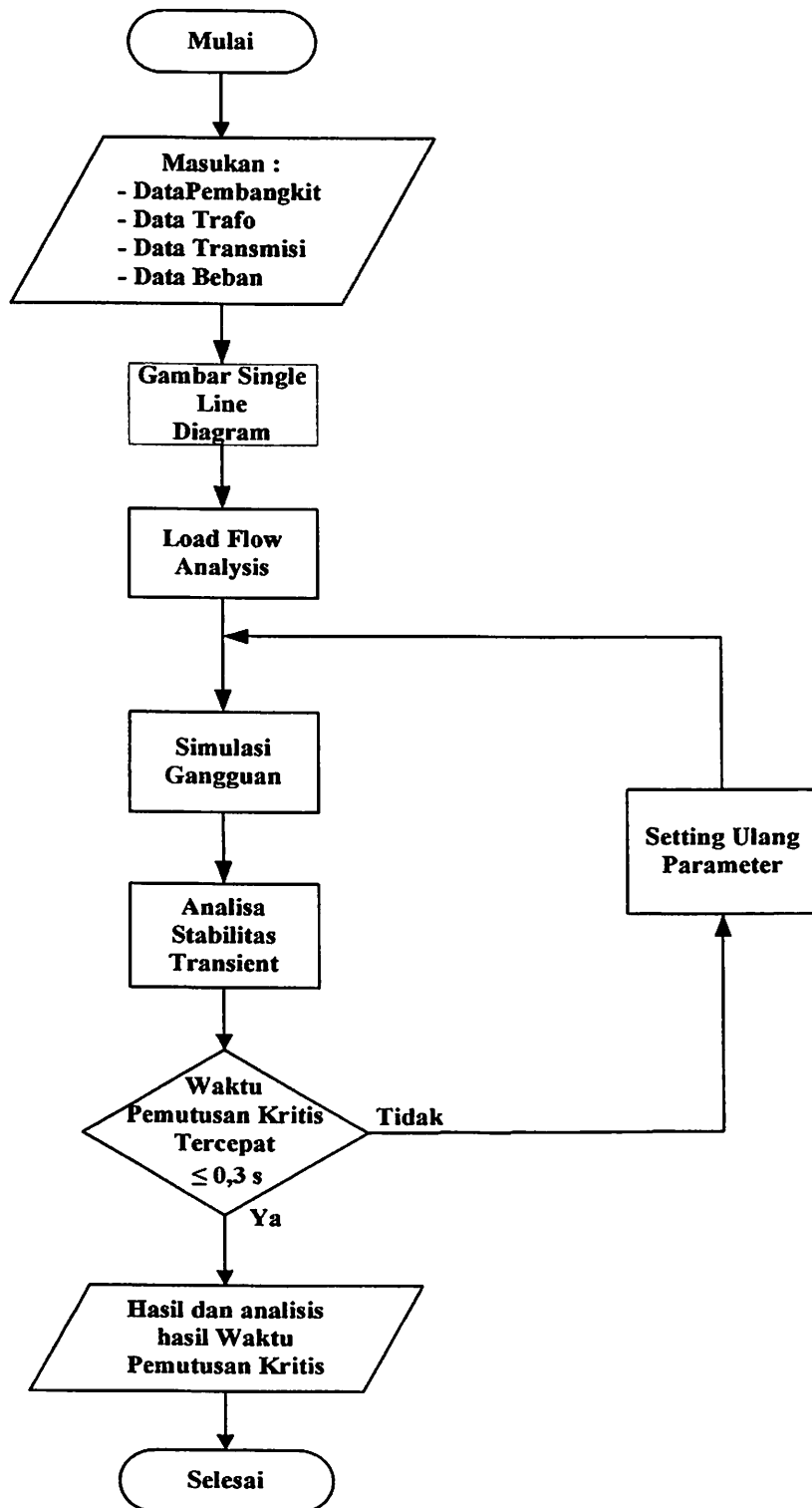
Program *Transient Stability Analysis Power Station* digunakan untuk menyelidiki batas kestabilan sistem tenaga sebelum, selama dan setelah terdapat perubahan sistem atau terdapat gangguan. Program ini memodelkan karakteristik dinamis dan sistem tenaga, menerapkan events dan tindakan yang diinginkan *user*, menyelesaikan persamaan sistem dan persamaan turunan mesin untuk mengetahui respon sistem dan mesin dalam daerah waktu. Dari respon ini *user* dapat menentukan sifat *transient* sistem, membuat perkiraan kestabilan, men-setting peralatan pengaman dan melakukan perbaikan stabilitas sistem.

Keandalan dinamis sangat penting dalam mendesain dan mengoperasikan sistem tenaga. *Transient Stability Analysis* memberikan sudut daya mesin dan simpangan kecepatan, frekuensi sistem, aliran daya aktif dan reaktif dari mesin, aliran daya saluran dan transformator serta level tegangan dari bus dalam sistem. Hasilnya akan ditampilkan pada one-line diagram dan dapat diprint atau diplot. Untuk *Transient Stability Analysis* diperlukan model berbagai grup mesin dalam sistem yang memiliki pengaruh penting dalam operasi sistem tenaga.

3.5 Algoritma Simulasi pada software *ETAP POWER STATION*

1. Start
2. Pengumpulan data yang diambil di PLTD Timor Leste pada saat melakukan penelitian
3. Membuat pemodelan single line diagram sistem 150 kV PLTD Timor Leste pada *software ETAP Power Station*
4. Memasukan semua data yang telah diperoleh ke dalam *single line* yang telah digambarkan pada *ETAP Power Station*
5. Menjalankan program (*load flow*)
6. Melihat apakah ada kesalahan yang terjadi setelah program *load flow* dijalankan
7. Menjalankan program *Transient Stability Analysis* untuk melihat performa generator dan bagaimana kondisi *transient* yang muncul.
8. Menentukan waktu pemutusan kritis apakah setingan *waktu* itu sudah benar, ataukah perlu diseting ulang
9. Kesimpulan dari pengujian yang dilakukan
10. Selesai

3.6 Flowchart (Desain Sistem)

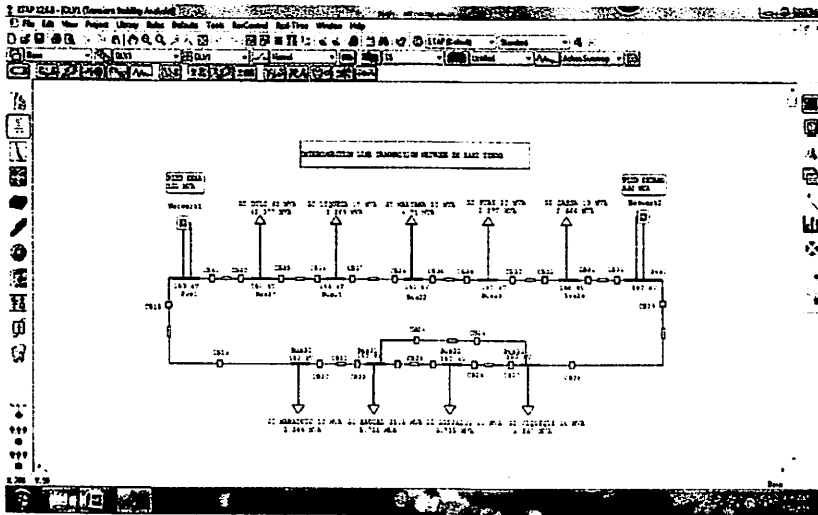


Gambar 3.3
Flowchart

3.7 Perencanaan Simulasi Menggunakan ETAP Power Station

1. Menggambar Single Line Diagram di ETAP Power Station

Menggambar Single Line Diagram pada ETAP didasarkan pada single line diagram sistem 150 kV di PLTD Timor Leste



Gambar 3.4

Single Line Diagram sistem 150 kV PLTD Timor Leste

2. Input data Generator

Synchronous Generator Editor - Gen1

PSS	Harmonic	Protection	Reliability	Fuel Cost	Remarks	Comment	
Info	Rating	Capability	Imp/Model	Grounding	Inertia	Exciter	Governor
15 kV 17 464 MW Swing							
Rating	MW	kV	% PF	MVA	% Eff.	Poles	
	17.464	15	80	21.83	95	12	
		% of Bus kVnom		FLA		RPM	
		100		840.2		500	
Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Omax	Omin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
9 Startup	100	0					
PrimeMover Rating				Mvar Limits			
Continuous		Peak		Capability Curve		Peak Mvar	
HP	MW	HP	MW	User-Defined		10.823	
22899	17.076	22899	17.076				
Operating Values		% V	Angle	MW	Mvar		
		100	0	8 553	7 501		

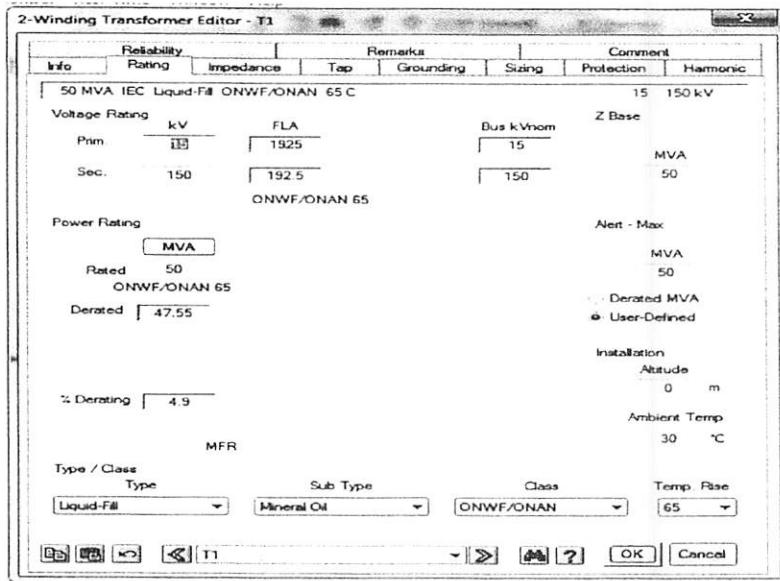
Gen1 OK Cancel

Gambar 3.5

Input Rating Generator

Parameter – parameter yang diinput meliputi kapasitas, faktor daya, impedansi, inersia, tipe exciter, tipe governor dan PSS (*Power System Stabilizer*) saat dibutuhkan untuk meningkatkan kestabilan.

3. Input data Transformator (*Step Up*)

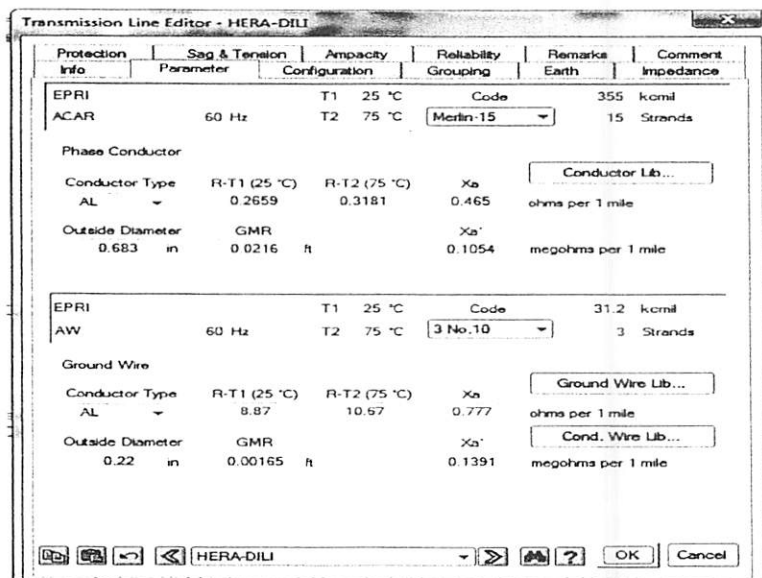


Gambar 3.6

Input Rating Transformator (*Step Up*)

Parameter yang diinput meliputi tegangan sisi primer maupun sekunder, impedansi, tipe grounding.

4. Input data Saluran



Gambar 3.8

Input Parameter Saluran

Parameter yang diinput meliputi tipe konduktor, GMR, GMD, panjang saluran, impedansi, tinggi tower, dsb.

5. Input data Beban


Static Load Editor - GI DILI 63 MVA

Info Loading Cable/Vd Cable Amp Harmonic Reliability Remarks Comment

1 38.14 MW 18.47 Mvar 150 kV Cable Info not available

Ratings

kV	MVA	MW	Mvar	% PF	Amps
150	42.377	38.14	18.47	90	163.1

Grounding  Calculator...

Loading

Loading Category	% Loading	Load		Feeder Loss	
		MW	Mvar	MW	Mvar
1 Design	100	38.139	18.472	0	0
2 Normal	90	34.325	16.625	0	0
3 Brake	80	30.511	14.777	0	0
4 Winter Load	70	26.698	12.93	0	0
5 Summer Load	60	22.884	11.083	0	0
6 FL Reject	50	19.07	9.236	0	0
7 Emergency	40	15.256	7.389	0	0
8 Shutdown	30	11.442	5.542	0	0
9 Accident	20	7.628	3.694	0	0
10 Backup	10	3.814	1.847	0	0

Operating Load: 0 MW -j 0 Mvar

GI DILI 63 MVA

Gambar 3.9
Input data Beban

Transient Stability Study Case

Info Events Plot Dyn Model Adjustment

Study Case ID Initial Load Flow

TS

Adaptive Newton-Raphson Max Iteration 99
 Newton-Raphson Solution Precision 0.0001
 Accelerated Gauss-Seidel
 Apply XFMR Phase-Shift

Loading Category: Design
 Generation Category: Design
 Charger Loading: Loading Category, Operating Load

Operating P, Q
 Operating P, Q, V

Load Diversity Factor: None, Bus Maximum, Bus Minimum, Global
 Initial Voltage Condition: Bus Initial Voltages, User-Defined Fixed Value

Report: Skip Tabulated Plots

Study Remarks

TS Help OK Cancel

Gambar 3.10
Transient Stability Study Case

Pada *Transient Stability Study Case* diinputkan setting waktu dan jenis penyebab timbulnya kondisi *transient*.

BAB IV
ANALISA SISTEM DAN SIMULASI

4.1 Data – data yang dikumpulkan

4.1.1 Data Generator

Tabel 4.1.

Data generator PLTD Hera dan Betano

TYPE					
Type designation : AMG 1600SS12 DSE					
RATINGS					
OUTPUT	21345	kVA	Direction of rotation		
DUTY	S1		(Facing Drive End	CCW	
VOLTAGE	15000	V	Weight	57000	kg
CURRENT	822	A	Inertia	12000	kgm ²
POWER FACTOR	0,80		protection by encloser	IP23	
FREQUENCY	50	Hz	Cooling Method	IC0A1	
SPEED	500	rpm	mounting arrangement	Im7303	
OVER SPEED	600	rpm			
STANDARS					
Appicabel standars			IEC		
Marine Classification			None		
Hazardous area classification			None		
Temperature rise stator/rotor			F/F		
Insulation Class			F		
ENVIRONMENTAL CONDITIONS (max. values)					
Ambient Temperature	50	C	Altitude	1000	masl
Coolant temperature		C			
ASSUMED DATA					
Driving equipmante				Wartsila	18V46
Appr. Mec. Power				17495	kW
EFFICIENCY in %					
	Load	110%	100%	75%	50%
EFFICIENCY @power factor	0.8	97.55	97.61	97.68	97.46
EFFICIENCY @power factor	1	98.22	98.22	98.3	98.11
REACTANCES in %					
$X_D (U) = 204.7$	$X_D (S) = 36.6$	$X_Q' (S) = 25.3$	$X_0 (U) = 8.4$		
$X_Q (U) = 103.5$	$X_D' (S) = 22.3$	$X_2 (S) = 23.8$	$X_P (S) = 30.2$		
$X_1 (U) = 19.4$	(S) = Saturated Value (U) = Unsaturated value				
TIME CONSTANTS (SEC) AT 75 C					
$T_{D0}' = 8.945$	$T_{D'} = 1.758$	$T_{Q0}' = 0.1245$	$T_A = 0.158$		
$T_{D0}'' = 0.02947$	$T_{D}'' = 0.01812$	$T_{Q}'' = 0.0334$			

4.1.2 Data Trafo

Tabel 4.2.

Data trafo step up Hera dan Betano

Kapasitas	50x4 MVA
Tegangan	15 / 150 kV
Phase	3 Phase
Impedansi	8.50%
Tipe pendingin	ONAN
Vektor	D,Yn11
Frekuensi	50 Hz

4.1.3 Data Saluran

Tabel 4.3.

Data saluran transmisi 150 kV Timor Leste

No.	Penghantar	Impedansi Penghantar		Panjang Penghantar (km)
		Total Positive (Ω)	Total Nol (Ω)	
1	Dili - Liquica	0.19 + j 0.67	0.59 + j 1.72	39.98
2	Dili - Hera	0.06 + j 0.23	0.22 + j 0.60	10.19
3	Liquica - Maliana	0.29 + j 1.02	1.55 + j 4.61	46.32
4	Maliana - Suai	0.37 + j 1.32	0.82 + j 4.46	59.93
5	Cassa - Suai	0.25 + j 0.86	0.67 + j 2.03	39.67
6	Betano - Cassa	0.16 + j 0.57	0.43 + j 1.32	26.04
7	Betano - Viqueque	0.54 + j 1.9	1.42 + j 4.55	87.05
8	Manatuto - Hera	1.66 + j 5.05	4.98 + j 23.74	42.06
9	Manatuto - Baucau	0.34 + j 1.18	1.6 + j 5.08	53.91
10	Baucau - Lospalos	0.32 + j 1.08	1.47 + j 4.65	65.4
11	Baucau - Viqueque	0.27 + j 0.97	0.72 + j 2.32	44.42
12	Lospalos - Viqueque	0.51 + j 1.76	1.28 + j 4.18	106.54

4.1.4 Data Beban

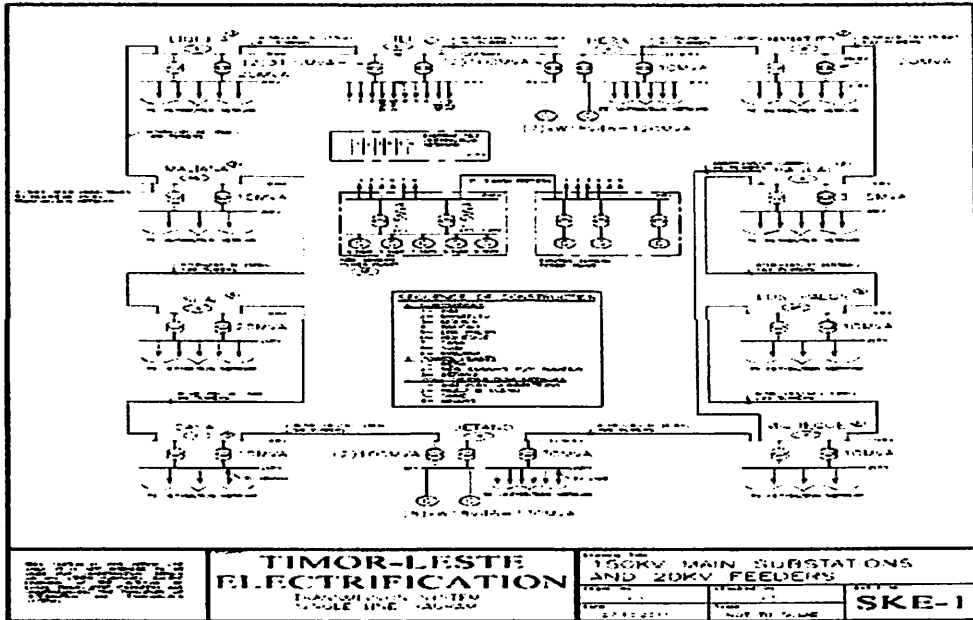
Tabel 4.4.

Data beban terpasang pada 9 gardu induk Timor Leste

Tahun	MVA	MW	MVAR	pF
2014				
Dili	42.38	38.14	18.47	0.9
Liquica	2.21	1.99	0.96	0.9
Maliana	4.71	4.24	2.05	0.9
Suai	2.28	2.05	0.99	0.9
Cassa	2.67	2.4	1.16	0.9
Viqueque	2.87	2.58	1.25	0.9
Lospalos	3.73	3.36	1.63	0.9
Baucau	5.71	5.14	2.49	0.9
Manatuto	2.34	2.11	1.02	0.9

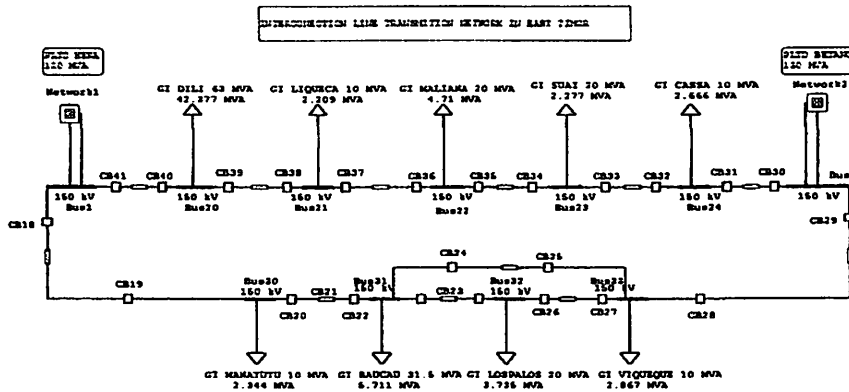
4.1.5. Sistem Kelistrikan PLTD Timor Leste 150 kV

Sistem interkoneksi 150 kV PLTD Timor Leste terdiri atas 11 bus dengan 12 saluran dan 15 generator. Dimana PLTD HERA terdapat 7 generator dan PLTD BETANO terdapat 8 generator. Generator yang terpasang antara lain Gen 1,2,8 dan 9 dimana generator 1 dan 2 dari PLTD HERA dan generator 8 dan 9 dari PLTD Betano. Generator 1 bertindak sebagai Swing dan generator 2, 8 dan 9 bertindak sebagai Voltage Control. Berikut ini adalah gambar . Single line diagram interkoneksi sistem kelistrikan PLTD Timor Leste 150kV yang digunakan untuk analisis kestabilan CCT (*Critical Clearing Time*).



Gambar 4.1

Single line diagram jaringan transmisi 150 kV Timor Leste



Gambar 4.2

Single Line System 150 kV PLTD Timor Leste menggunakan ETAP

4.2. SIMULASI DAN ANALISIS

Setelah menggambarkan pemodelan dan penyederhanaan sistem kelistrikan PLTD Timor Leste 150 kV dalam bentuk *software* ETAP 12.6.0, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi stabilitas transien meliputi hubung singkat yang terdapat di pada jaringan transmisi Hera-Dili di bus 1 yang terhubung antara gardu induk Dili dan Pembangkit Hera. Pada studi kasus ini dijalankan dilengkapi dengan perbandingan gambar respon , kecepatan

(speed), arus generator dan *relative power angle* gambar Hasil simulasi gangguan ditunjukkan pada tabel I..

Tabel I

Hasil analisa waktu pemutusan kritis dan arus gangguan hubung singkat 3 fasa

CCT Pada generator 1				
Titik gangguan	Waktu tidak Stabil (s)	Arus (A)	CCT (s)	Arus (A)
SC BUS 1	0.301-0.306	3487.7-2601.4	0.361	482.8

CCT Pada generator 2				
Titik gangguan	Waktu tidak Stabil (s)	Arus (A)	CCT (s)	Arus (A)
SC BUS 1	0.301-0.306	3538.8-2473.2	0.361	614.6

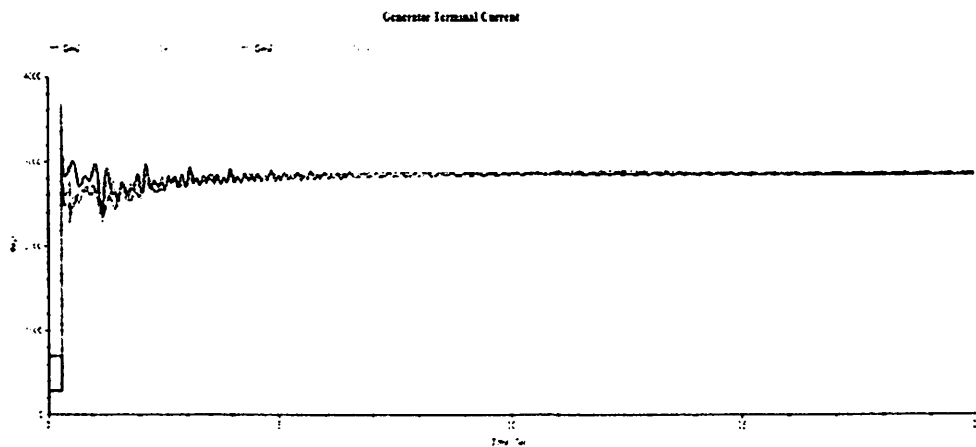
CCT Pada generator 8				
Titik gangguan	Waktu tidak Stabil (s)	Arus (A)	CCT (s)	Arus (A)
SC BUS 1	0.301-0.306	3588.2-2597.4	0.361	668.2

CCT Pada generator 9				
Titik gangguan	Waktu tidak Stabil (s)	Arus (A)	CCT (s)	Arus (A)
SC BUS 1	0.301-0.306	3588.2-2557.6	0.361	668.2

Dengan metode "*trial & error*" dilakukan beberapa pengujian dalam mencari waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*) yaitu waktu antara sistem stabil dan sistem waktu tidak stabil. Waktu stabil merupakan waktu pemutusan saluran dimana sistem terlihat kembali kekeadaan semula atau stabil.

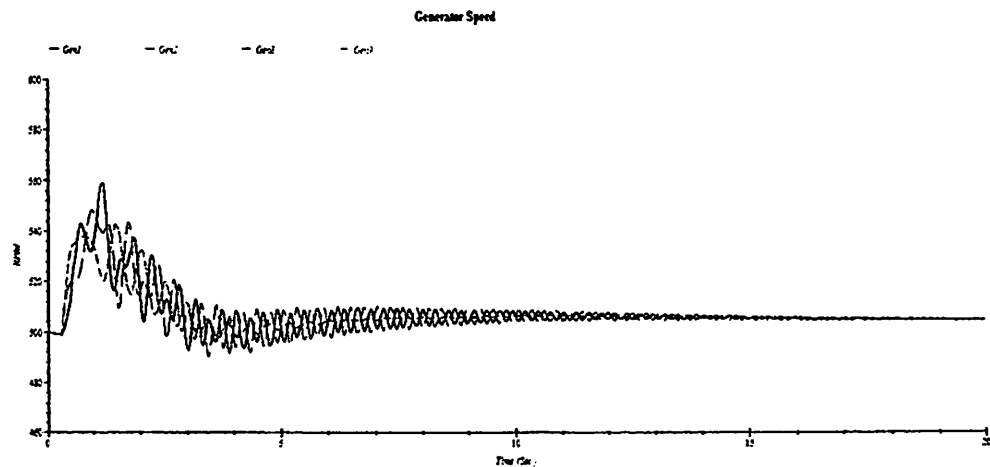
Studi gangguan 3 Fasa di SC Bus1 ($t = 0.03$ s), Waktu Pemutusan Kritis ($t = 0.301-0.306$) Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang paling sering terjadi, sehingga arus gangguan 3 fasa ke tanah mengalami transient pada G1 =

3487.8-2601.6, G2 = 3538.9-2473.2, G8 = 3588.2-2597.4 dan G9 = 3588.2-2557.6. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan sistem keluar dari batas kestabilan. Dalam kasus hubung singkat ini akan dilakukan simulasi dan analisa hubung singkat yang terjadi di saluran antara (Hera-Dili), kemudian menganalisa respon arus generator, kecepatan (*speed*), dan *power angle relative*-nya terhadap kestabilan sistem dari keempat generator tersebut. Pada studi kasus ini waktu pemutusan kritisnya (CCT) pada waktu 0.03 detik. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3



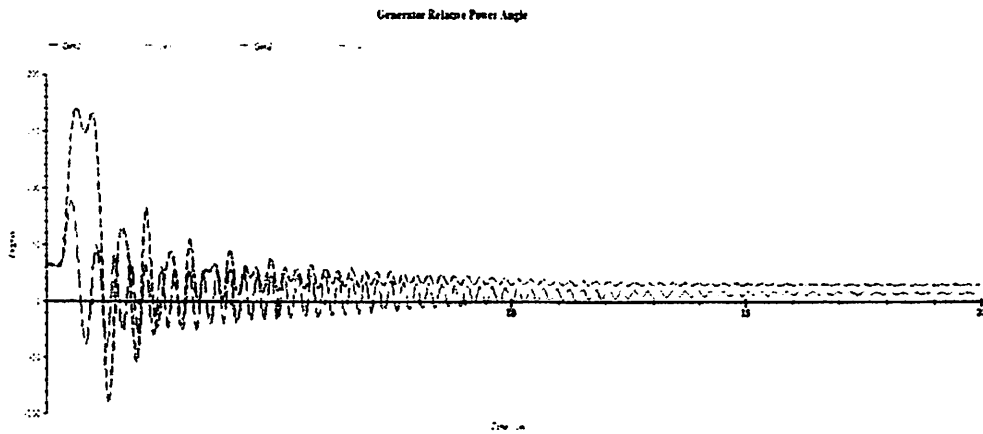
Gambar 4.1.

Perbandingan kurva karakteristik arus generator terhadap Waktu



Gambar 4.2.

Perbandingan kurva karakteristik kecepatan terhadap Waktu



Grafik 4.3.

Perbandingan kurva karakteristik *relative power angle* generator terhadap Waktu

Berdasarkan gambar perbandingan hasil respon di atas, ketika terjadi gangguan tiga fasa pada bus 1 di saluran antara (Hera-Dili) respon kecepatan keempat generator masing-masing generator berisolasi sampai $G_1=547.73$ rpm, $G_2= 550.43$ rpm, G_8 & G_9 adalah sama yaitu 539.84 rpm. Sedangkan pada perbandingan *relative power angle* keempat generator tersebut mengalami isolasi yang berbeda G_1 tidak mengalami isolasi, $G_2= 48.37$ degree, G_8 dan $G_9= 82.9$ degree keadaan ini terus terjadi dan tidak kembali pada posisi normal. Hal ini disebabkan pembebanan generator, inersia dan damping generator masing-masing generator.

Namun pada keadaan stabil waktu pemutusan kritis atau *Critical Clearing Time* (CCT) pada ($t = 0.03$ detik) dengan arus gangguan pada keempat genertor masing-masing mempunyai arus sebesar $G_1=482.8$, $G_2=614.6$, $G_8=668.2$ dan $G_9=668.2$ respon sudut rotor 4 generator tersebut berisolasi namun dapat kembali pada keadaan stabil.

Demikian pula dengan respon kecepatan dan reaktif power angle relative meskipun terjadi isolasi namun kedua parameter tersebut dapat kembali keadaan stabil.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis, maka dalam skripsi ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Gangguan Hubung Singkat yang terjadi di SC Bus1 (Saluran antara Hera - Dili) terlihat dari hasil simulasi respon arus generator, kecepatan dan *relative power angle*, semua generator menjadi tidak stabil dan mampu kembali pada keadaan stabil.
2. Ketika terjadi gangguan tiga fasa pada SC bus 1 di saluran antara (Hera-Dili) perbandingan kecepatan keempat generator masing-masing generator berosilasi sampai $G_1=510.80$ rpm, $G_2=510.60$ rpm, G_8 & G_9 adalah sama yaitu 510,65 rpm. Sedangkan pada perbandingan *power angle relative* keempat generator tersebut mengalami osilasi yang berbeda G_1 tidak mengalami isolasi, $G_2=20.805$ degree, $G_8=30.210$ degree dan $G_9=30,40$ degree.

Perubahan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu diantaranya pembebanan generator, inersia dan damping generator masing-masing generator. Generator yang memiliki inersia dan damping yang besar akan cenderung lebih stabil jika terjadi gangguan dan sebaliknya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stevenson, W.D, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Kamal Idris, Penerjemah, Jakarta : Erlangga. 1984.
- [2] C. Cekmas, *Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta : Andi, 2006.
- [3] S . Sudirham, *Analisis Sistem Tenaga*. Bandung. 2012.
- [4] Kundur, Prabha, dkk, *Definition and Classification of Power System Stability*, IEEE Transactions on Power System, Vol.19, 2004.
- [5] Kundur, Prabha, *Power System Stability and Control*, McGraw Hill, Inc. California, 1994.
- [6] H. Saadat, *Power System Analysis*, Mc Graw Hill, Inc, 1999.
- [7] D. Das, *Electrical Power Systems*, New Delhi : Institute of Technology, 2006.
- [8] B. Boussahoua, and M. Boudour. “CTT evaluation of power system with UPFC by energetic method,” *Journal of Electrical Systems*, Special Issue, No. 1, pp 85 – 88, 2009.
- [9] P. Iyambo, and R. Tzenova. “Transient stability analysis of the IEEE 14 test bus electric power system,” *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 25, No. 3, pp 1 – 7, 2007.



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) jurusan T. Elektro Konsentrasi Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : WILSON GARCIA
NIM : 10.12.001
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISA STABILITAS TRANSIENT UNTUK
MENENTUKAN WAKTU PEMUTUSAN KRITIS
(CRITICAL CLEARING TIME) PADA JARINGAN
TRANSMISI 150 kV. DI PLTD TIMOR LESTE.

No	Penguji	Tanggal	Uraian	Paraf
1	Penguji I	18/08/2015	<ol style="list-style-type: none">1. Abstrak, kata pengantar diperbaiki2. Penulisan daftar pustaka mengikuti kaidah yang berlaku3. Yang anda tulis/teliti adalah skripsi bukan tugas akhir4. Pada batasan masalah tambahkan gangguan yang diberikan, sehingga dilakukan waktu pemutusan kritis5. Setiap gambar, diberikan penjelasan tidak hanya keterangan6. Pemodelan system dalam ETAP tidak relevan dengan kondisi sesungguhnya7. Dasar penentuan (standart IEEE) waktu pemutusan $\leq 0,3s$ dilampirkan	
2	Penguji II	18/08/2015	<ol style="list-style-type: none">1. Kata Pengantar2. Abstrak	

Disetujui :

Dosen Penguji I

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT
NIP.P. 1031400472

Dosen Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini, MT
NIP. P. 1030100371

Mengetahui :

Dosen Pembimbing I

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 1018800190

Dosen Pembimbing II

Bambang Prio Hartono, ST, MT
NIP. Y. 1028400082



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-192/EL-FTI/2015
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Tanggal, 28 Mei 2015

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Choirul Saleh, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : **WILSON GARCIA**
Nim : **1012001**
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

“Semester Genap Tahun Akademik Genap 2014 - 2015”

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST,MT
NIP.P. 1030100358

BERITA ACARA RAPAT PERSETUJUAN JUDUL/PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik





Tanggal :

1.	NIM	1012 001
2.	Nama	Wilsona Gracia
3.	Judul yang diajukan	Perlu dipelajari penyebab transi
4.	Disetujui/Ditolak*	
5.	Catatan:	
6.	Pembimbing yang diusulkan: 1. Ir Cholul Saleh, MT ✓ 2. Ir Bambang Priyo H, MT ✓	
Menyetujui		
1. Koordinator Dosen Kelompok Keahlian		
2. Dosen Kelompok Keahlian (Terlampir)		

* : Coret yang tidak perlu

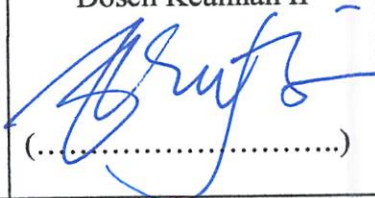
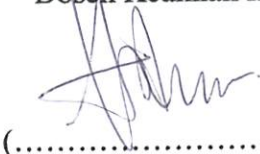




BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1

KONSENTRASI		Energi Listrik		
1.	Nama Mahasiswa	WILSON GARCIA	NIM	1012001
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan			
3.	Judul Skripsi	ANALISA STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU PEMUTUSAN KRITIS (CRITICAL CLEARING TIME) PADA JARINGAN TRANSMISI 150 KV. DI PLTD TIMOR LESTE		
4.	Perubahan Judul		
5.	Catatan :		
		1. Latar Belakang di sempurnakan 2. Kateri single line ?		
6.	Mengetahui, Ketua Jurusan.  <u>M. Ibrahim Ashari, ST, MT</u>	Disetujui, Dosen Pembimbing		
		Pembimbing I Ir. Choirul Saleh, MT	Pembimbing II  Bambang Prio Hartono, ST, MT	



BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

1.	Nim	: 1012001		
2.	Nama	: WILSON GARCIA		
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik		
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat	
	10 April 2015	09:00	III.1.4	
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISA STABILITAS TRANSIENT UNTUK MENENTUKAN WAKTU PEMUTUSAN KRITIS (CRITICAL CLEARING TIME) PADA JARINGAN TRANSMISI 150 KV. DI PLTD TIMOR LESTE		
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
7.	Catatan :			
8.	Catatan :			
	Persetujuan judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian II  (.....)	Disetujui, Dosen Keahlian III  (.....)	
	Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1  M. Ibrahim Ashari ,ST, MT NIP. P 1030100358	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
	Pembimbing I (.....)	Pembimbing II  (.....)		



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
Jl. Raya Karanglo, Km. 2 MALANG

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik, /
T. Elektronika, /T. Komputer, / T.Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:

Nama : Wilson Garcia
NIM : 1012001
Perbaikan Meliputi :

1. Kata Pengantar, Abstrak diperbaiki
2. Penulisan Daftar Pustaka mengikuti kaidah yang berlaku.
3. Yang anda tulis / teliti adalah skripsi bukan tugas Akhir
4. Pada babasan Masalah tambahkan Gangguan yang diberikan, sehingga dilakukan waktu pemutusan bitis.
5. Setiap Gambar, diberikan penjelasan tidak hanya keterangan
6. Penodelan Sistem dalam ETAP tidak relevan dengan kondisi sesungguhnya.
7. Dasar Penentuan (standart IEEE). waktu pemutusan $\leq 0,15s$. ditampirkan.

Malang, 18 Agustus2015


(Luthfi Mahfudz -H.)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
Jl. Raya Karanglo, Km. 2 MALANG

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik,/
T. Elektronika, /T. Komputer, / T.Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:


Nama : Wilson Garcia

NIM : 1012001

Perbaikan Meliputi :

- kata pengantar
- abstrak

Malang, 15.8.2015


(HIRTI AGUSTINI)



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : WILSON GARCIA
 N I M : 101 2001
 Semester : IX (Sembilan)
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-I
 Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
~~TEKNIK ELEKTRONIKA~~
~~TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA~~
~~TEKNIK KOMPUTER~~
~~TEKNIK TELEKOMUNIKASI~~
 Alamat : Jl. Golf No.15 TASIKMADU

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

- | | |
|--|---------|
| 1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya | (.....) |
| 2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja | (.....) |
| 3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB)sesuai konsentrasinya | (.....) |
| 4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E | (.....) |
| 5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan | (.....) |
| 6. Memenuhi persyaratan administrasi | (.....) |

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas
 Recording Teknik Elektro S-I

Malang,.....201
 Pemohon

(Handwritten signature)
 (..p..)

(Handwritten signature)