



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI ANALISA KESTABILAN TEGANGAN PADA
SALURAN TRANSMISI SISTEM JAWA TIMUR SUBSISTEM
PAITON - GRATI DENGAN MENGGUNAKAN *LINE
COLLAPSE PROXIMITY INDEX***

Sugiyanto
NRP. 2215105033

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**THE STUDY OF VOLTAGE STABILITY ANALYSIS ON
TRANSMISSION LINE SYSTEM PAITON-GRATI
SUBSYSTEM IN EAST JAVA USING LINE COLLAPSE
PROXIMITY INDEX METHOD**

Sugiyanto
NRP. 2215105033

Advisor
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Studi Analisa Kestabilan Tegangan Pada Saluran Transmisi Sistem Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati Dengan Menggunakan *Line Collapse Proximity Index*”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Sugiyanto
NRP:2215 105 033

**STUDI ANALISA KESTABILAN TEGANGAN PADA SALURAN
TRANSMISI SISTEM JAWA TIMUR SUBSISTEM PAITON –
GRATI DENGAN MENGGUNAKAN LINE COLLAPSE
PROXIMITY INDEX**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 196404051990021001

Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP. 196509011991032002



STUDI ANALISA KESTABILAN TEGANGAN PADA SALURAN TRANSMISI SISTEM JAWA TIMUR SUBSISTEM PAITON – GRATI DENGAN MENGUNAKAN *LINE COLLAPSE PROXIMITY INDEX*

Nama : Sugiyanto
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRAK

Stabilitas tegangan menjadi salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik. Fenomena tegangan jatuh harus dihindari dan kejadian tersebut dapat disebabkan oleh beberapa kondisi seperti pembebanan yang tinggi, kontingensi, atau gangguan yang lain. Pada Tugas Akhir ini, stabilitas tegangan sistem tenaga listrik 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati pada tanggal 10 Februari 2017 akan dianalisa dengan *Fast Voltage Stability Index (FVSI)*, *Line Stability Factor (LQP)* dan *Line Collapse Proximity Index (LCPI)*. *Fast Voltage Stability Index (FVSI)* adalah indeks stabilitas tegangan yang mengacu pada saluran sistem, *Line Stability Factor (LQP)* didapat dari formulasi faktor-faktor stabilitas saluran pada sistem berdasarkan konsep transmisi tenaga pada sebuah saluran dan *Line Collapse Proximity Index (LCPI)* mengabaikan reaktansi line charging dalam menurunkan persamaannya. Reaktansi line charging saluran ini dapat berpengaruh terhadap stabilitas tegangan. Pada sistem Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati menghasilkan indeks FVSI, LQP dan LCPI kurang dari satu. Pada saat beban jam 19.30 diperoleh nilai indeks FVSI sebesar 0,07857, LQP sebesar 0,09848 dan LCPI sebesar 0,11547.

Kata Kunci : Kestabilan tegangan, *Fast Voltage Stability Index (FVSI)*, *Line Stability Factor (LQP)*, *Line Collapse Proximity Index (LCPI)*, Sistem kelistrikan Jawa Timur subsistem Paiton – Grati 150 kV 2017.



Halaman ini sengaja dikosongkan

***THE STUDY OF VOLTAGE STABILITY ANALYSIS ON
TRANSMISSION LINE SYSTEM PAITON-GRATI
SUBSYSTEM IN EAST JAVA USING LINE COLLAPSE
PROXIMITY INDEX METHOD***

Name : Sugiyanto
Advisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Advisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRACT

The voltage stability becomes one of the factors that need to be considered in the planning and operation of electric power systems. The phenomenon of voltage collapse should be avoided and the event may be caused by several conditions such as over load, Contingency or other disorders. In this Final Project, the voltage stability of the power system of East Java Paiton - Grati Subsystem 150 kV on 10 February 2017 will be analyzed with Fast Voltage Stability Index (FVSI) and Line Stability Factor (LQP). Fast Voltage Stability Index (FVSI) Is a voltage stability index that refers to the system channel, Line Stability Factor (LQP) obtained from the formulation of line stability factors on the system based on the concept of power transmission line and Line Collapse Proximity Index (LCPI) ignores the reactance of line charging in deriving the equation. This channel line charging reactance can have an effect on voltage stability. In the East Java system, the Paiton - Grati Subsystem produces less than one from FVSI, LQP and LCPI index. At the load time in o'clock of 19.30 obtained FVSI index value at 0,07857, LQP index value at 0,09848 and LCPI index at 0,11547.

Keywords : voltage stability, Fast Voltage Stability Index (FVSI), Line Stability Factor (LQP), Line Collapse Proximity Index (LCPI), the power system of east java subsystem Paiton-Grati 150kV – 2017.



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *Robbil 'Alamin*, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

Studi Analisa Kestabilan Tegangan Pada Saluran Transmisi Sistem Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati Dengan Menggunakan *Line Collapse Proximity Index*

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada Departemen Teknik Elektro, jurusan Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, terutama Ayah dan Ibu tercinta penulis yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T. dan Ibu Ir. Ni Ketut Aryani, M.T. selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah banyak memberikan bantuan, pengetahuan, dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. .Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro ITS, serta Bapak Dedet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1.
4. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Elektro ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh kuliah.
5. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro ITS, terutama teman-teman Lintas Jalur angkatan 2015 Jurusan Teknik Elektro ITS dan seluruh asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik yang telah memberikan saran dan motivasi serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu .

Besar harapan penulis agar buku Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan informasi bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman

JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	1
1.3. Batasan Masalah	1
1.4. Tujuan dan Manfaat	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika Penulisan	3

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1. Pembangkit Listrik	5
2.1.2. Transmisi Tenaga Listrik	6
2.1.2.1. Saluran Transmisi Pendek (<i>Short Line</i>)	7
2.1.2.2. Saluran Transmisi Menengah (<i>Medium Line</i>)	8
2.1.2.3. Saluran Transmisi Panjang (<i>Long Line</i>)	11
2.1.2.4. Jenis-jenis Menara/Tower Listrik	13
2.1.3. Distribusi Tenaga Listrik	13
2.1.4. Beban Listrik	14
2.1.4.1. Beban Resistif	14
2.1.4.2. Beban Kapasitif	14
2.1.4.3. Beban Induktif	14
2.2. Studi Aliran Daya	15
2.3. Definisi Daya	15
2.3.1. Daya Aktif (<i>Active Power</i>)	16
2.3.2. Daya Reaktif (<i>Reactive Power</i>)	16

2.3.3. Daya Nyata (<i>Apparent Power</i>)	17
2.4. Faktor Daya ($\cos \varphi$)	19
2.5. Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik	20
2.6. Definisi Kestabilan Tegangan.....	20
2.7. ETAP 12.6.0 Power Station.....	21
2.8. <i>Fast Voltage Stability Index</i> (FVSI).....	22
2.9. <i>Line Stability Factor</i> (LQP)	25
2.10. <i>Line Collapse Proximity Index</i> (LCPI).....	25
2.11. Keseimbangan Beban	27

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN JAWA TIMUR SUBSISTEM PAITON - GRATI

3.1. Sistem Kelistrikan Jawa Timur Subsistem Paiton-Grati 150 kV... 29	
3.2. <i>Flowchart</i>	40

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1. Data Simulasi	41
4.2. Sistem Tenaga Listrik Jawa Timur	41
4.3. Simulasi dan Analisa pada Sistem Jawa Timur	42

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	61

DAFTAR PUSTAKA	63
RIWAYAT HIDUP	65
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Sistem tenaga listrik.....	5
Gambar 2.2. Saluran transmisi pendek (<i>Short line</i>).....	7
Gambar 2.3. Rangkaian T.....	8
Gambar 2.4. Rangkaian Phi.....	10
Gambar 2.5. Saluran transmisi panjang (<i>long line</i>).....	11
Gambar 2.6. Arah aliran arus listrik.....	16
Gambar 2.7. Penjumlahan trigonometri daya aktif, reaktif dan semu.....	17
Gambar 2.8. Hubungan bintang (<i>wye</i>).....	18
Gambar 2.9. Hubungan delta.....	19
Gambar 2.10. Level tegangan.....	20
Gambar 2.11. Representasi model sistem tenaga listrik 2 bus.....	22
Gambar 2.12. Saluran transmisi sederhana.....	26
Gambar 2.13. Sistem yang seimbang.....	28
Gambar 2.14. Frekuensi sistem menurun.....	28
Gambar 2.15. Frekuensi sistem meningkat.....	28
Gambar 3.1. Sistem interkoneksi 150 kV Jwa Timur Subsystem Paiton - Grati.....	29
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> pengerjaan tugas akhir.....	40
Gambar 4.1. Grafik FVSI 3 periode beban (a) Sal 1-15 (b) 16-30	50
Gambar 4.2. Grafik LQP 3 periode beban (a) Sal 1-15 (b) Sal 16-30.	51



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Data impedansi saluran sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton - Grati	29
Tabel 3.2. Data pembangkitan sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton - Grati.	31
Tabel 3.3. Data transformator sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton - Grati	31
Tabel 3.4. Data bebab jam 02.00.....	34
Tabel 3.5. Data beban jam 08.30.....	36
Tabel 3.6. Data beban jam 19.30.....	38
Tabel 4.1. Aliran daya jam 02.00	42
Tabel 4.2. Aliran daya jam 08.30	43
Tabel 4.3. Aliran daya beban jam 19.30.....	44
Tabel 4.4. Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 02.00	46
Tabel 4.5. Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 08.30	47
Tabel 4.6. Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 19.30	49
Tabel 4.7. Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 02.00 saat saluran Purwosari – pakis lepas.....	52
Tabel 4.8. Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 08.30 saat saluran Gondang Wetan – Bangil lepas	53
Tabel 4.9. Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 19.30 saat saluran Banyuwangi – Genteng lepas	54
Tabel 4.10. Perhitungan LCPI pada jam 02.00.....	55
Tabel 4.11. Perhitungan LCPI pada jam 08.30.....	56
Tabel 4.12. Perhitungan LCPI pada jam 19.30.....	57
Tabel 4.13. Perhitungan LCPI pada jam 02.00 saat saluran Purwosari – Pakis lepas	58
Tabel 4.14. Perhitungan LCPI pada jam 08.30 saat saluran Gondang Wetan – Bangil lepas	59
Tabel 4.15. Perhitungan LCPI pada jam 19.30 saat saluran Banyuwangi – Genteng lepas	60



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stabilitas tegangan mencerminkan kemampuan sistem menjaga nilai tegangannya pada kondisi normal ataupun setelah terjadi gangguan. Selain disebabkan oleh gangguan, penambahan beban dan perubahan konfigurasi sistem juga dapat mempengaruhi stabilitas tegangan sistem tenaga listrik. Ketidakstabilan tegangan terjadi ketika nilai tegangan pada sisi penerima akan turun dari batas normalnya, dan hal tersebut dapat menuntun pada kondisi yang dinamakan *voltage collapse*. Tegangan akan turun pada titik terendah, sehingga dapat menimbulkan terjadinya *black out* sistem secara keseluruhan ataupun parsial.

Analisis stabilitas tegangan diperlukan saat perencanaan ataupun operasi sistem tenaga listrik. Apabila terdapat perubahan konfigurasi sistem yang tidak disengaja seperti terjadinya kontingensi, tentunya kemungkinan besar stabilitas tegangan sistem tidak akan sama dengan kondisi normal. Contohnya adalah lepasnya saluran atau generator dapat mengakibatkan turunnya kemampuan stabilitas tegangan. Analisa kestabilan tegangan pada tugas akhir ini akan menggunakan metode *line collapse proximity index*.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mencari bus yang tegangannya turun pada saluran transmisi 150 kV sistem Jawa Timur subsistem Paiton - Grati.
2. Bagaimana menganalisis kestabilan tegangan berdasarkan *Fast Voltage Stability Index (FVSI)*, *Line Stability Factor (LQP)*, *Line Collapse Proximity Index (LCPI)* pada sistem Jawa Timur subsistem Paiton - Grati.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Tugas akhir ini menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan *load flow*.
2. Analisa kestabilan tegangan dilakukan di saluran transmisi sistem Jawa Timur subsistem Paiton – Grati.

3. Analisa *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP) dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI) pada sistem Jawa Timur subsistem Paiton - Grati.
4. Analisis difokuskan pada bus yang mengalami *voltage collapse*.
5. Pembahasan mencakup masalah stabilitas *steady state* sistem transmisi Jawa Timur subsistem Paiton – Grati.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini yaitu dengan adanya tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP) dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI). Sehingga tegangan pada bus tersebut sesuai dengan tegangan terima yang diinginkan.

Hasil yang diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dapat memberikan manfaat, yaitu diharapkan dapat menjadi masukan dikesokan hari jika ingin melakukan penambahan beban pada saluran tersebut.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dan studi literatur
Penulis melakukan pengambilan data berupa data pembangkitan generator, transformator, impedansi saluran, beban, dan sistem kelistrikan jawa timur subsistem paiton – grati dan studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang pengumpulan data untuk bisa dipelajari dalam pengerjaan dan penelitian tugas akhir.
2. Pemodelan dan simulasi
Pemodelan ini akan menggunakan *software* simulasi ETAP 12.6.0. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan *single line diagram* pada *software* simulator. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik profil tegangan pada sistem kelistrikan Jawa Timur subsistem Paiton - Grati.
3. Analisa *load flow* dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Data yang telah didapatkan dari hasil *load flow*

kemudian dimasukkan ke dalam Excel untuk mendapatkan indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP) dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI).

4. Penarikan kesimpulan dan penulisan buku laporan dari hasil analisa data yang sudah dirunning dari ETAP 12.6.0 yang dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan. Dan tahap terakhir yaitu penulisan buku tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibagi kedalam 5 bab, yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang landasan teori yang terdiri dari sistem tenaga listrik, sistem transmisi tenaga listrik, aliran daya, kestabilan sistem tenaga listrik, teori *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP) dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI).

BAB III : SISTEM KELISTRIKAN JAWA TIMUR SUBSISTEM PAITON-GRATI


Pada bab ini dijelaskan tentang pemodelan sistem dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0, data-data kelistrikan yang terdiri dari data pembangkitan, data saluran dan data beban, konfigurasi serta hal-hal yang berkaitan dengan operasi sistem kelistrikan Jawa Timur Subsistem Paiton - Grati 150 kV. Bab ini juga menjelaskan metodologi simulasi yang dilakukan.

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bab ini dijelaskan tentang hasil simulasi ETAP 12.6.0 dan *load flow* beserta analisa-analisanya mengenai perhitungan *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP) dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI).

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil seluruh rangkaian studi kasus yang telah dilakukan.

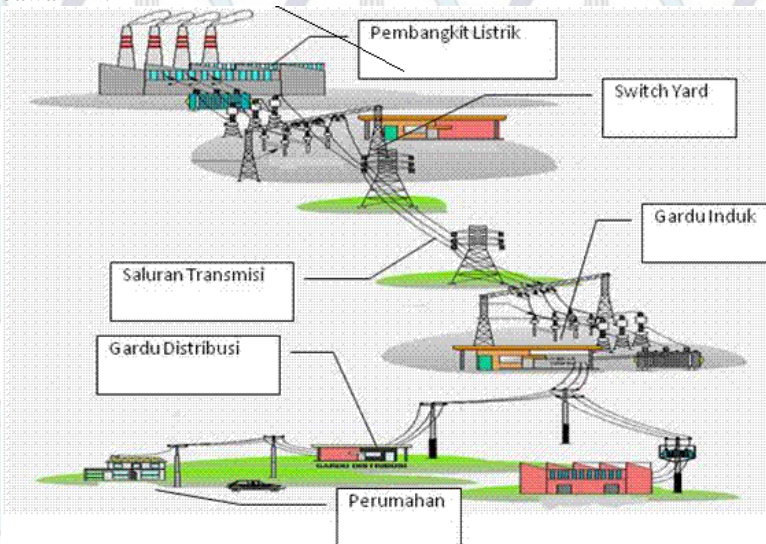


Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem tenaga listrik yang mempunyai fungsi untuk membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkitan sampai dengan ke pelanggan. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat digambarkan dengan skema gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik

Komponen utama dalam sistem tenaga listrik yaitu sebagai berikut:

1. Pembangkit listrik
2. Transmisi tenaga listrik
3. Distribusi tenaga listrik
4. Beban listrik

2.1.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik merupakan bagian utama dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah energi primer menjadi energi

listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain : transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi/tegangan tinggi (150 kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Generator merupakan komponen utama dari pembangkit yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pembangkit konvensional mencakup :

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
6. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Selain pembangkit listrik konvensional tersebut, saat ini telah dikembangkan beberapa teknologi konversi untuk sumber daya energi baru seperti : biomassa, solar, limbah, angin gelombang laut dan sebagainya.

Pada pembangkit terdapat governor yang berfungsi untuk mengatur bahan bakar pada PLTD, PLTG, PLTU atau debit air pada PLTA agar putaran generator tetap sehingga frekuensi tegangan keluaran generator tetap. Selain governor juga terdapat *Automatic Voltage Regulator (AVR)* untuk mengatur tegangan eksitasi generator agar didapatkan tegangan output generator yang sesuai.

2.1.2 Transmisi Tenaga Listrik

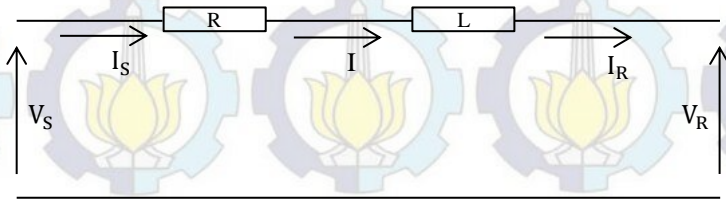
Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban. Pusat pembangkit pada umumnya jauh dari konsumen sehingga dibutuhkan jaringan transmisi. Pada saluran transmisi terdapat rugi rugi daya dan drop tegangan yang besarnya sebanding dengan panjang saluran. Oleh karena itu pada saluran transmisi digunakan tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi untuk meminimalisir rugi-rugi saluran. Besar tegangan saluran transmisi yang digunakan di Indonesia yaitu 70 kV, 150 kV dan 500 kV. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator sebelum memasuki saluran transmisi harus melalui trafo step up untuk menaikkan tegangan sehingga sama dengan saluran transmisi. Berdasarkan panjangnya, saluran transmisi dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu sebagai berikut ini:

1. Saluran transmisi pendek (*Short line*)

2. Saluran transmisi menengah (*Medium line*)
3. Saluran transmisi panjang (*Long line*)

2.1.2.1 Saluran transmisi pendek (*Short line*)

Saluran transmisi pendek (*Short line*) merupakan saluran transmisi yang memiliki panjang kurang dari atau sama dengan 50 *mile* (80 Km). Gambar rangkaian saluran transmisi pendek (*Short line*) yaitu sebagai berikut ini :



Gambar 2.2 Saluran transmisi pendek (*Short line*)

Keterangan gambar:

V_S = Tegangan sisi kirim (Volt).

I_S = Arus sisi kirim (Ampere).

V_R = Tegangan sisi terima (Volt).

I_R = Arus sisi terima (Ampere).

$Z = (R + jX_L)$ = Impedansi saluran (Ohm).

P_S = Daya sisi kirim (Watt)

P_R = Daya sisi terima (Watt)

η = Efisiensi (%)

Pada rangkaian diatas dapat diselesaikan seperti halnya rangkaian AC seri sederhana yang dimodelkan dengan nilai R dan L. Karena tidak terdapat cabang parallel (*shunt*), arus pada ujung pengirim (I_S) sama dengan arus ujung penerima (I_R).

$$I_S = CV_R + DI_R \quad (2.1)$$

Tegangan pada sisi pengirim dirumuskan sebagai berikut:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad (2.2)$$

Dengan parameter saluran sebagai berikut :

$$A = 1 \quad B = Z$$

$$C = 0 \quad D = 1$$

Daya pada sisi kirim dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_s = V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi \quad (2.3)$$

Daya pada sisi terima dirumuskan sebagai berikut :

$$P_R = V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi \quad (2.4)$$

Efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut :

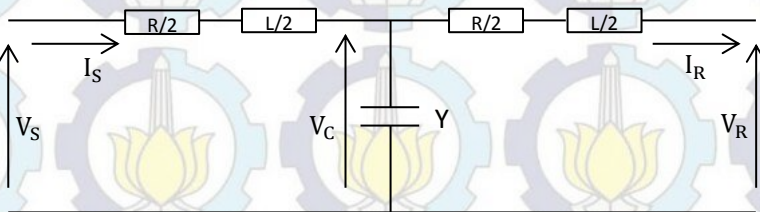
$$\eta = \frac{P_R}{P_s} \times 100 \% \quad (2.5)$$

2.1.2.2 Saluran transmisi menengah (*Medium line*)

Saluran transmisi menengah (*Medium line*) merupakan saluran transmisi yang mempunyai panjang saluran antara 50 *mile* (80 Km) sampai dengan 150 *mile* (250 Km). Saluran transmisi menengah (*Medium line*) dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu sebagai berikut:

1. Saluran transmisi menengah (*Medium line*) dengan rangkaian T adalah saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada satu titik dan impedansi serinya terbagi menjadi dua pada kedua cabang serinya.
2. Saluran transmisi menengah (*Medium line*) dengan rangkaian Phi (π) yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada dua titik dan impedansi serinya dipusatkan satu titik pada cabang serinya.

Saluran transmisi menengah (*Medium line*) menggunakan rangkaian T



Gambar 2.3 Rangkaian T

Keterangan gambar:

V_s = Tegangan sisi kirim (Volt).

I_s = Arus sisi kirim (Ampere).

V_R = Tegangan sisi terima (Volt).

I_R = Arus sisi terima (Ampere).

$Z = (R+jX_L) =$ Impedansi saluran (Ohm).

P_S = Daya sisi kirim (Watt)

P_R = Daya sisi terima (Watt)

η = Efisiensi (%)

Tegangan pada sisi pengirim dirumuskan sebagai berikut:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad (2.6)$$

Arus pada sisi pengirim dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_S = CV_R + DI_R \quad (2.7)$$

Dengan parameter saluran sebagai berikut :

$$A = D = 1 + \frac{1}{2} YZ$$

$$B = Z \left(1 + \frac{1}{4} YZ \right)$$

$$C = Y$$

$$Y = j\omega C$$

Daya pada sisi kirim dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_S = V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \quad (2.8)$$

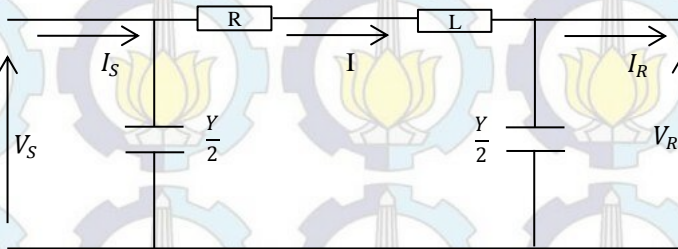
Daya pada sisi terima dirumuskan sebagai berikut :

$$P_R = V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi \quad (2.9)$$

Efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \% \quad (2.10)$$

Saluran transmisi menengah (*Medium line*) menggunakan rangkaian Phi (π)



Gambar 2.4 Rangkaian Phi (π)

Keterangan gambar:

- V_S = Tegangan sisi kirim (Volt).
- I_S = Arus sisi kirim (Ampere).
- V_R = Tegangan sisi terima (Volt).
- I_R = Arus sisi terima (Ampere).
- $Z = (R + jX_L)$ = Impedansi saluran (Ohm).
- P_S = Daya sisi kirim (Watt)
- P_R = Daya sisi terima (Watt)
- η = Efisiensi (%)

Tegangan pada sisi pengirim dirumuskan sebagai berikut:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad (2.11)$$

Arus pada sisi pengirim dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_S = CV_R + DI_R \quad (2.12)$$

Dengan parameter saluran sebagai berikut :

$$A = D = 1 + \frac{1}{2} YZ$$

$$B = Z$$

$$C = Y \left(1 + \frac{1}{4} YZ \right)$$

$$Y = j\omega C$$

Daya pada sisi kirim dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_S = V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \quad (2.13)$$

Daya pada sisi terima dirumuskan sebagai berikut :

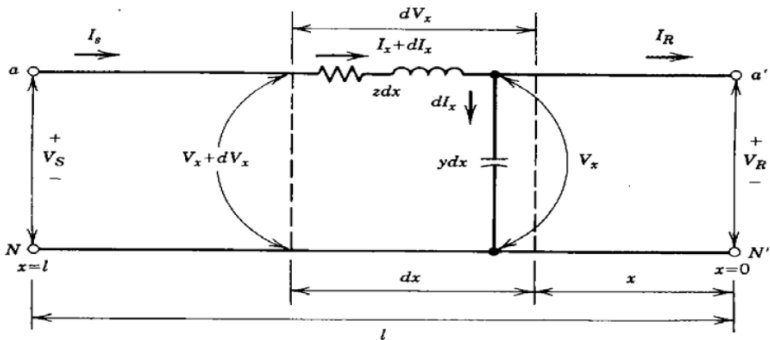
$$P_R = V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi \quad (2.14)$$

Efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \% \quad (2.15)$$

2.1.2.3 Saluran transmisi panjang (*Long line*)

Saluran transmisi panjang (*Long line*) merupakan saluran transmisi yang mempunyai panjang lebih dari atau sama dengan 150 *mile* (250 Km). Rangkaian T dan Phi (π) tidak dapat merepresentasikan saluran transmisi panjang (*Long line*) dengan baik, karena rangkaian tersebut tidak memperhitungkan kenyataannya bahwa besaran saluran tersebut tersebar merata. Gambar rangkaian saluran transmisi pendek (*Long line*) yaitu sebagai berikut ini :



Gambar 2.5 Saluran transmisi panjang (*Long line*)

Keterangan gambar:

V_S = Tegangan sisi kirim (Volt).

I_S = Arus sisi kirim (Ampere).

V_R = Tegangan sisi terima (Volt).

I_R = Arus sisi terima (Ampere).

$Z = (R+jX_L) =$ Impedansi saluran (Ohm).

P_S = Daya sisi kirim (Watt)

P_R = Daya sisi terima (Watt)

η = Efisiensi (%)

Tegangan pada sisi pengirim dirumuskan sebagai berikut:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad (2.16)$$

Arus pada sisi pengirim dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_S = CV_R + DI_R \quad (2.17)$$

Dengan parameter saluran sebagai berikut :

$$A = D = 1 + \frac{1}{2} YZ$$

$$B = Z \left(1 + \frac{1}{6} YZ \right)$$

$$C = Y \left(1 + \frac{1}{6} YZ \right)$$

$$Y = j\omega C$$

Daya pada sisi kirim dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_S = V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \quad (2.18)$$

Daya pada sisi terima dirumuskan sebagai berikut :

$$P_R = V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi \quad (2.19)$$

Efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \% \quad (2.20)$$

2.1.2.4 Jenis - jenis Menara/Tower Listrik

Menurut fungsinya, menara/tower listrik dibagi menjadi tujuh (7) macam, yaitu sebagai berikut :

1. *Dead end* tower, merupakan tiang akhir yang berlokasi didekat Gardu Induk (GI), tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya tarik.
2. *Section* tower, merupakan tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan kawat), pada umumnya tower ini memiliki sudut belokan yang kecil.
3. *Suspension* tower, merupakan tower penyangga, tower ini hampir sepenuhnya menanggung daya berat, pada umumnya tower ini tidak memiliki sudut belokan.
4. *Tension tower*, merupakan tower penegang, tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar dari pada gaya berat, pada umumnya tower ini memiliki sudut belokan.
5. *Transposision* tower, merupakan tower *tension* yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa untuk memperbaiki impedansi pada transmisi.
6. *Gantry* tower, merupakan tower berbentuk portal yang digunakan pada persilangan antara dua saluran transmisi. Tower ini dibangun di bawah saluran transmisi existing.
7. *Combined* tower, merupakan tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.

2.1.3 Distribusi Tenaga Listrik

Distribusi merupakan komponen yang mempunyai berfungsi mendistribusikan energi listrik ke tempat konsumen energi listrik. Jaringan distribusi berfungsi mendistribusikan tenaga listrik ke pelanggan seperti (pabrik, industri, perumahan dan lain - lainnya). Listrik yang berasal dari saluran transmisi dengan tegangan tinggi atau ekstra tinggi, pada gardu induk diubah menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer, yang selanjutnya diturunkan lagi menjadi tegangan rendah. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, sedangkan tegangan rendah 220/330 Volt. Pelanggan dengan daya besar seperti pabrik, pusat perbelanjaan atau perkantoran disambungkan langsung dari tegangan menengah (20 kV). Sedangkan pelanggan seperti perumahan menggunakan saluran tegangan rendah (220/380 Volt).

2.1.4 Beban Listrik

Beban listrik merupakan peralatan listrik yang terletak di konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut. Dalam sistem tenaga listrik beban dapat diklasifikasikan menjadi tiga (3) macam yaitu:

1. Beban resistif
2. Beban kapasitif
3. Beban induktif

2.1.4.1 Beban Resistif

Beban resistif merupakan suatu resistor murni, contoh dari beban resistif yaitu lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-*phasa*.

2.1.4.2 Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor (C). Beban kapasitif (C) memiliki faktor daya antara 0 sampai dengan 1 "*leading*". Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar ϕ° . Besarnya reaktansi kapasitif (X_C) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (2.21)$$

Keterangan :

X_C = Reaktansi kapasitansi (Ohm)

f = Frekuensi (Hertz)

C = Kapasitansi (Farad)

2.1.4.3 Beban Induktif

Beban induktif merupakan beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya diinti besi, contoh dari beban induktif yaitu motor listrik, induktor dan transformator. Beban induktif memiliki faktor daya antara 0 sampai dengan 1 "*lagging*". Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar ϕ° . Besarnya reaktansi induktif (X_L) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (2.22)$$

Keterangan :

X_L = Reaktansi induktansi (Ohm)

f = Frekuensi (Hertz)

L = Induktansi (Henry)

2.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga listrik adalah studi yang sangat penting. Studi aliran daya menceritakan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu sistem bekerja saat kondisi normal (*steady state*). Studi aliran daya juga dapat memberikan suatu informasi mengenai keadaan beban pada saluran transmisi di dalam sistem tenaga listrik, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga listrik dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (*real power*) dan daya reaktif (*reactive power*) di berbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal. Studi aliran daya merupakan studi yang penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada.

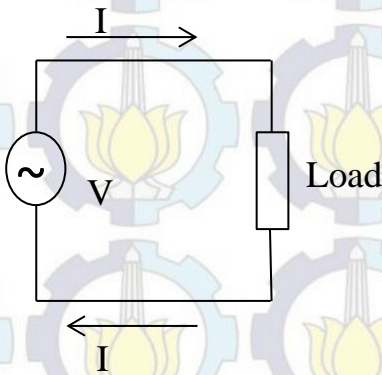
2.3 Definisi Daya

Dalam sistem tenaga listrik, daya adalah jumlah energi yang digunakan untuk melakukan usaha atau kerja. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt (W) atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* adalah satuan dari daya listrik dimana 1 HP sama dengan 746 Watt (W) atau lbft/second. Sedangkan Watt (W) adalah daya listrik dimana 1 Watt (W) mempunyai daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 Ampere (A) dan tegangan 1 Volt (V). Daya dinyatakan dalam bentuk P, Tegangan dinyatakan dalam bentuk V dan Arus dinyatakan dalam bentuk I, sehingga besarnya daya dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$P = V \cdot I$$

$$P = \text{Volt} \cdot \text{Ampere} \cdot \cos \phi$$

$$P = \text{Watt (W)} \quad (2.23)$$



Gambar 2.6 Arah aliran arus listrik

Daya dapat dikelompokkan menjadi tiga (3) macam, yaitu sebagai berikut :

1. Daya aktif (*active power*)
2. Daya reaktif (*reactive power*)
3. Daya nyata (*apparent power*)

2.3.1 Daya Aktif (*Active Power*)

Daya aktif (*active power*) merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif (*active power*) adalah Watt (W). Contohnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lainnya. Daya aktif (*active power*) ini digunakan secara umum oleh pelanggan dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Satuan daya aktif (*active power*) adalah Watt. Rumus daya aktif (*active power*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.24)$$

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (2.25)$$

Dimana P adalah daya aktif (watt) dan $\cos \varphi$ adalah power faktor :

- a. *Lagging* (tertinggal) untuk rangkaian induktif
- b. *Leading* (mendahului) untuk rangkaian kapasitif

2.3.2 Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif (*reactive power*) merupakan penjumlahan daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk *fluks* medan magnet. Sebagai

contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lainnya. Satuan daya reaktif (*reactive power*) adalah Var. Rumus dari daya reaktif (*reactive power*) sebagai berikut :

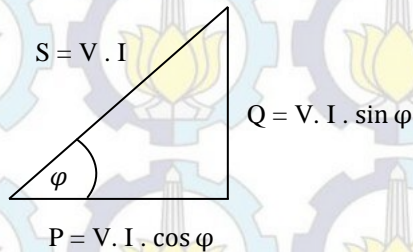
$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.26)$$

$$Q = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad (2.27)$$

Dimana Q adalah daya reaktif (Var), nilai Q akan positif (+) untuk beban induktif dan negatif (-) untuk beban kapasitif.

2.3.3 Daya Nyata (*Apparent Power*)

Daya nyata (*apparent power*) merupakan daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif (*active power*) dan daya reaktif (*reactive power*). Satuan daya nyata (*apparent power*) adalah VA. Gambar segitiga dayanya seperti berikut :



Gambar 2.7 Penjumlahan trigonometri daya aktif, reaktif dan semu

$$S = P + jQ, \text{ memiliki nilai/besar dan sudut} \quad (2.28)$$

$$S = S \angle \varphi \quad (2.29)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \varphi \quad (2.30)$$

Untuk mendapatkan daya satu (1) phasa, maka dapat diturunkan persamaannya seperti di bawah ini :

$$S = P + jQ \quad (2.31)$$

Dari gambar diatas terlihat bahwa

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.32)$$

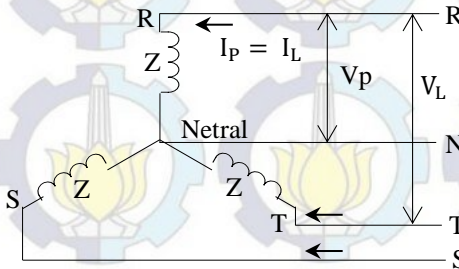
$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.33)$$

Maka dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{1\varphi} &= V \cdot I \cdot \cos \varphi + j V \cdot I \cdot \sin \varphi \\ &= V \cdot I \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi) \\ &= V \cdot I \cdot e^{j\varphi} \\ &= V \cdot I \angle \varphi \\ &= V \cdot I^* \end{aligned} \quad (2.34)$$

Sedangkan untuk rangkaian tiga (3) fasa memiliki dua (2) bentuk hubungan yaitu :

Hubungan Wye (Y)



Gambar 2.8 Hubungan bintang (wye)

Dimana :

$$V_{RS} = V_{RT} = V_{ST} = V_L ; \text{Tegangan antar fasa} \quad (2.35)$$

$$V_{RN} = V_{SN} = V_{TN} = V_P ; \text{Tegangan fasa} \quad (2.36)$$

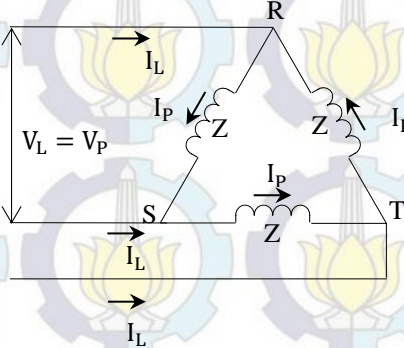
$$I_R = I_S = I_T = I_L(I_P) ; \text{Arus fasa/Arus saluran} \quad (2.37)$$

Bila I_L adalah arus saluran dan I_P adalah arus fasa, maka akan berlaku hubungan :

$$I_L = I_P \quad (2.38)$$

$$V_L = 3V_P \quad (2.39)$$

Hubungan Delta (Δ)



Gambar 2.9 Hubungan delta

Dimana :

$$I_{RS} = I_{ST} = I_{TR} = I_P; \text{ Arus fasa} \quad (2.40)$$

$$I_R = I_S = I_T = I_L; \text{ Arus saluran} \quad (2.41)$$

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L(V_P); \text{ Tegangan antar fasa} \quad (2.42)$$

Bila V_L adalah tegangan antar fasa dan V_P adalah tegangan fasa, maka akan berlaku hubungan :

$$V_L = V_P \quad (2.43)$$

$$I_L = 3I_P \quad (2.44)$$

Dari kedua gambar rangkaian di atas, untuk mendapatkan daya tiga (3) fhasanya maka dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$S_{(3\phi)} = 3 \cdot V_L \cdot I_L \quad (2.45)$$

2.4 Fator Daya ($\cos \varphi$)

Faktor daya ($\cos \varphi$) adalah sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC

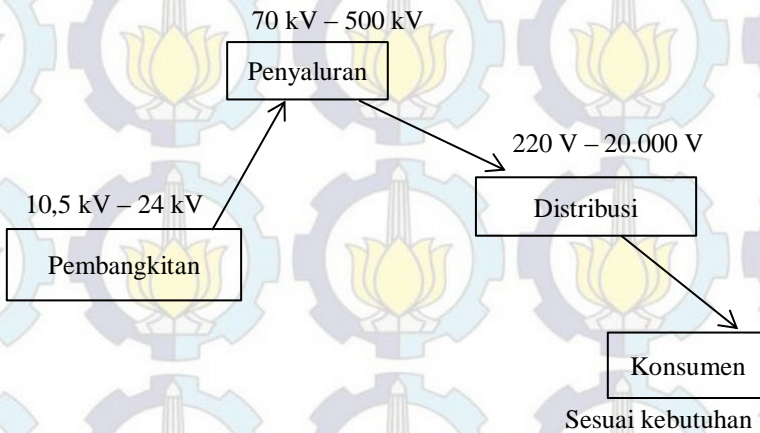
atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$. Rumus faktor daya ($\cos \varphi$) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P) dibagi Daya Nyata (S)} \\ &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V \cdot I \cdot \cos \varphi / V \cdot I \\ &= \cos \varphi \end{aligned} \quad (2.46)$$

Faktor daya ($\cos \varphi$) memiliki nilai *range* antara nol (0) sampai dengan satu (1) dan dapat dinyatakan juga dalam bentuk persen (%). Faktor daya ($\cos \varphi$) yang baik apabila mempunyai nilai mendekati satu (1).

2.5 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik, tegangan yang digunakan pada masing-masing peralatan dapat berbeda - beda sesuai dengan kebutuhannya. Dengan kata lain, setiap peralatan pada sistem tenaga listrik mempunyai level tegangan yang berbeda - beda.



Gambar 2.10 Level tegangan

2.6 Definisi Kestabilan Tegangan

Stabilitas tegangan dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk menjaga nilai tegangan sistem pada kondisi normal dan dalam keadaan gangguan. Terdapat dua jenis stabilitas tegangan berdasarkan waktu simulasinya: stabilitas tegangan statis dan stabilitas tegangan dinamis. Analisis dinamis digunakan untuk studi stabilitas

transien dengan memperhatikan dinamika beban dan generator. Analisis statis menggunakan persamaan aljabar yang secara komputasional lebih mudah dibanding analisis dinamis. Analisis statis lebih ideal untuk studi batas stabilitas tegangan pada kasus sebelum kontingensi dan setelah kontingensi suatu sistem. Analisis stabilitas tegangan secara statis berdasarkan perhitungan kurva, atau pada singularnya matrik Jacobian pada aliran daya.

2.7 ETAP 12.6.0 Power Station

ETAP 12.6.0 Power Station merupakan *software* untuk menganalisa *power system* yang bekerja berdasarkan *plant (project)*. Setiap *plant* harus menyediakan *modelling* peralatan dan alat – alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya data generator, data motor, data kabel, dan lain sebagainya. Sebuah *plant* terdiri dari subsistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. ETAP 12.6.0 Power Station dapat melakukan penggambaran *single line diagram (SLD)* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa atau studi yakni Aliran Daya (*Load Flow*), Hubung Singkat (*Short Circuit*), motor *starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan kabel *derating*. Selain itu ETAP 12.6.0 Power Station juga dilengkapi dengan fasilitas *library* yang akan memudahkan dalam mendesain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini berisi data peralatan yang biasa beredar dipasaran sehingga dapat membantu dalam menentukan spesifikasi peralatan yang belum diketahui. *Library* ini dapat diedit atau ditambahkan dengan informasi peralatan yang dibutuhkan.

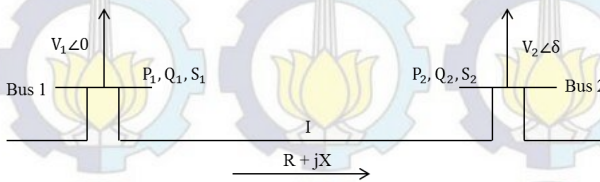
Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan ETAP 12.6.0 Power Station adalah sebagai berikut :

1. *Single Line Diagram (SLD)*, menunjukkan hubungan antar peralatan/komponen sistem tenaga listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
2. *Library*, informasi mengenai semua komponen/peralatan yang akan digunakan dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari komponen/peralatan yang lengkap dan detail dapat mempermudah dan memperbaiki analisa/simulasi.

3. Standar yang digunakan, biasanya mengacu pada standar ANSI atau IEC, frekuensi sistem, satuan yang digunakan dan metode – metode yang akan digunakan.
4. *Study case*, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.
 Kelengkapan data dari setiap peralatan/komponen/elemen listrik pada sistem yang akan dianalisa akan sangat membantu hasil simulasi/analisa untuk dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.

2.8 Fast Voltage Stability Index (FVSI)

Kondisi stabilitas tegangan pada sistem tenaga dapat ditunjukkan dengan indeks kestabilan tegangan. *Fast Voltage Stability Index (FVSI)* merupakan salah satu indeks kestabilan tegangan berdasarkan saluran dimana berawal dari persamaan arus untuk membuat persamaan kuadrat daya atau tegangan. Kriteria yang diinginkan dari metode ini adalah diskriminan akar-akar dari persamaan kuadrat daya atau tegangan mempunyai nilai lebih besar dari nol. Ketika diskriminan bernilai lebih kecil dari nol, akan menyebabkan akar-akar persamaan kuadrat menjadi imajiner yang mana dapat membuat ketidakstabilan tegangan dan dapat menimbulkan *voltage collapse* pada sistem. Apabila indeks saluran yang didapat bernilai mendekati 1 maka mengindikasikan batas dari ketidakstabilan tegangan.



Gambar 2.11 Representasi model sistem tenaga listrik 2 bus

Fast Voltage Stability Index (FVSI) didapat dengan model sistem tenaga dengan dua bus seperti pada Gambar 2.11. Mengacu pada Gambar 2.11, terdapat beberapa keterangan sebagai berikut:

- V_1, V_2 = Tegangan pada sisi pengirim (bus 1) dan sisi penerima (bus 2)
- P_1, Q_1 = Daya aktif dan daya reaktif pada sisi pengirim (bus 1)
- P_2, Q_2 = Daya aktif dan daya reaktif pada sisi penerima (bus 2)

$S_1, S_2 =$ Daya semu pada sisi pengirim (bus 1) dan daya semu pada sisi penerima (bus 2)

$\delta = \delta_1 - \delta_2 =$ perbedaan sudut antara sisi pengirim (bus 1) dan sisi penerima (bus 2). Dengan mengasumsikan sisi penerima (bus 1) sebagai referensi, misalkan besar $\delta_1 = 0$ dan $\delta_2 = \delta$, maka persamaan arus (I) didefinisikan seperti pada persamaan (2.47) dibawah ini:

$$I = \frac{V_1 \angle 0 - V_2 \angle \delta}{R + jX} \quad (2.47)$$

Dengan impedansi saluran bernilai $Z = R + jX$. Sedangkan daya semu (*apparent power*) pada sisi penerima (bus 2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_2 = V_2 \cdot I^* \quad (2.48)$$

Persamaan (2.48) dapat pula ditulis seperti persamaan (2.49) sebagai berikut:

$$I = \left(\frac{S_2}{V_2}\right)^* = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2 \angle -\delta} \quad (2.49)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.47) dan persamaan (2.49), maka didapatkan persamaan (2.50) atau persamaan (2.51) yang direpresentasikan:

$$\frac{V_1 \angle 0 - V_2 \angle \delta}{R + jX} = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2 \angle -\delta} \quad (2.50)$$

$$(V_1 V_2 \angle -\delta) - V_2^2 \angle 0 = (R + jX)(P_2 - jQ_2) \quad (2.51)$$

Persamaan (2.51) dipisahkan bagian real dan imajiner, sehingga didapat:

$$V_1 V_2 \cos \delta - V_2^2 = R P_2 + X Q_2 \quad (2.52)$$

$$-V_1 V_2 \sin \delta = X P_2 - R Q_2 \quad (2.53)$$

Persamaan (2.53) secara matematis dapat mendefinisikan besarnya P_2 . Kemudian dapat disubstitusikan pada persamaan (2.52) menjadi persamaan kuadrat untuk tegangan V_2 seperti dituliskan pada persamaan (2.54):

$$V_2^2 - \left(\frac{R}{X} \sin \delta + \cos \delta\right) V_1 V_2 + \left(X + \frac{R^2}{X}\right) Q_2 = 0 \quad (2.54)$$

Nilai akar dari persamaan (2.54), dengan rumus abc akan didapatkan persamaan (2.55):

$$V_2 = \frac{\left(\frac{R}{X} \sin \delta + \cos \delta\right) V_1 \pm \sqrt{\left[\left(\frac{R}{X} \sin \delta + \cos \delta\right) V_1\right]^2}}{2} \quad (2.55)$$

Untuk mendapatkan nilai V_2 yang positif, maka terdapat syarat diskriminan dari persamaan (2.54) bernilai lebih besar atau sama dengan nol. Nilai diskriminan dapat dituliskan pada persamaan (2.56) dan penjabaran lebih lanjut menghasilkan persamaan (2.57):

$$\left[\left(\frac{R}{X} \sin \delta + \cos \delta\right) V_1\right]^2 - 4 \left(X + \frac{R^2}{X}\right) Q_2 \geq 0 \quad (2.56)$$

$$\frac{4Z^2 Q_2 X}{(V_1)^2 (R \sin \delta + X \cos \delta)^2} \leq 1 \quad (2.57)$$

Besarnya δ sangat kecil atau dapat dikatakan $\delta \approx 0$, sehingga nilai $R \sin \delta \approx 0$ dan $X \cos \delta \approx X$. Dengan simbol i menggantikan bus penerima dan j menggantikan bus pengirim, maka didapat *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) seperti persamaan (2.58) berikut:

$$FVSI_{ij} = \frac{4z^2 Q_j}{V_i^2 X} \quad (2.58)$$

Keterangan:

Z = Impedansi saluran (Ohm)

X = Reaktansi saluran (Ohm)

Q_j = Daya reaktif pada sisi penerima (Var)

V_i = Tegangan pada sisi pengirim (Volt)

2.9 Line Stability Factor (LQP)

Indeks stabilitas tegangan lainnya, yaitu *Line Stability Factor* (LQP) diproposalkan oleh A Mohamed et al, yang didapat dari formulasi faktor-faktor stabilitas saluran pada sistem berdasarkan konsep transmisi tenaga pada sebuah saluran. Persamaan untuk menghitung *Line Stability Factor* (LQP) adalah:

$$LQP = 4 \left(\frac{X}{V_i^2} \right) \left(\frac{XP_i^2}{V_i^2} + Q_j \right) \quad (2.59)$$

Keterangan:

X = Reaktansi saluran (Ohm)

P_i = Daya aktif pada sisi pengirim (Watt)

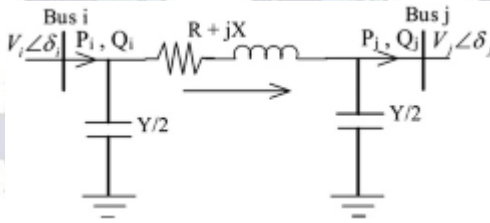
V_i = Tegangan pada sisi pengirim (Volt)

Q_j = Daya reaktif pada sisi penerima (Var)

Karakteristik nilai indeks *Line Stability Factor* (LQP) sama dengan indeks-indeks yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu nilai *Line Stability Factor* (LQP) harus dijaga pada nilai kurang dari 1 untuk menjaga kestabilan tegangan.

2.10 Line Collapse Proximity Index (LCPI)

Indeks LCPI mengabaikan reaktansi line charging dalam menurunkan persamaannya. Reaktansi line charging saluran ini dapat berpengaruh terhadap stabilitas tegangan. Indeks ini juga mengabaikan arah aliran daya aktif pada saluran sesuai dengan aliran daya reaktif. Dengan keterbatasan ini, indeks LCPI dikembangkan tidak hanya didasarkan pada model saluran transmisi tetapi juga mencakup efek aliran daya reaktif maupun aliran daya aktif pada stabilitas tegangan sistem. Model saluran transmisi yang biasanya digambarkan oleh rangkaian ekuivalen dua port dengan menggunakan matriks ABCD. Oleh karena itu, indeks yang diusulkan diturunkan dengan menggunakan parameter ABCD saluran transmisi. Model pie dari saluran transmisi dari dua sistem bus ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Saluran transmisi sederhana

Hubungan antara parameter jaringan dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} V_i \\ I_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_j \\ I_j \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

Dimana A, B, C dan D dikenal sebagai parameter transmisi dari saluran dua port dan dapat dinyatakan sebagai berikut

$$A = (1 + Z.Y/2) \quad (2.61)$$

$$B = Z \quad (2.62)$$

$$C = Y.(1 + Z.Y/4) \quad (2.63)$$

$$D = A \quad (2.64)$$

Dimana Z dan Y masing-masing menunjukkan impedansi dan line charging.

Arus di ujung penerima dinyatakan

$$I_j = (P_j - jQ_j)/V_j^* = (P_j - jQ_j)/V_j \angle -\delta_j \quad (2.65)$$

Dimana P_j dan V_j masing-masing adalah daya aktif dan tegangan pada ujung penerima.

Dengan menggunakan Pers. (2.60) tegangan sisi pengirim (V_i) salurandapat ditulis sebagai

$$V_i \angle \delta_i = A \angle \alpha^* V_j \angle \delta_j + B \angle \beta^* I_j \angle 0^0 \quad (2.66)$$

Dimana A dan B adalah besaran magnitudo sedangkan a dan b adalah sudut fasa dari masing-masing parameter A dan B.

Dengan mensubstitusikan nilai I_j dari Pers. (2.65) ke Pers. (2.66) kita dapatkan

$$V_i \angle \delta_i = A \angle \alpha^* V_j \angle \delta_j + B \angle \beta^* (P_j - jQ_j) / V_j \angle -\delta_j \quad (2.67)$$

Dengan menata ulang persamaan 11, dihasilkan

$$V_i V_j \angle \delta = A \angle \alpha^* V_j^2 + B \angle \beta^* (P_j - jQ_j) \quad (2.68)$$

Dimana

$$\delta = \delta_i - \delta_j \quad (2.69)$$

Dengan memisahkan Pers. (2.68) menjadi bagian real dan imajiner, kita mendapatkan persamaan kuadrat berikut dari bagian realnya

$$V_j^2(A \cos \alpha) - V_j(V_i \cos \delta) + (P_j B \cos \beta + Q_j B \sin \beta) = 0 \quad (2.70)$$

Akar persamaan kuadratnya menjadi

$$V_j = \frac{-V_i \cos \delta \pm \sqrt{(V_i \cos \delta)^2 - 4A \cos \alpha (P_j B \cos \beta + Q_j B \sin \beta)}}{2A \cos \alpha} \quad (2.71)$$

Untuk menemukan nilai V_j real dan nol-nol, Persamaan. (2.71) harus memiliki akar nyata dan non-nol, yang dapat diperoleh dengan menetapkan diskriminan Persamaan. (2.71) lebih besar dari nol, misalnya

$$(V_i \cos \delta)^2 - 4A \cos \alpha (P_j B \cos \beta + Q_j B \sin \beta) > 0 \quad (2.72)$$

Berdasarkan persamaan (2.72), dapat disimpulkan bahwa kondisi berikut harus dipenuhi untuk menghindari jatuh tegangan pada sistem:

$$\frac{4A \cos \alpha (P_j B \cos \beta + Q_j B \sin \beta)}{(V_i \cos \delta)^2} < 1 \quad (2.73)$$

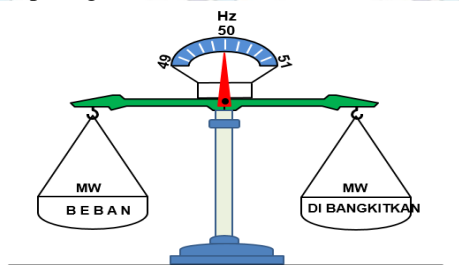
Line Collapse Proximity Index (LCPI) didefinisikan sebagai berikut

$$LCPI = \frac{4A \cos \alpha (P_j B \cos \beta + Q_j B \sin \beta)}{(V_i \cos \delta)^2} \quad (2.74)$$

Untuk menjaga stabilitas tegangan sistem, indeks yang diinginkan harus kurang dari satu (1).

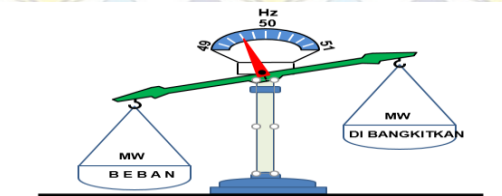
2.11 Keseimbangan Beban

Daya yang digunakan maupun dibangkitkan sangat besar sehingga tidak memungkinkan dalam suatu sistem tenaga listrik untuk menyimpan daya listrik yang sangat besar tersebut. Sehingga daya yang dibangkitkan pada sistem tenaga listrik harus sama dengan daya yang diserap oleh beban atau mencapai kesetimbangan. Sistem yang mencapai kesetimbangan dapat diilustrasikan pada neraca kesetimbangan seperti gambar dibawah ini.



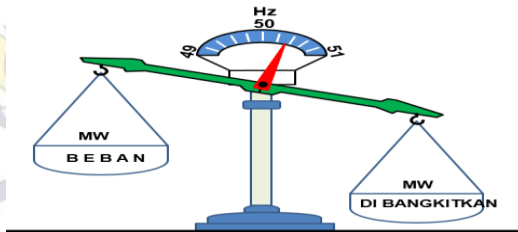
Gambar 2.13 Sistem yang seimbang

Saat daya beban lebih besar daripada daya yang terbangkit maka frekuensi sistem akan menjadi menurun atau kurang dari frekuensi seharusnya yaitu (50 Hz untuk di Indonesia) dan dapat ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 2.14 Frekuensi sistem menurun

Sedangkan saat daya yang terbangkit lebih besar daripada daya beban frekuensi sistem akan meningkat dari frekuensi yang diinginkan. Keadaan tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.15 Frekuensi sistem meningkat

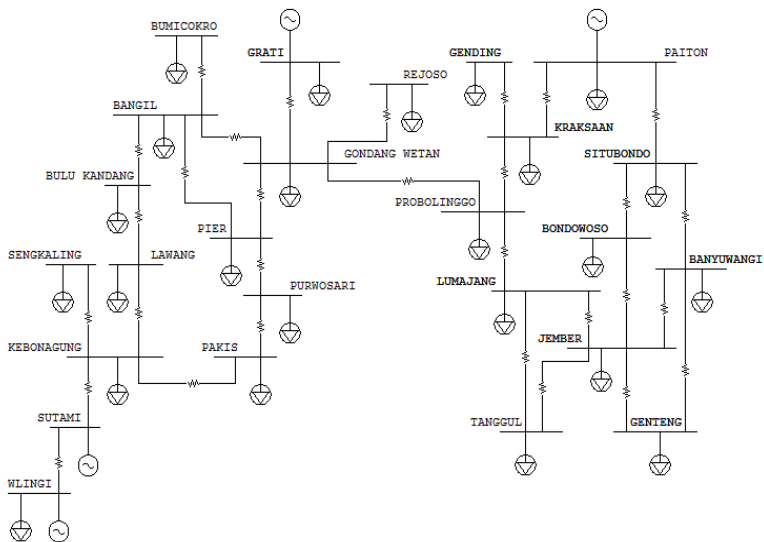
Apabila pada suatu sistem terjadi penambahan beban yang besar dan suplai daya pembangkit tidak dapat dinaikkan lagi maka harus dilakukan pelepasan beban. Oleh karena itu pada sistem transmisi dilengkapi dengan *Over Load Shedding* (OLS) yang berfungsi untuk melepaskan beban pada saat terjadi situasi tersebut untuk menghindari kegagalan sistem yang sangat besar. Sedangkan untuk keadaan dimana menurunnya frekuensi yang secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh kegagalan suatu pembangkit secara tiba-tiba tidak bisa beroperasi maka alat yang bekerja untuk menanggulangi masalah tersebut adalah *Under Frequently Relay* (UFR) yang dipasang pada setiap penyulang atau *feeder*.

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN JAWA TIMUR SUBSISTEM PAITON - GRATI

3.1 Sistem Kelistrikan Jawa Timur Subsistem Paiton-Grati 150 kV

Interkoneksi sistem kelistrikan Jawa Timur Subsistem Paiton - Grati 150 kV yang digunakan untuk menganalisa sistem stabilitas tegangan dapat digambarkan dengan *Single Line Diagram* (SLD) pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 Sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton-Grati

Data impedansi saluran yang digunakan sebagai masukan untuk proses simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data impedansi saluran sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati

No	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)	Y (pu)
1	Grati	Gondang Wetan	0,00326	0,02097	0,01805
2	Gondang Wetan	Rejoso	0,00451	0,01775	0,00699

Tabel 3.1 Data impedansi saluran sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati (lanjutan)

No	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)	Y (pu)
3	Kraksaan	Gending	0,00637	0,0251	0,00988
4	Probolinggo	Gondang Wetan	0,01465	0,0577	0,02272
5	Gondang Wetan	Pier	0,00348	0,02233	0,01922
6	Bangil	Bumicokro	0,00109	0,00703	0,00605
7	Gondang Wetan	Bangil	0,00728	0,02868	0,01129
8	Pier	Bangil	0,0009	0,00578	0,00498
9	Bangil	Bulukandang	0,00984	0,03995	0,01481
10	Bulukandang	Lawang	0,00906	0,03678	0,01364
11	Lawang	Kebonagung	0,01118	0,04405	0,01734
12	Pakis	Kebonagung	0,00228	0,01462	0,01259
13	Kebonagung	Sutami	0,01209	0,04763	0,01875
14	Sutami	Wlingi	0,00483	0,0086	0,00333
15	Pier	Purwosari	0,00106	0,00679	0,00585
16	Purwosari	Pakis	0,00814	0,05225	0,04499
17	Probolinggo	Lumajang	0,0241	0,07117	0,04093
18	Lumajang	Tanggul	0,01421	0,05773	0,0214
19	Kraksaan	Probolinggo	0,01309	0,03866	0,02223
20	Bondowoso	Jember	0,01716	0,06761	0,02661
21	Jember	Lumajang	0,02622	0,10648	0,03948
22	Jember	Tanggul	0,01235	0,05016	0,0186
23	Situbondo	Bondowoso	0,01504	0,05924	0,02332
24	Genteng	Jember	0,02804	0,11387	0,04222
25	Banyuwangi	Genteng	0,01469	0,05966	0,02212
26	Banyuwangi	Jember	0,03575	0,1452	0,05383
27	Situbondo	Banyuwangi	0,00633	0,04063	0,03498
28	Paiton	Kraksaan	0,00884	0,02611	0,01502
29	Paiton	Situbondo	0,00978	0,0733	0,05116
30	Kebonagung	Sengkaling	0,00866	0,02636	0,00991

Data pembangkitan yang digunakan sebagai masukan untuk proses simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2. Dimana MVA base ($MVA_B = 100$ MVA) dan tegangan base ($V_B = 150$ kV).

Tabel 3.2 Data pembangkitan sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati

Nama	Tegangan (kV)	Daya (MVA)	PF	Jam 02.00	Jam 08.30	Jam 19.30
				MW	MW	MW
IBT Grati 1	150	500	0,80	216,32	257,78	234,63
IBT Grati 2	150	500	0,80	219,34	259,46	237,61
PLTGU Grati 2.1	11	150	0,80	0	0	99,4
PLTGU Grati 2.2	11	150	0,80	0	0	0
PLTGU Grati 2.3	11	150	0,80	0	0	100,8
IBT Paiton 1	150	500	0,80	184,61	166,73	276,58
IBT Paiton 2	150	500	0,80	195,08	207,23	282,54
IBT Paiton 3	150	500	0,80	243,43	282,83	332,81
PLTA Sutami 1	11	45	0,80	0	0	33,9
PLTA Sutami 2	11	45	0,80	34,5	33,4	33,9
PLTA Sutami 3	11	45	0,80	35,1	33,9	34,5
PLTA Wlingi 1	11	27	0,80	10,4	13,8	16,6
PLTA Wlingi 2	11	27	0,80	19,1	20,7	13,7

Data transformator yang digunakan sebagai masukan untuk proses simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data transformator sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati

No	Nama GI	Nama Trafo	Tegangan (kV)	Daya (MVA)	Impedansi (%)
1	Bangil 150 kV	IBT 1	150/70 kV	60	12,86
2	Bangil 150 kV	IBT 2	150/70 kV	50	12,38
3	Bangil 150 kV	T 3	150/70 kV	60	12,02
4	Bangil 150 kV	T 4	150/20 kV	20	12,02
5	Banyuwangi 150 kV	T 1	150/20 kV	30	12
6	Banyuwangi 150 kV	T 2	150/20 kV	60	9,9
7	Banyuwangi 150 kV	T 3	150/20 kV	30	12
8	Banyuwangi 150 kV	T 4	150/20 kV	60	12
9	Bondowoso 150 kV	T 1	150/20 kV	30	12
10	Bondowoso 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,019
11	Bulukandang 150 kV	T 1	150/70 kV	60	11,97
12	Bulukandang 150 kV	T 2	150/70 kV	60	12,984

Tabel 3.3 Data transformator sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati (lanjutan)

No	Nama GI	Nama Trafo	Tegangan (kV)	Daya (MVA)	Impedansi (%)
13	Bumicokro 150 kV	T 1	150/20 kV	50	12
14	Bumicokro 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,5
15	Bumicokro 150 kV	T 3	150/70 kV	60	11,9
16	Gending 150 kV	T 1	150/20 kV	20	12,02
17	Genteng 150 kV	T 1	150/20 kV	50	10,04
18	Genteng 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,01
19	Genteng 150 kV	T 3	150/20 kV	60	11,969
20	Gondang Wetan 150 kV	T 1	150/20 kV	60	13
21	Gondang Wetan 150 kV	T 2	150/20 kV	30	12,81
22	Gondang Wetan 150 kV	T 3	150/20 kV	60	13
23	Grati 150 kV	T 1	150/20 kV	60	15,1
24	Grati	IBT 1	500/150 kV	500	14,2
25	Grati	IBT 2	500/150 kV	500	14,97
26	Grati 2.1	T 2	11/150 kV	150	13,02
27	Grati 2.2	T 3	11/150 kV	150	13,02
28	Grati 2.3	T 4	11/150 kV	150	13,02
29	Jember 150 kV	T 1	150/20 kV	60	12,8
30	Jember 150 kV	T 2	150/20 kV	20	10,25
31	Jember 150 kV	T 3	150/20 kV	60	12
32	Jember 150 kV	T 4	150/20 kV	60	12,5
33	Kebonagung 150 kV	IBT 1	150/70 kV	100	12,512
34	Kebonagung 150 kV	IBT 2	150/70 kV	35	10,17
35	Kebonagung 150 kV	IBT 3	150/70 kV	100	12,44
36	Kebonagung 150 kV	T 4	150/20 kV	60	12,39
37	Kebonagung 150 kV	T 5	150/20 kV	30	12,35
38	Kebonagung 150 kV	T 6	150/20 kV	60	12,31
39	Kraksaan 150 kV	T 1	150/20 kV	30	12,35
40	Kraksaan 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,38
41	Lawang 150 kV	T 1	150/20 kV	60	12,31
42	Lawang 150 kV	T 2	150/20 kV	30	11,31
43	Lumajang 150 kV	T 1	150/20 kV	60	12,5
44	Lumajang 150 kV	T 2	150/20 kV	60	11,86
45	Paiton 150 kV	T 1	150/20 kV	40	13,42
46	Paiton	IBT 1	500/150 kV	500	13,01

Tabel 3.3 Data transformator sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati (lanjutan)

No	Nama GI	Nama Trafo	Tegangan (kV)	Daya (MVA)	Impedansi (%)
47	Paiton	IBT 2	500/150 kV	500	13,58
48	Paiton	IBT 3	500/150 kV	500	13,58
49	Pakis 150 kV	T 1	150/20 kV	30	11,83
50	Pakis 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,411
51	Pier 150 kV	T 1	150/20 kV	50	12,25
52	Pier 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,1
53	Probolinggo 150 kV	T 1	150/70 kV	60	12,16
54	Probolinggo 150 kV	T 2	150/70 kV	60	12,38
55	Probolinggo 150 kV	T 3	150/20 kV	50	12,17
56	Purwosari 150 kV	T 1	150/20 kV	60	12,41
57	Purwosari 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,41
58	Rejoso 150 kV	T 1	150/20 kV	60	10,32
59	Sengkaling 150 kV	IBT 1	150/70 kV	60	12,6
60	Sengkaling 150 kV	IBT 2	150/70 kV	30	10,66
61	Sengkaling 150 kV	T 3	150/20 kV	30	12,5
62	Sengkaling 150 kV	T 4	150/20 kV	60	13,43
63	Situbondo 150 kV	T 1	150/20 kV	20	10,32
64	Situbondo 150 kV	T 2	150/20 kV	20	10,21
65	Situbondo 150 kV	T 3	150/20 kV	60	12,38
66	Sutami 1	T1	11/150 kV	39	9,72
67	Sutami 2	T2	11/150 kV	39	9,72
68	Sutami 3	T3	11/150 kV	39	9,72
69	Tanggul 150 kV	T 1	150/20 kV	30	12,55
70	Tanggul 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,04
71	Wlingi 150 kV	IBT 1	150/70 kV	100	12,09
72	Wlingi 150 kV	T 2	150/20 kV	60	12,5
73	Wlingi 1	T3	11/150 kV	27	10,6
74	Wlingi 2	T4	11/150 kV	27	10,6

Data beban yang digunakan sebagai masukan untuk proses simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data beban tanggal 04 April 2017, jam 02.00 sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati

No	Nama Bus	Jam 02.00		
		MW	Mvar	cos ϕ
1	Bangil	16,26	5,62	0,946
2	Bangil	10,76	4,68	0,917
3	Bangil	16,8	4,03	0,972
4	Bangil	10,23	2,68	0,967
5	Banyuwangi	11,23	2,84	0,97
6	Banyuwangi	9,45	2,42	0,969
7	Banyuwangi	9,04	1,82	0,98
8	Banyuwangi	9,15	1,88	0,979
9	Bondowoso	8,34	1,52	0,984
10	Bondowoso	6,56	0,72	0,994
11	Bulukandang	22,11	6,81	0,956
12	Bulukandang	5,77	1,02	0,985
13	Bumicokro	22,48	6,68	0,959
14	Bumicokro	30,67	8,88	0,961
15	Bumicokro	7,17	1,29	0,984
16	Gending	1,02	0,13	0,992
17	Genteng	19,3	4,04	0,979
18	Genteng	20,86	4,26	0,98
19	Genteng	13,22	0,52	0,999
20	Gondang Wetan	15,61	3,49	0,976
21	Gondang Wetan	14,57	3,56	0,971
22	Gondang Wetan	19,9	6,06	0,957
23	Grati	7,1	1,34	0,983
24	Jember	15,23	3,07	0,98
25	Jember	6,21	1,62	0,967
26	Jember	22,86	4,43	0,982
27	Jember	25,3	4,56	0,984
28	Kebonagung	28,08	1,4	0,999
29	Kebonagung	15,45	0,47	1
30	Kebonagung	35,99	14,9	0,924
31	Kebonagung	11,61	3,51	0,957
32	Kebonagung	11,56	2,65	0,975
33	Kebonagung	15,78	3,07	0,982

Tabel 3.4 Data beban tanggal 04 April 2017, jam 02.00 sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati (lanjutan)

No	Nama Bus	Jam 02.00		
		MW	Mvar	cos ϕ
34	Kraksaan	8,64	1,32	0,989
35	Kraksaan	5,37	0,88	0,987
36	Lawang	16,13	3,78	0,974
37	Lawang	12,17	3,46	0,962
38	Lumajang	20,44	4,44	0,977
39	Lumajang	20,5	2,53	0,992
40	Paiton	13,59	2,56	0,983
41	Pakis	12,2	2,53	0,979
42	Pakis	12,91	2,66	0,979
43	Pier	17,88	6,54	0,939
44	Pier	7,89	2,7	0,946
45	Probolinggo	8,89	1,91	0,978
46	Probolinggo	17,43	4,26	0,971
47	Probolinggo	17,23	5,16	0,958
48	Purwosari	10,38	2,61	0,97
49	Purwosari	13,17	3,82	0,961
50	Rejoso	39,85	14,7	0,938
51	Sengkaling	8,69	3,72	0,919
52	Sengkaling	5,46	1,49	0,965
53	Sengkaling	9,66	1,43	0,989
54	Sengkaling	19,88	4,44	0,976
55	Situbondo	8,74	1,86	0,978
56	Situbondo	10,16	2,06	0,98
57	Situbondo	12,14	2,9	0,973
58	Tanggul	12,12	2,01	0,987
59	Tanggul	13,88	3,22	0,974
60	Wlingi	34,32	9,79	0,962
61	Wlingi	15,93	3,15	0,981

Tabel 3.5 Data beban tanggal 04 April 2017, jam 08.30 sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati

No	Nama Bus	Jam 08.30		
		MW	Mvar	cos ϕ
1	Bangil	21,06	8,42	0,929
2	Bangil	13,57	6,08	0,913
3	Bangil	17,56	4,79	0,965
4	Bangil	11,22	3,45	0,956
5	Banyuwangi	13,58	4,31	0,953
6	Banyuwangi	13,3	4,34	0,951
7	Banyuwangi	10,82	3,16	0,96
8	Banyuwangi	6,72	1,77	0,967
9	Bondowoso	9,02	2,44	0,965
10	Bondowoso	7,14	1,8	0,97
11	Bulukandang	24,18	7,63	0,954
12	Bulukandang	7,13	1,72	0,972
13	Bumicokro	26,87	8,3	0,955
14	Bumicokro	41,53	14,84	0,942
15	Bumicokro	9,92	2,59	0,967
16	Gending	0,96	0,02	1
17	Genteng	20,22	6,22	0,956
18	Genteng	21,62	6,34	0,96
19	Genteng	14,27	2,1	0,989
20	Gondang Wetan	18,51	6,33	0,946
21	Gondang Wetan	16,97	5,93	0,944
22	Gondang Wetan	20,4	6,5	0,953
23	Grati	7,68	2,92	0,935
24	Jember	18,54	5,85	0,954
25	Jember	7,91	2,17	0,964
26	Jember	25,23	7,96	0,954
27	Jember	26,94	8,38	0,955
28	Kebonagung	31,59	3,51	0,994
29	Kebonagung	17,79	3,28	0,983
30	Kebonagung	42,2	21,1	0,894
31	Kebonagung	14,61	4,8	0,95
32	Kebonagung	14,14	3,73	0,967
33	Kebonagung	20,27	5,45	0,966

Tabel 3.5 Data beban tanggal 04 April 2017, jam 08.30 sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati (lanjutan)

No	Nama Bus	Jam 08.30		
		MW	Mvar	cos ϕ
34	Kraksaan	12,9	3,76	0,96
35	Kraksaan	5,2	1,52	0,96
36	Lawang	19,48	5,47	0,963
37	Lawang	13,47	4,46	0,949
38	Lumajang	22,76	7,9	0,945
39	Lumajang	23,01	5,66	0,971
40	Paiton	14,29	4,36	0,956
41	Pakis	17,93	5,89	0,95
42	Pakis	14,05	3,71	0,967
43	Pier	23,78	8,86	0,937
44	Pier	9,02	3,15	0,944
45	Probolinggo	8,57	2,34	0,965
46	Probolinggo	16,44	5,44	0,949
47	Probolinggo	21,7	7,17	0,949
48	Purwosari	12,13	3,63	0,958
49	Purwosari	18,73	6,78	0,94
50	Rejoso	40,05	14,94	0,937
51	Sengkaling	12,41	6,2	0,895
52	Sengkaling	8,44	3,48	0,924
53	Sengkaling	12,47	2,97	0,973
54	Sengkaling	23,65	6,17	0,968
55	Situbondo	8,92	3,08	0,945
56	Situbondo	9,88	2,74	0,964
57	Situbondo	12,53	4,34	0,945
58	Tanggul	11,17	3,44	0,956
59	Tanggul	13,48	5,14	0,934
60	Wlingi	39,73	18,6	0,906
61	Wlingi	18,58	7,58	0,926

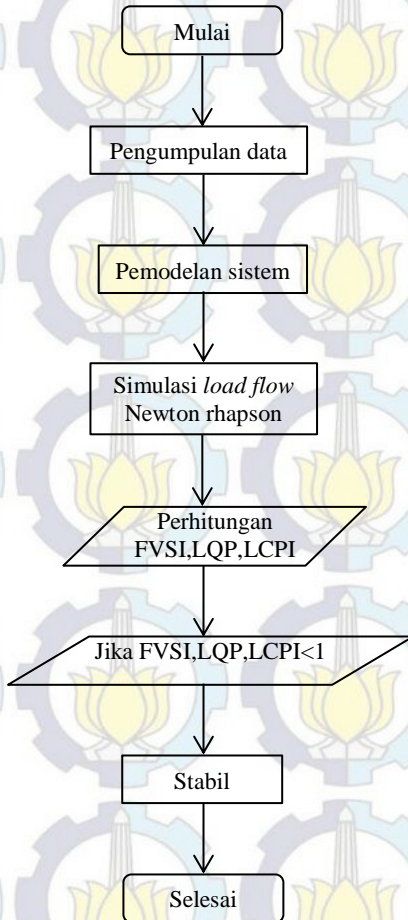
Tabel 3.6 Data beban tanggal 04 April 2017, jam 19.30 sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsystem Paiton – Grati

No	Nama Bus	Jam 19.30		
		MW	Mvar	cos ϕ
1	Bangil	20,59	7,49	0,94
2	Bangil	13,1	5,62	0,919
3	Bangil	19,95	4,22	0,978
4	Bangil	12,06	2,99	0,971
5	Banyuwangi	13,82	3,17	0,975
6	Banyuwangi	17,98	4,07	0,975
7	Banyuwangi	15,06	2,22	0,989
8	Banyuwangi	8,76	1,7	0,982
9	Bondowoso	15,44	2,26	0,989
10	Bondowoso	12,34	1,06	0,996
11	Bulukandang	25,68	7,28	0,962
12	Bulukandang	7,44	1,6	0,978
13	Bumicokro	25,62	7,87	0,956
14	Bumicokro	34,65	10,89	0,954
15	Bumicokro	8,17	1,8	0,977
16	Gending	2,3	0,35	0,989
17	Genteng	31,2	5,62	0,984
18	Genteng	32,52	5,66	0,985
19	Genteng	22,3	1,57	0,998
20	Gondang Wetan	23,49	4,91	0,979
21	Gondang Wetan	21,8	4,89	0,976
22	Gondang Wetan	21,93	5,95	0,965
23	Grati	12,2	2,22	0,984
24	Jember	26,06	5,02	0,982
25	Jember	9,38	2,18	0,974
26	Jember	38,07	6,86	0,984
27	Jember	42,82	7,5	0,985
28	Kebonagung	37,91	3,51	0,996
29	Kebonagung	21,06	3,28	0,988
30	Kebonagung	50,88	22,34	0,916
31	Kebonagung	16,06	3,81	0,973
32	Kebonagung	20,38	4,63	0,975
33	Kebonagung	27,15	5,24	0,982

Tabel 3.6 Data beban tanggal 04 April 2017, jam 19.30 sistem interkoneksi 150 kV Jawa Timur Subsistem Paiton – Grati (lanjutan)

No	Nama Bus	Jam 19.30		
		MW	Mvar	cos ϕ
34	Kraksaan	20,76	2,96	0,99
35	Kraksaan	8,04	1,12	0,991
36	Lawang	23,07	4,8	0,979
37	Lawang	13,13	3,57	0,965
38	Lumajang	35,48	6,52	0,984
39	Lumajang	33,27	4,56	0,991
40	Paiton	21,64	4,05	0,983
41	Pakis	20,55	3,54	0,986
42	Pakis	18,97	3,14	0,987
43	Pier	21,22	7,9	0,937
44	Pier	8,35	2,94	0,943
45	Probolinggo	12,58	2,24	0,985
46	Probolinggo	26,52	5,86	0,976
47	Probolinggo	27,1	6,97	0,968
48	Purwosari	14,24	3,27	0,975
49	Purwosari	16,7	4,48	0,966
50	Rejoso	40,23	15,31	0,935
51	Sengkaling	17,14	6,12	0,942
52	Sengkaling	9,97	3,55	0,942
53	Sengkaling	17,03	2,65	0,988
54	Sengkaling	32,19	5,93	0,983
55	Situbondo	13,04	2,54	0,982
56	Situbondo	15,48	2,98	0,982
57	Situbondo	18,2	3,61	0,981
58	Tanggul	21,58	3,06	0,99
59	Tanggul	23,94	4,78	0,981
60	Wlingi	57,54	17,71	0,956
61	Wlingi	32,37	5,96	0,983

3.2 Flowchart



Gambar 3.2 Flowchart pengerjaan tugas akhir

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bab 4 ini akan dilakukan simulasi untuk membuktikan kesesuaian metode dan pemodelan yang telah dirancang. Simulasi dilakukan pada sistem kelistrikan transmisi Jawa Timur subsistem Paiton- Grati 150kV untuk mengetahui indeks kestabilan tegangan pada saluran yang mengalami drop tegangan (*voltage collapse*) yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem kelistrikan Jawa Timur subsistem Paiton – Grati 150kV khususnya stabilitas tegangan.

4.1 Data Simulasi

Pada tugas akhir ini data untuk simulasi yang diperlukan adalah data sistem tenaga listrik Jawa Timur subsistem Paiton – Grati 150 kV. Pemodelan sistem Jawa Timur subsistem Paiton - Grati dalam bentuk *single line diagram* sistem tenaga listrik Jawa Timur subsistem Paiton - Grati 150 kV pada tahun 2017. Data parameter yang digunakan meliputi data saluran (*line*), data pembangkit (*generation*), data beban (*load*) jam 02.30, data beban (*load*) jam 08.30, dan data beban (*load*) jam 19.30.

4.2 Sistem Tenaga Listrik Jawa Timur

Operasi sistem tenaga listrik Jamali untuk sisi tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi dikelola oleh PT.PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali (PLN P2B). Sistem tenaga listrik Jamali terhubung satu sama lain melalui transmisi tenaga listrik 500 kV, 150 kV dan 70 kV. Untuk sutet 500 kV Ngimbang Ungaran dan Kediri Pedan. Sutt 150 kV Bojonegoro Cepu, Ngawi Sragen, dan Pacitan Purwoadi. Untuk sutt bali terpisah di Banyuwangi arah Gili Manuk.

Sistem interkoneksi memungkinkan adanya transfer antar area, sehingga kekurangan daya di suatu area akan dapat dibantu area lain melalui jaringan yang terinterkoneksi. Sistem interkoneksi ini juga membuat setiap kejadian di sistem tenaga listrik akan mempengaruhi ke seluruh sistem interkoneksi tersebut. Besarnya sistem interkoneksi ini diukur dari besarnya kapasitas pasokan dalam hal ini pembangkit, serta tingkat kebutuhan tenaga listrik. Daya yang disalurkan berasal dari pembangkit listrik tenaga air (terdapat pada pembangkit Cirata,

Saguling, dan Matenggeng), pembangkit listrik tenaga uap (terdapat pada pembangkit Suralaya, Banten, Bojanegara, Balaraja, Tanjung Pucut, Rawalo, Cirebon, Jawa Tengah, Indramayu, Tanjung Jati, dan Paiton). pembangkit listrik tenaga gas uap (terdapat pada pembangkit Muara Karang, Priok, Muara Tawar, Jawa1, Grati, dan Gresik).

4.3 Simulasi dan Analisa pada Sistem Jawa Timur

Simulasi untuk sistem tenaga listrik yang digunakan pada tugas akhir adalah dengan menggunakan ETAP 12.6.0. aliran daya pada tugas akhir menggunakan metode Newton Raphson yang telah disediakan di ETAP 12.6.0. Dalam simulasi aliran daya ini, ditentukan MVA base 100 MVA dan kV base 150 kV. Tujuan dilakukan simulasi aliran daya adalah untuk mengetahui tegangan pada sisi pengirim, daya aktif pada sisi pengirim, dan daya reaktif pada sisi penerima.

Table 4.1 Aliran daya pada jam 02.00

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)
Grati	Gondang Wetan	382411000	123105000	148519
Gondang Wetan	Rejoso	39935000	17267000	147041
Kraksaan	Gending	1015000	1491000	148054
Probolinggo	Gondang Wetan	54128000	16739000	146949
Gondang Wetan	Pier	253440000	59953000	147041
Bangil	Bumicokro	59300000	18139000	146059
Gondang Wetan	Bangil	92060000	14231000	147041
Pier	Bangil	79534000	30437000	146158
Bangil	Bulukandang	58646000	9443000	146059
Bulukandang	Lawang	31028000	2015000	145160
Lawang	Kebonagung	3171000	4403000	144801
Pakis	Kebonagung	98814000	25208000	145139
Sutami	Kebonagung	57824000	12855000	146133
Sutami	Wlingi	11709000	3519000	146133
Pier	Purwosari	147495000	22304000	146158
Purwosari	Pakis	123876000	16972000	146035
Probolinggo	Lumajang	92963000	3406000	146949
Lumajang	Tanggul	31771000	270000	145760
Kraksaan	Probolinggo	191765000	8926000	148054
Bondowoso	Jember	32822000	1935000	146003

Tabel 4.1 Aliran daya pada jam 02.00 (lanjutan)

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)
Lumajang	Jember	20108000	2737000	145760
Tanggul	Jember	6083000	2934000	145253
Situbondo	Bondowoso	47754000	1621000	146821
Jember	Genteng	5446000	2333000	145252
Banyuwangi	Genteng	47309000	3826000	145924
Banyuwangi	Jember	15159000	2861000	145924
Situbondo	Banyuwangi	348411000	54997000	146821
Paiton	Kraksaan	207982000	8491000	148867
Paiton	Situbondo	429786000	55031000	148867
Kebonagung	Sengkaling	43010000	11731000	144892

Dari hasil simulasi *load flow* diatas pada saat beban jam 02.00 diketahui tegangan semua bus berada pada kondisi normal, yaitu berada pada $\pm 5\%$.

Tabel 4.2 Aliran daya pada jam 08.30

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)
Grati	Gondang Wetan	461183000	228029000	150090
Gondang Wetan	Rejoso	40135000	17481000	147697
Kraksaan	Gending	954000	1594000	147734
Probolinggo	Gondang Wetan	77615000	41678000	146570
Gondang Wetan	Pier	322829000	110964000	147697
Bangil	Bumicokro	76731000	29684000	146158
Gondang Wetan	Bangil	117792000	29769000	147697
Pier	Bangil	94819000	42379000	146290
Bangil	Bulukandang	72824000	17712000	146158
Bulukandang	Lawang	41714000	8306000	144839
Lawang	Kebonagung	9340000	1415000	144180
Pakis	Kebonagung	131184000	45774000	144483
Sutami	Kebonagung	53327000	16672000	145453
Sutami	Wlingi	13903000	11166000	145453
Pier	Purwosari	194117000	54971000	146290
Purwosari	Pakis	163130000	44745000	146060
Probolinggo	Lumajang	93216000	10528000	146570
Lumajang	Tanggul	29292000	4342000	144868

Tabel 4.2 Aliran daya pada jam 08.30 (lanjutan)

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)
Kraksaan	Probolinggo	219024000	14381000	147734
Bondowoso	Jember	37246000	5479000	145185
Lumajang	Jember	18277000	123000	144868
Tanggul	Jember	5056000	2092000	144173
Situbondo	Bondowoso	53432000	7494000	146395
Jember	Genteng	2747000	3412000	144146
Banyuwangi	Genteng	52533000	11297000	145481
Banyuwangi	Jember	19409000	1143000	145481
Situbondo	Banyuwangi	351343000	56673000	146395
Paiton	Kraksaan	239593000	9290000	148669
Paiton	Situbondo	438757000	67267000	148669
Kebonagung	Sengkaling	55860000	20791000	144087

Dari hasil simulasi *load flow* diatas pada saat beban jam 08.30 diketahui tegangan semua bus berada pada kondisi normal, yaitu berada pada $\pm 5\%$.

Tabel 4.3 Aliran daya pada jam 19.30

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)
Grati	Gondang Wetan	622221000	200243000	151099
Gondang Wetan	Rejoso	40315000	17833000	148779
Kraksaan	Gending	2294000	1270000	149242
Gondang Wetan	Probolinggo	9718000	20792000	148779
Gondang Wetan	Pier	369718000	101147000	148779
Bangil	Bumicokro	67402000	22902000	147294
Gondang Wetan	Bangil	132384000	24695000	148779
Pier	Bangil	89778000	36959000	147411
Bangil	Bulukandang	89078000	15728000	147294
Bulukandang	Lawang	55943000	6076000	145922
Lawang	Kebonagung	20182000	2651000	145231
Pakis	Kebonagung	177940000	43449000	145499
Sutami	Kebonagung	47540000	27651000	146848
Sutami	Wlingi	54653000	15339000	146848
Pier	Purwosari	249023000	50614000	147411
Purwosari	Pakis	217892000	42792000	147172

Tabel 4.3 Aliran daya pada jam 19.30 (lanjutan)

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)
Probolinggo	Lumajang	169470000	19528000	147480
Lumajang	Tanggul	59939000	6764000	144616
Kraksaan	Probolinggo	227491000	14161000	149242
Bondowoso	Jember	46427000	8754000	144669
Lumajang	Jember	39676000	1195000	144616
Tanggul	Jember	15097000	2348000	143416
Situbondo	Bondowoso	74280000	11763000	146370
Jember	Genteng	9872000	2787000	143287
Banyuwangi	Genteng	74794000	13285000	144766
Banyuwangi	Jember	22919000	1410000	144766
Situbondo	Banyuwangi	511823000	127271000	146370
Paiton	Kraksaan	260380000	20262000	150636
Paiton	Situbondo	638860000	169368000	150636
Kebonagung	Sengkaling	75071000	22914000	145078

Dari hasil simulasi *load flow* diatas pada saat beban jam 19.30 diketahui tegangan semua bus berada pada kondisi normal, yaitu berada pada $\pm 5\%$

Tabel 4.4 Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 02.00

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim	X (Ohm)	Z (Ohm)	Jam 02.00	
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)			FVSI	LQP
Grati	Gondang Wetan	382411000	123105000	148519	1,193	1,206	0,02723	0,02833
Gondang Wetan	Rejoso	39935000	17267000	147041	2,363	2,439	0,00805	0,00762
Kraksaan	Gending	1015000	1491000	148054	3,353	3,460	0,00097	0,00091
Probolinggo	Gondang Wetan	54128000	16739000	146949	7,673	7,918	0,02534	0,02527
Gondang Wetan	Pier	253440000	59953000	147041	1,283	1,298	0,01458	0,01513
Bangil	Bumicokro	59300000	18139000	146059	0,405	0,411	0,00142	0,00138
Gondang Wetan	Bangil	92060000	14231000	147041	3,825	3,945	0,01071	0,01113
Pier	Bangil	79534000	30437000	146158	0,338	0,340	0,00196	0,00193
Bangil	Bulukandang	58646000	9443000	146059	5,310	5,468	0,00997	0,01025
Bulukandang	Lawang	31028000	2015000	145160	4,905	5,053	0,00199	0,00208
Lawang	Kebonagung	3171000	4403000	144801	5,873	6,057	0,00525	0,00494
Pakis	Kebonagung	98814000	25208000	145139	0,833	0,843	0,00409	0,00405
Sutami	Kebonagung	57824000	12855000	146133	6,345	6,549	0,01627	0,01646
Sutami	Wlingi	11709000	3519000	146133	1,688	1,934	0,00146	0,00112
Pier	Purwosari	147495000	22304000	146158	0,383	0,388	0,00165	0,00163
Purwosari	Pakis	123876000	16972000	146035	2,993	3,030	0,00976	0,01073
Probolinggo	Lumajang	92963000	3406000	146949	5,310	5,607	0,00374	0,00544
Lumajang	Tanggul	31771000	270000	145760	7,695	7,924	0,00041	0,00092
Kraksaan	Probolinggo	191765000	8926000	148054	2,880	3,038	0,00522	0,00723
Bondowoso	Jember	32822000	1935000	146003	9,000	9,288	0,00348	0,00404
Lumajang	Jember	20108000	2737000	145760	14,175	14,598	0,00775	0,00802
Tanggul	Jember	6083000	2934000	145253	6,683	6,881	0,00394	0,00373
Situbondo	Bondowoso	47754000	1621000	146821	7,898	8,147	0,00253	0,00360
Jember	Genteng	5446000	2333000	145252	15,165	15,618	0,00711	0,00677
Banyuwangi	Genteng	47309000	3826000	145924	7,943	8,180	0,00606	0,00695
Banyuwangi	Jember	15159000	2861000	145924	19,328	19,907	0,01102	0,01114
Situbondo	Banyuwangi	348411000	54997000	146821	1,103	1,117	0,01155	0,01252
Paiton	Kraksaan	207982000	8491000	148867	1,935	2,042	0,00330	0,00428
Paiton	Situbondo	429786000	55031000	148867	2,588	2,609	0,02614	0,03577
Kebonagung	Sengkaling	43010000	11731000	144892	4,275	4,497	0,01057	0,00986

Berdasarkan tabel diatas untuk semua saluran sistem jawa timur subsistem Paiton – Grati 150 kV beban pada saat jam 02.00 memiliki indek saluran *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) kurang dari satu (1). Ini berarti saluran sistem jawa timur subsistem Paiton – Grati 150 kV masih berada dibatas kestabilan. Pada saat beban jam 02.00 saluran yang mempunyai nilai *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) tertinggi adalah saluran dari Grati ke Gondang Wetan dengan nilai sebesar 0,02723 sedang saluran yang mempunyai nilai tertinggi *Line Stability Factor* (LQP) adalah saluran dari Paiton ke Situbondo sebesar 0,03577. Nilai *Fast Voltage Stability*

Index (FVSI) dan Line Stability Factor (LQP) yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya daya reaktif pada sisi penerima, tegangan pada sisi pengirim, reaktansi saluran, dan impedansi saluran. Selain itu nilai Fast Voltage Stability Index (FVSI) yang terkecil yaitu pada saluran dari Lumajang ke Tanggul dengan nilai sebesar 0,00041 dan Line Stability Factor (LQP) yang terkecil pada saluran dari Kraksaan ke Gending sebesar 0,00091.

Tabel 4.5 Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 08.30

Pengirim	Penerima	Pengirim P(Watt)	Penerima Q(Var)	Pengirim V(Volt)	X (Ohm)	Z (Ohm)	Jam 08.30	
							FVSI	LQP
Grati	Gondang Wetan	461183000	228029000	150090	1,193	1,206	0,04938	0,05067
Gondang Wetan	Rejoso	40135000	17481000	147697	2,363	2,439	0,00807	0,00765
Kraksaan	Gending	954000	1594000	147734	3,353	3,460	0,00104	0,00098
Probolinggo	Gondang Wetan	77615000	41678000	146570	7,673	7,9183	0,06342	0,06261
Gondang Wetan	Pier	322829000	110964000	147697	1,283	1,298	0,02675	0,02754
Bangil	Bumicokro	76731000	29684000	146158	0,405	0,411	0,00231	0,00226
Gondang Wetan	Bangil	117792000	29769000	147697	3,825	3,945	0,02221	0,02259
Pier	Bangil	94819000	42379000	146290	0,338	0,340	0,00272	0,00268
Bangil	Bulukandang	72824000	17712000	146158	5,310	5,468	0,01867	0,01892
Bulukandang	Lawang	41714000	8306000	144839	4,905	5,053	0,00824	0,00815
Lawang	Kebonagung	9340000	1415000	144180	5,873	6,057	0,00170	0,00163
Pakis	Kebonagung	131184000	45774000	144483	0,833	0,843	0,00749	0,00741
Sutami	Kebonagung	53327000	16672000	145453	6,345	6,549	0,02130	0,02102
Sutami	Wlingi	13903000	11166000	145453	1,688	1,934	0,00468	0,00357
Pier	Purwosari	194117000	54971000	146290	0,383	0,388	0,00405	0,00398
Purwosari	Pakis	163130000	44745000	146060	2,993	3,030	0,02573	0,02720
Probolinggo	Lumajang	93216000	10528000	146570	5,310	5,607	0,01161	0,01253
Lumajang	Tanggul	29292000	4342000	144868	7,695	7,924	0,00675	0,00683
Kraksaan	Probolinggo	219024000	14381000	147734	2,880	3,038	0,00845	0,01093
Bondowoso	Jember	37246000	5479000	145185	9,000	9,288	0,00997	0,01037
Lumajang	Jember	18277000	123000	144868	14,175	14,598	0,00035	0,00094
Tanggul	Jember	5056000	2092000	144173	6,683	6,881	0,00285	0,00270
Situbondo	Bondowoso	53432000	7494000	146395	7,898	8,147	0,01176	0,01260
Jember	Genteng	2747000	3412000	144146	15,165	15,618	0,01057	0,00998
Banyuwangi	Genteng	52533000	11297000	145481	7,943	8,180	0,01799	0,01851
Banyuwangi	Jember	19409000	1143000	145481	19,328	19,907	0,00443	0,00543
Situbondo	Banyuwangi	351343000	56673000	146395	1,103	1,117	0,01197	0,01297
Paiton	Kraksaan	239593000	9290000	148669	1,935	2,042	0,00362	0,00501
Paiton	Situbondo	438757000	67267000	148669	2,588	2,609	0,03204	0,04205
Kebonagung	Sengkaling	55860000	20791000	144087	4,275	4,497	0,01895	0,01765

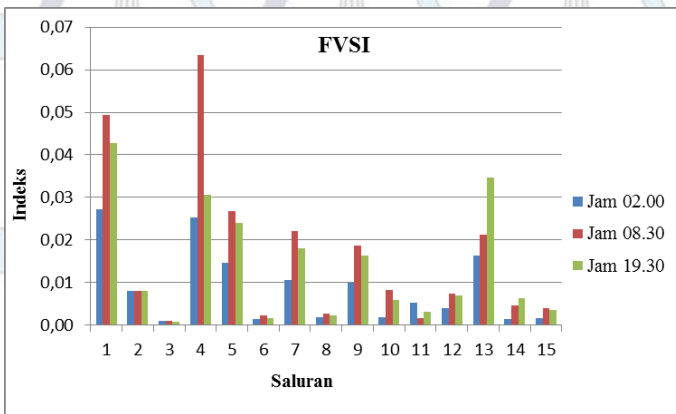
Berdasarkan tabel diatas untuk semua saluran sistem jawa timur subsistem Paiton – Grati 150 kV beban pada saat jam 08.30 memiliki indek saluran *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) kurang dari satu (1). Ini berarti saluran sistem jawa timur subsistem Paiton – Grati 150 kV masih berada dibatas kestabilan. Pada saat beban jam 08.30 saluran yang mempunyai nilai *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) tertinggi adalah saluran dari Probolinggo ke Gondang Wetan dengan nilai sebesar 0,06342 sedang saluran yang mempunyai nilai tertinggi *Line Stability Factor* (LQP) adalah saluran dari Probolinggo ke Gondang Wetan sebesar 0,06261. Nilai *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya daya reaktif pada sisi penerima, tegangan pada sisi pengirim, reaktansi saluran, dan impedansi saluran. Selain itu nilai *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) yang terkecil yaitu pada saluran dari Lumajang ke Jember dengan nilai sebesar 0,00035 dan *Line Stability Factor* (LQP) yang terkecil pada saluran dari Lumajang ke Jember sebesar 0,00094. Untuk beban pada jam 08.30 indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) masih berada di batas kestabilan.

Tabel 4.6 Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 19.30

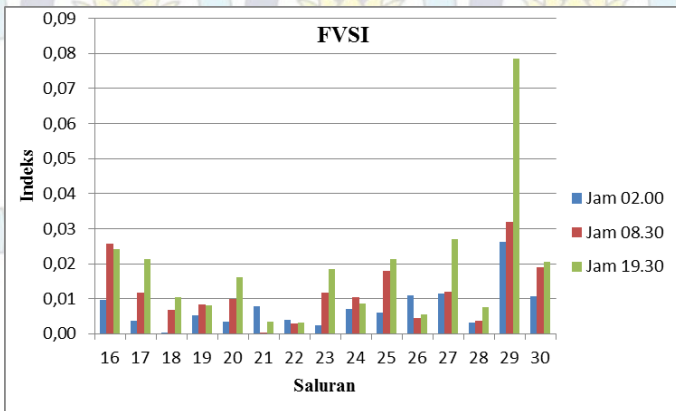
Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim	X (Ohm)	Z (Ohm)	Jam 19.30	
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)			FVSI	LQP
Grati	Gondang Wetan	622221000	200243000	151099	1,193	1,206	0,04279	0,04606
Gondang Wetan	Rejoso	40315000	17833000	148779	2,363	2,439	0,00812	0,00769
Kraksaan	Gending	2294000	1270000	149242	3,353	3,460	0,00081	0,00077
Gondang Wetan	Probolinggo	9718000	20792000	148779	7,673	7,918	0,03070	0,02887
Gondang Wetan	Pier	369718000	101147000	148779	1,283	1,298	0,02403	0,02528
Bangil	Bumicokro	67402000	22902000	147294	0,405	0,411	0,00176	0,00172
Gondang Wetan	Bangil	132384000	24695000	148779	3,825	3,945	0,01816	0,01916
Pier	Bangil	89778000	36959000	147411	0,338	0,340	0,00234	0,00230
Bangil	Bulukandang	89078000	15728000	147294	5,310	5,468	0,01633	0,01730
Bulukandang	Lawang	55943000	6076000	145922	4,905	5,053	0,00594	0,00626
Lawang	Kebonagung	20182000	2651000	145231	5,873	6,057	0,00314	0,00308
Pakis	Kebonagung	177940000	43449000	145499	0,833	0,843	0,00701	0,00703
Sutami	Kebonagung	47540000	27651000	146848	6,345	6,549	0,03467	0,03333
Sutami	Wlingi	54653000	15339000	146848	1,688	1,934	0,00631	0,00487
Pier	Purwosari	249023000	50614000	147411	0,383	0,388	0,00367	0,00364
Purwosari	Pakis	217892000	42792000	147172	2,993	3,030	0,02424	0,02727
Probolinggo	Lumajang	169470000	19528000	147480	5,310	5,607	0,02126	0,02592
Lumajang	Tanggul	59939000	6764000	144616	7,695	7,924	0,01056	0,01190
Kraksaan	Probolinggo	227491000	14161000	149242	2,880	3,038	0,00815	0,01079
Bondowoso	Jember	46427000	8754000	144669	9,000	9,288	0,01604	0,01665
Lumajang	Jember	39676000	1195000	144616	14,175	14,598	0,00344	0,00613
Tanggul	Jember	15097000	2348000	143416	6,683	6,881	0,00324	0,00315
Situbondo	Bondowoso	74280000	11763000	146370	7,898	8,147	0,01846	0,02034
Jember	Genteng	9872000	2787000	143287	15,165	15,618	0,00873	0,00845
Banyuwangi	Genteng	74794000	13285000	144766	7,943	8,180	0,02136	0,02335
Banyuwangi	Jember	22919000	1410000	144766	19,328	19,907	0,00552	0,00699
Situbondo	Banyuwangi	511823000	127271000	146370	1,103	1,1171	0,02690	0,02897
Paiton	Kraksaan	260380000	20262000	150636	1,935	2,042	0,00770	0,00888
Paiton	Situbondo	638860000	169368000	150636	2,588	2,609	0,07857	0,09848
Kebonagung	Sengkaling	75071000	22914000	145078	4,275	4,497	0,02060	0,01955

Berdasarkan tabel diatas untuk semua saluran sistem jawa timur subsistem Paiton – Grati 150 kV beban pada saat jam 19.30 memiliki indek saluran *Fast Voltage Stability Index (FVSI)* dan *Line Stability Factor (LQP)* kurang dari satu (1). Ini berarti saluran sistem jawa timur subsistem Paiton – Grati 150 kV masih berada dibatas kestabilan. Pada saat beban jam 19.30 saluran yang mempunyai nilai *Fast Voltage Stability Index (FVSI)* tertinggi adalah saluran dari Paiton ke Situbondo dengan nilai sebesar 0,07857 sedang saluran yang mempunyai nilai tertinggi *Line Stability Factor (LQP)* adalah

saluran dari Paiton ke Situbondo sebesar 0,09848. Nilai *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya daya reaktif pada sisi penerima, tegangan pada sisi pengirim, reaktansi saluran, dan impedansi saluran. Selain itu nilai *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) yang terkecil yaitu pada saluran dari Kraksaan ke Gending dengan nilai sebesar 0,00081 dan *Line Stability Factor* (LQP) yang terkecil pada saluran dari Kraksaan ke Gending sebesar 0,00077. Untuk beban pada jam 19.30 indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) masih berada di batas kestabilan.



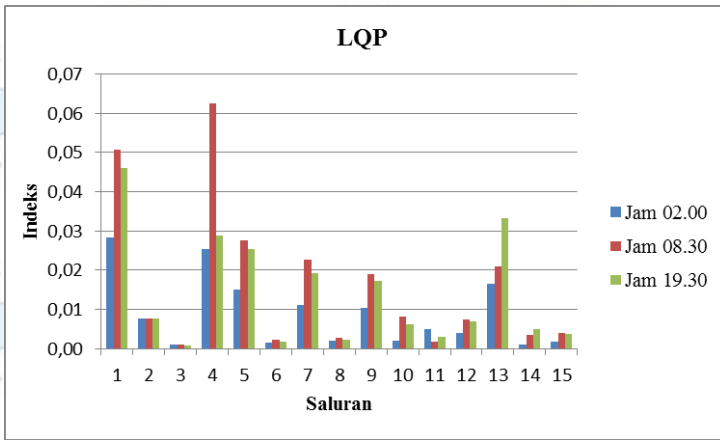
(a)



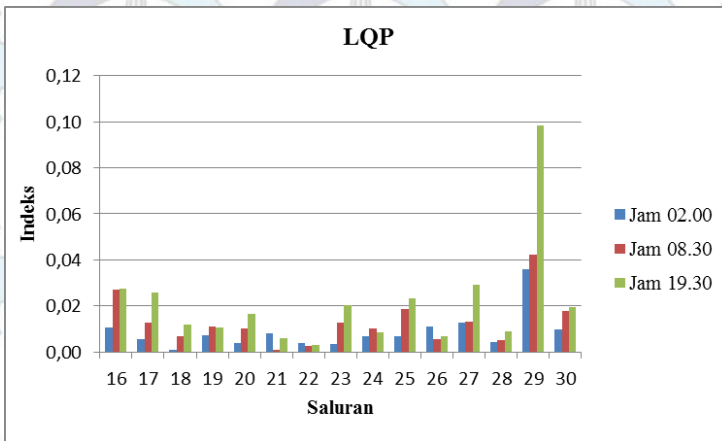
(b)

Gambar 4.1 Grafik FVSI 3 periode beban (a) Sal 1-15 (b) Sal 16-30

Dari gambar 4.1 diatas diketahui *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dari 3 periode beban yang berubah ubah pada setiap periodenya. Urutan nilai tertinggi dari *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) semua saluran diperoleh pada periode beban jam 08.30 kemudian diikuti beban periode jam 19.30 dan periode beban jam 02.00.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Grafik LQP 3 periode beban (a) Sal 1-15 (b) Sal 16-30

Dari gambar 4.2 diatas diketahui *Line Stability Factor* (LQP) dari 3 periode beban yang berubah ubah pada setiap periodenya. Urutan nilai tertinggi dari *Line Stability Factor* (LQP) semua saluran diperoleh pada periode beban jam 19.30 kemudian diikuti beban periode jam 08.30 dan periode beban jam 02.00.

Tabel 4.7 Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 02.00 saat saluran Purwosari – Pakis lepas

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim	X (Ohm)	Z (Ohm)	Jam 02.00	
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)			FVSI	LQP
Grati	Gondang Wetan	382265000	150141000	153004	1,193	1,206	0,03129	0,03211
Gondang Wetan	Rejoso	39929000	16978000	151353	2,363	2,439	0,00747	0,00707
Kraksaan	Gending	1023000	1562000	151302	3,353	3,460	0,00097	0,00092
Probolinggo	Gondang Wetan	59850000	33544000	150475	7,673	7,918	0,04843	0,04711
Gondang Wetan	Pier	249141000	66945000	151353	1,283	1,298	0,01537	0,01577
Bangil	Bumicokro	59961000	18056000	150245	0,405	0,411	0,00133	0,00130
Gondang Wetan	Bangil	101281000	18005000	151353	3,825	3,945	0,01279	0,01317
Pier	Bangil	199219000	55755000	150438	0,338	0,340	0,00339	0,00336
Bangil	Bulukandang	186159000	37982000	150245	5,310	5,468	0,03790	0,04341
Bulukandang	Lawang	156499000	22995000	147365	4,905	5,053	0,02205	0,02577
Lawang	Kebonagung	127265000	11186000	145369	5,873	6,057	0,01323	0,01744
Kebonagung	Pakis	24617000	1624000	143647	0,833	0,843	0,00027	0,00027
Sutami	Kebonagung	57809000	33159000	145777	6,345	6,549	0,04218	0,04079
Sutami	Wlingi	11718000	7151000	145777	1,688	1,934	0,00298	0,00227
Pier	Purwosari	23557000	4766000	150413	0,383	0,388	0,00033	0,00032
Probolinggo	Lumajang	92686000	1795000	150475	5,310	5,607	0,00188	0,00357
Lumajang	Tanggul	31523000	1401000	149248	7,695	7,924	0,00205	0,00241
Kraksaan	Probolinggo	197661000	24232000	151302	2,880	3,038	0,01357	0,01467
Bondowoso	Jember	33538000	431000	149295	9,000	9,288	0,00074	0,00143
Lumajang	Jember	19742000	1589000	149248	14,175	14,598	0,00429	0,00468
Tanggul	Jember	5607000	1635000	148692	6,683	6,881	0,00210	0,00199
Situbondo	Bondowoso	48597000	52000	150023	7,898	8,147	0,00008	0,00124
Jember	Genteng	5204000	1651000	148634	15,165	15,618	0,00481	0,00458
Banyuwangi	Genteng	48005000	2670000	149165	7,943	8,180	0,00404	0,00499
Banyuwangi	Jember	15649000	4154000	149165	19,328	19,907	0,01531	0,01517
Situbondo	Banyuwangi	352022000	51122000	150023	1,103	1,117	0,01028	0,01121
Paiton	Kraksaan	214041000	23950000	151927	1,935	2,042	0,00894	0,00932
Paiton	Situbondo	434429000	47610000	151927	2,588	2,609	0,02171	0,02084
Kebonagung	Sengkaling	42873000	11742000	143647	4,275	4,497	0,01077	0,01005

Dari tabel diatas pada saat dilakukan pelepasan saluran Purwosari – Pakis indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) masih berada dibatas kestabilan yaitu

kurang dari satu (1). Indek FVSI dan LQP setelah dilakukan pelepasan saluran dari Purwosari ke Pakis diperoleh nilai FVSI terbesar 0,04843 Probolinggo ke Gondang Wetan dan LQP 0,04341 Bangil ke Bulukandang.

Tabel 4.8 Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 08.30 saat saluran Gondang Wetan – Bangil lepas

Pengirim	Penerima	Pengirim P(Watt)	Penerima Q(Var)	Pengirim V(Volt)	X (Ohm)	Z (Ohm)	Jam 08.30	
							FVSI	LQP
Grati	Gondang Wetan	458763000	210060000	149858	1,193	1,206	0,04563	0,04699
Gondang Wetan	Rejoso	40135000	17487000	147609	2,363	2,439	0,00809	0,00766
Kraksaan	Gending	957000	1616000	148726	3,353	3,460	0,00104	0,00098
Probolinggo	Gondang Wetan	79740000	26371000	147318	7,673	7,9183	0,03972	0,04047
Gondang Wetan	Pier	440482000	138830000	147609	1,283	1,298	0,03350	0,03538
Bangil	Bumicokro	76616000	29700000	145586	0,405	0,411	0,00233	0,00228
Pier	Bangil	209740000	70074000	145821	0,338	0,340	0,00453	0,00449
Bangil	Bulukandang	70727000	15793000	145586	5,310	5,468	0,01678	0,01708
Bulukandang	Lawang	39677000	6457000	144350	4,905	5,053	0,00645	0,00643
Lawang	Kebonagung	7347000	3229000	143769	5,873	6,057	0,00390	0,00369
Pakis	Kebonagung	133048000	40044000	144135	0,833	0,843	0,00659	0,00653
Sutami	Kebonagung	53320000	24343000	145472	6,345	6,549	0,03110	0,03022
Sutami	Wlingi	13903000	11222000	145472	1,688	1,934	0,00470	0,00358
Pier	Purwosari	195959000	49389000	145821	0,383	0,388	0,00366	0,00360
Purwosari	Pakis	164971000	39134000	145605	2,993	3,030	0,02265	0,02426
Probolinggo	Lumajang	93055000	7368000	147318	5,310	5,607	0,00804	0,00928
Lumajang	Tanggul	29181000	2858000	145739	7,695	7,924	0,00439	0,00459
Kraksaan	Probolinggo	221085000	2279000	148726	2,880	3,038	0,00132	0,00450
Bondowoso	Jember	37495000	6540000	146270	9,000	9,288	0,01172	0,01200
Lumajang	Jember	18142000	1628000	145739	14,175	14,598	0,00461	0,00493
Tanggul	Jember	4887000	3534000	145127	6,683	6,881	0,00476	0,00449
Situbondo	Bondowoso	53727000	8508000	147531	7,898	8,147	0,01314	0,01387
Jember	Genteng	2654000	4207000	145167	15,165	15,618	0,01284	0,01212
Banyuwangi	Genteng	52785000	11958000	146613	7,943	8,180	0,01875	0,01920
Banyuwangi	Jember	19576000	1953000	146613	19,328	19,907	0,00745	0,00826
Situbondo	Banyuwangi	352583000	57638000	147531	1,103	1,117	0,01199	0,01295
Paiton	Kraksaan	241706000	2741000	149821	1,935	2,042	0,00105	0,00268
Paiton	Situbondo	440363000	68606000	149821	2,588	2,609	0,03217	0,04194
Kebonagung	Sengkaling	55815000	20792000	143770	4,275	4,497	0,01903	0,01773

Dari tabel diatas pada saat dilakukan pelepasan saluran Gondang Wetan – Bangil indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) masih berada dibatas kestabilan yaitu kurang dari satu (1). Indek FVSI dan LQP setelah dilakukan pelepasan saluran dari Gondang Wetan ke Bangil diperoleh nilai FVSI terbesar

0,04563 Grati ke Gondang Wetan dan LQP 0,04699 Grati ke Gondang Wetan.

Tabel 4.9 Perhitungan FVSI dan LQP pada jam 19.30 saat saluran Banyuwangi – Genteng lepas

Pengirim	Penerima	Pengirim	Penerima	Pengirim	X (Ohm)	Z (Ohm)	Jam 19.30	
		P(Watt)	Q(Var)	V(Volt)			FVSI	LQP
Grati	Gondang Wetan	623641000	153591000	151933	1,193	1,206	0,03246	0,03589
Gondang Wetan	Rejoso	40313000	17750000	149995	2,363	2,439	0,00795	0,00753
Kraksaan	Gending	2323000	1375000	154038	3,353	3,460	0,00083	0,00078
Gondang Wetan	Probolinggo	8662000	28311000	149995	7,673	7,918	0,04113	0,03865
Gondang Wetan	Pier	371456000	103953000	149995	1,283	1,298	0,02429	0,02550
Bangil	Bumicokro	67617000	22876000	148495	0,405	0,411	0,00173	0,00169
Gondang Wetan	Bangil	133067000	25550000	149995	3,825	3,945	0,01849	0,01942
Pier	Bangil	90068000	36809000	148610	0,338	0,340	0,00229	0,00226
Bangil	Bulukandang	89634000	16505000	148495	5,310	5,468	0,01686	0,01776
Bulukandang	Lawang	56398000	6879000	147101	4,905	5,053	0,00662	0,00689
Lawang	Kebonagung	20528000	1820000	146384	5,873	6,057	0,00212	0,00212
Pakis	Kebonagung	179273000	46887000	146633	0,833	0,843	0,00745	0,00745
Sutami	Kebonagung	46548000	23104000	147749	6,345	6,549	0,02861	0,02759
Sutami	Wlingi	55651000	13085000	147749	1,688	1,934	0,00531	0,00412
Pier	Purwosari	250476000	53746000	148610	0,383	0,388	0,00384	0,00380
Purwosari	Pakis	219345000	45979000	148365	2,993	3,030	0,02563	0,02856
Probolinggo	Lumajang	193928000	18582000	151236	5,310	5,607	0,01924	0,02536
Lumajang	Tanggul	71578000	5801000	148204	7,695	7,924	0,00862	0,01064
Kraksaan	Probolinggo	254238000	63548000	154038	2,880	3,038	0,03434	0,03466
Bondowoso	Jember	74230000	21524000	149259	9,000	9,288	0,03704	0,03838
Lumajang	Jember	51279000	167000	148204	14,175	14,598	0,00046	0,00481
Tanggul	Jember	26209000	3574000	146943	6,683	6,881	0,00469	0,00469
Situbondo	Bondowoso	102869000	26038000	151988	7,898	8,147	0,03790	0,04055
Jember	Genteng	85382000	16941000	146748	15,165	15,618	0,05061	0,06218
Banyuwangi	Jember	49974000	13423000	150524	19,328	19,907	0,04859	0,05307
Situbondo	Banyuwangi	469940000	120048000	151988	1,103	1,1171	0,02353	0,02493
Paiton	Kraksaan	287929000	70387000	156125	1,935	2,042	0,02489	0,02444
Paiton	Situbondo	625559000	168737000	156125	2,588	2,609	0,07287	0,08929
Kebonagung	Sengkaling	75286000	22882000	146194	4,275	4,497	0,02026	0,01921

Dari tabel diatas pada saat dilakukan pelepasan saluran Banyuwangi – Genteng indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI) dan *Line Stability Factor* (LQP) masih berada dibatas kestabilan yaitu kurang dari satu (1). Indek FVSI dan LQP setelah dilakukan pelepasan saluran dari Banyuwangi ke Genteng diperoleh nilai FVSI terbesar 0,04859 Banyuwangi ke Jember dan LQP 0,08929 Paiton ke Situbondo.

Tabel 4.10 Perhitungan LCPI pada jam 02.00

Pengirim	Penerima	Penerima Q(Var)	Pengirim V(Volt)	Penerima P(Watt)	A	B	Alfa	Beta	Teta	Jam 02.00 LCPI
Grati	Gondang Wetan	123105000	148519	381034000	1,000	1,2065	0,00162	81,38716	1,10	0,03913
Gondang Wetan	Rejoso	17267000	147041	39881000	1,000	2,4400	0,00092	75,54037	0,30	0,01204
Kraksaan	Gending	1491000	148054	1014000	1,000	3,4603	0,00181	75,66423	0,00	0,00107
Probolinggo	Gondang Wetan	16739000	146949	53843000	0,9993	7,9189	0,00959	75,65429	1,10	0,04334
Gondang Wetan	Pier	59953000	147041	252810000	1,000	1,2990	0,00195	80,97644	0,90	0,02376
Bangil	Bumicokro	18139000	146059	59289000	1,000	0,4107	0,00020	80,43649	0,10	0,00214
Gondang Wetan	Bangil	14231000	147041	91670000	1,000	3,9456	0,00236	75,76773	0,90	0,02653
Pier	Bangil	30437000	146158	79516000	1,000	0,3410	0,00011	82,38330	0,00	0,00260
Bangil	Bulukandang	9443000	146059	58428000	1,000	5,4680	0,00415	76,16183	0,80	0,02373
Bulukandang	Lawang	2015000	145160	30972000	1,000	5,0532	0,00358	76,05689	0,40	0,00904
Lawang	Kebonagung	4403000	144801	3170000	1,000	6,0578	0,00553	75,77956	0,10	0,00583
Pakis	Kebonagung	25208000	145139	98748000	1,000	0,8439	0,00085	80,76190	0,20	0,00653
Sutami	Kebonagung	12855000	146133	57556000	1,000	6,5485	0,00654	75,64683	0,90	0,03279
Sutami	Wlingi	3519000	146133	11702000	1,000	1,9345	0,00046	60,73396	0,00	0,00319
Pier	Purwosari	22304000	146158	147432000	1,000	0,3890	0,00020	79,90013	0,10	0,00348
Purwosari	Pakis	16972000	146035	123525000	0,999	3,3031	0,01063	80,98691	1,00	0,02051
Probolinggo	Lumajang	3406000	146949	92244000	0,999	5,6668	0,02834	71,24554	1,30	0,03413
Lumajang	Tanggul	27000	145760	31681000	0,999	7,9237	0,00872	76,16986	0,60	0,01168
Kraksaan	Probolinggo	8926000	148054	190128000	1,000	3,3083	0,00826	71,39320	1,50	0,03835
Bondowoso	Jember	1955000	146003	32704000	0,9991	9,2880	0,01316	75,66399	0,70	0,01737
Lumajang	Jember	2737000	145760	20042000	0,998	14,5978	0,02973	76,14539	0,70	0,02046
Tanggul	Jember	2934000	145253	6080000	1,000	6,8820	0,00659	76,15724	0,10	0,00561
Situbondo	Bondowoso	1621000	146821	47541000	0,999	8,1480	0,01004	75,73885	1,00	0,02007
Jember	Genteng	2333000	145252	5440000	0,998	15,6182	0,03399	76,13331	0,20	0,01055
Banyuwangi	Genteng	3826000	145924	47100000	0,999	8,1808	0,00931	76,12167	0,90	0,02305
Banyuwangi	Jember	2861000	145924	13299000	0,996	19,9079	0,05540	76,10623	0,70	0,02224
Situbondo	Banyuwangi	54997000	146821	347414000	0,999	1,1176	0,00671	80,69905	1,00	0,02288
Paiton	Kraksaan	8491000	148867	206695000	1,000	2,0422	0,00378	71,32342	1,10	0,02737
Paiton	Situbondo	55031000	148867	424969000	0,998	2,6100	0,01409	82,52591	2,90	0,05177
Kebonagung	Sengkaling	11731000	144892	42877000	1,000	4,4968	0,00244	71,89874	0,50	0,02097

Indek LCPI pada saluran tergantung pada parameter saluran, daya aktif dan reaktif pada sisi penerima, tegangan pengirim. Dari tabel diatas diperoleh hasil perhitungan LCPI kurang dari satu (1) untuk semua saluran. Hal ini menandakan bahwa pada saat sistem dibebani jam 02.00 masih berada pada batas kestabilan. Nilai LCPI terbesar diperoleh pada saluran Paiton ke Situbondo dengan nilai 0,05177 sedangkan nilai indek terkecil diperoleh pada saluran Kraksaan ke Gending dengan nilai 0,00107.

Tabel 4.11 Perhitungan LCPI pada jam 08.30

Pengirim	Penerima	Penerima	Pengirim	Penerima	A	B	Alfa	Beta	Teta	Jam 08.30
		Q(Var)	V(Volt)	P(Wat)						
Grati	Gondang Wetan	228029000	150090	458971000	1,000	1,2065	0,00162	81,38716	1,30	0,06306
Gondang Wetan	Rejoso	17481000	147697	40082000	1,000	2,4400	0,00092	75,54037	0,20	0,01205
Kraksaan	Gending	1594000	147734	954000	1,000	3,4603	0,00181	75,66423	0,00	0,00113
Probolinggo	Gondang Wetan	41678000	146570	76924000	0,9993	7,9189	0,00959	75,65429	1,80	0,08766
Gondang Wetan	Pier	110964000	147697	321754000	1,000	1,2990	0,00195	80,97644	1,00	0,03814
Bangil	Bumicokro	29684000	146158	76711000	1,000	0,4107	0,00020	80,43649	0,10	0,00323
Gondang Wetan	Bangil	29769000	147697	117133000	1,000	3,9456	0,00236	75,76773	1,10	0,04173
Pier	Bangil	42379000	146290	94793000	1,000	0,3410	0,00011	82,38330	0,10	0,00348
Bangil	Bulukandang	17712000	146158	72477000	1,000	5,4680	0,00415	76,16183	1,00	0,03537
Bulukandang	Lawang	8306000	144839	41609000	1,000	5,0532	0,00358	76,05689	0,50	0,01743
Lawang	Kebonagung	1415000	144180	9334000	1,000	6,0578	0,00553	75,77956	0,20	0,00427
Pakis	Kebonagung	45774000	144483	131061000	1,000	0,8439	0,00085	80,76190	0,30	0,01071
Sutami	Kebonagung	16672000	145453	53085000	1,000	6,5485	0,00654	75,64683	0,90	0,03630
Sutami	Wlingi	11166000	145453	23911000	1,000	1,9345	0,00046	60,73396	0,00	0,00784
Pier	Purwosari	54971000	146290	194001000	1,000	0,3890	0,00020	79,90013	0,20	0,00641
Purwosari	Pakis	44745000	146060	162485000	0,999	3,0301	0,01063	80,98691	1,30	0,03955
Probolinggo	Lumajang	10528000	146570	92467000	0,999	5,6068	0,02834	71,24554	1,20	0,04142
Lumajang	Tanggul	4342000	144868	29211000	0,999	7,9237	0,00872	76,16986	0,60	0,01690
Kraksaan	Probolinggo	14381000	147734	216875000	1,000	3,0383	0,00826	71,39320	1,70	0,04616
Bondowoso	Jember	54799000	145185	37089000	0,9991	9,2880	0,01316	75,66399	0,80	0,02552
Lumajang	Jember	123000	144868	18220000	0,998	14,5978	0,02973	76,14539	0,70	0,01245
Tanggul	Jember	2092000	144173	5054000	1,000	6,8820	0,00659	76,15724	0,10	0,00429
Situbondo	Bondowoso	7494000	146395	53157000	0,999	8,1480	0,01004	75,73885	1,10	0,03094
Jember	Centeng	3412000	144146	2746000	0,998	15,6182	0,03399	76,13331	0,10	0,01191
Banyuwangi	Centeng	11297000	145481	52262000	0,999	8,1808	0,00931	76,12167	1,00	0,03631
Banyuwangi	Jember	1143000	145481	19318000	0,996	19,9079	0,05540	76,10623	0,90	0,02155
Situbondo	Banyuwangi	56673000	146395	350322000	0,999	1,1176	0,00671	80,69905	1,00	0,02346
Paiton	Kraksaan	9290000	148669	237881000	1,000	2,0422	0,00378	71,32342	1,20	0,03142
Paiton	Situbondo	67267000	148669	435649000	0,998	2,6100	0,01409	82,52591	2,90	0,05830
Kebonagung	Sengkaling	20791000	144087	55618000	1,000	4,4968	0,00244	71,89874	0,50	0,03210

Dari tabel diatas diperoleh hasil perhitungan LCPI kurang dari satu (1) untuk semua saluran. Hal ini menandakan bahwa pada saat sistem dibebani jam 08.30 masih berada pada batas kestabilan. Nilai LCPI terbesar diperoleh pada saluran Probolinggo ke Gondang Wetan dengan nilai 0,08766 sedangkan nilai indek terkecil diperoleh pada saluran Kraksaan ke Gending dengan nilai 0,00113.

Tabel 4.12 Perhitungan LCPI pada jam 19.30

Pengirim	Penerima	Penerima	Pengirim	Penerima	A	B	Alfa	Beta	Teta	Jam 19.30
		Q(Var)	V(Volt)	P(Watt)						
Grati	Gondang Wetan	200243000	151099	618708000	0,999812	1,206503	0,001624	81,387164	1,80	0,06148
Gondang Wetan	Rejoso	17833000	148779	40262000	0,999937	2,439966	0,000923	75,540375	0,20	0,01205
Kraksaan	Gending	1270000	149242	2294000	0,999876	3,460294	0,001812	75,664234	0,00	0,00112
Gondang Wetan	Probolinggo	20792000	148779	9664000	0,999344	7,918882	0,009594	75,654287	0,10	0,03223
Gondang Wetan	Pier	101147000	148779	368385000	0,999785	1,298960	0,001948	80,976435	1,20	0,03702
Bangil	Bumicokro	22902000	147294	67387000	0,999979	0,410669	0,000204	80,436492	0,10	0,00256
Gondang Wetan	Bangil	24695000	148779	131588000	0,999837	3,945586	0,002357	75,767727	1,20	0,04014
Pier	Bangil	36959000	147411	89756000	0,999985	0,340982	0,000112	82,383301	0,00	0,00305
Bangil	Bulukandang	15728000	147294	88582000	0,999705	5,468009	0,004149	76,161826	1,20	0,03676
Bulukandang	Lawang	6076000	145922	55763000	0,999747	5,053242	0,003585	76,056892	0,80	0,01835
Lawang	Kebonagung	2651000	145231	20153000	0,999618	6,057834	0,005330	75,379562	0,30	0,00864
Pakis	Kebonagung	43449000	145499	177731000	0,999909	0,843868	0,000847	80,761901	0,40	0,01139
Sutami	Kebonagung	27651000	146848	47308000	0,999553	6,548544	0,006544	75,646832	0,70	0,04677
Sutami	Wlingi	15339000	146848	54511000	0,999986	1,934520	0,000460	60,733964	0,20	0,01436
Pier	Purwosari	50614000	147411	248842000	0,999980	0,388990	0,000199	79,900133	0,20	0,00669
Purwosari	Pakis	42792000	147172	216811000	0,999827	3,030145	0,010632	80,986912	1,70	0,04264
Probolinggo	Lumajang	19528000	147480	167045000	0,998543	5,606791	0,028340	71,245536	2,30	0,07446
Lumajang	Tanggul	6764000	144616	59607000	0,999381	7,923707	0,008719	76,169856	1,20	0,03154
Kraksaan	Probolinggo	14161000	149242	225211000	0,999571	3,038326	0,008264	71,393196	1,70	0,04655
Bondowoso	Jember	8754000	144669	46179000	0,999100	9,288004	0,013156	75,663993	1,10	0,03533
Lumajang	Jember	1195000	144616	39410000	0,997895	14,597834	0,029728	76,145391	1,50	0,02955
Tanggul	Jember	2348000	143416	15079000	0,999532	6,882001	0,006590	76,157237	0,30	0,00788
Situbondo	Bondowoso	11763000	146370	73747000	0,999309	8,148021	0,010045	75,738847	1,50	0,04498
Jember	Genteng	2787000	143287	9854000	0,997597	15,618177	0,033987	76,133307	0,40	0,01538
Banyuwangi	Genteng	13285000	144766	74251000	0,999341	8,180771	0,009314	76,121668	1,60	0,04795
Banyuwangi	Jember	1410000	144766	22792000	0,996096	19,907900	0,055401	76,106235	1,20	0,02591
Situbondo	Banyuwangi	127271000	146370	509582000	0,999283	1,117591	0,006706	80,699047	1,40	0,04339
Paiton	Kraksaan	20262000	150636	258398000	0,999805	2,042213	0,003778	71,323415	1,20	0,03671
Paiton	Situbondo	169368000	150636	632141000	0,998120	2,609979	0,014090	82,525911	4,10	0,11547
Kebonagung	Sengkaling	22914000	145078	74659000	0,999870	4,496849	0,002437	71,898739	0,80	0,03844

Dari tabel diatas diperoleh hasil perhitungan LCPI kurang dari satu (1) untuk semua saluran. Hal ini menandakan bahwa pada saat sistem dibebani jam 19.30 masih berada pada batas kestabilan. Nilai LCPI terbesar diperoleh pada saluran Paiton ke Situbondo dengan nilai 0,11547 sedangkan nilai indeks terkecil diperoleh pada saluran Kraksaan ke Gending dengan nilai 0,00112.

Tabel 4.13 Perhitungan LCPI pada jam 02.00 saat saluran Purwosari – Pakis lepas

Pengirim	Penerima	Penerima Q(Var)	Pengirim V(Volt)	Penerima P(Watt)	A	B	Alfa	Beta	Teta	Jam 02.00 LCPI
Grati	Gondang Wetan	150141000	153004	380908000	1,000	1,2065	0,00162	81,38716	1,10	0,04238
Gondang Wetan	Rejos	16978000	151353	39880000	1,000	2,4400	0,00092	75,54037	0,20	0,01125
Kraksaan	Gending	1562000	151302	1023000	1,000	3,4603	0,00181	75,66423	0,00	0,00107
Probolinggo	Gondang Wetan	33544000	150475	59456000	0,9993	7,9189	0,00959	75,65429	1,40	0,06606
Gondang Wetan	Pier	66945000	151353	248556000	1,000	1,2990	0,00195	80,97644	0,70	0,02384
Bangil	Bumcokro	18056000	150245	59950000	1,000	0,4107	0,00020	80,43649	0,00	0,00202
Gondang Wetan	Bangil	18005000	151353	100832000	1,000	3,9456	0,00236	75,76773	0,90	0,02911
Pier	Bangil	55755000	150438	199121000	1,000	0,3410	0,00011	82,38330	0,20	0,00492
Bangil	Bulukandang	37982000	150245	184058000	1,000	5,4680	0,00415	76,16183	2,40	0,07853
Bulukandang	Lawang	22959000	147365	155106000	1,000	5,0532	0,00358	76,05689	2,00	0,05563
Lawang	Kebonagung	11186000	145369	126113000	1,000	6,0578	0,00553	75,77956	2,00	0,04802
Kebonagung	Pakis	1624000	143647	24613000	1,000	0,8439	0,00085	80,76190	0,00	0,00091
Sutami	Kebonagung	33159000	145777	57465000	1,000	6,5485	0,00654	75,64683	0,90	0,05717
Sutami	Wlingi	7151000	145777	11709000	1,000	1,9345	0,00046	60,73396	0,10	0,00436
Pier	Purwosari	4766000	150413	23556000	1,000	0,3890	0,00020	79,90013	0,00	0,00061
Probolinggo	Lumajang	1795000	150475	92003000	0,999	5,6068	0,02834	71,24554	1,30	0,03097
Lumajang	Tanggul	1401000	149248	31438000	0,999	7,9237	0,00872	76,16986	0,60	0,01262
Kraksaan	Probolinggo	24232000	151302	195978000	1,000	3,0383	0,00826	71,39320	1,40	0,04542
Bondowoso	Jember	431000	149295	33422000	0,9991	9,2880	0,01316	75,66399	0,80	0,01448
Lumajang	Jember	1589000	149248	19681000	0,998	14,5978	0,02973	76,14539	0,70	0,01637
Tanggul	Jember	1635000	148692	5605000	1,000	6,8820	0,00659	76,15724	0,10	0,00365
Situbondo	Bondowoso	52000	150023	48386000	0,999	8,1480	0,01004	75,73885	1,00	0,01732
Jember	Genteng	1651000	148634	5199000	0,998	15,6182	0,03399	76,13331	0,20	0,00804
Banyuwangi	Genteng	2670000	149165	47801000	0,999	8,1808	0,00931	76,12167	1,00	0,02066
Banyuwangi	Jember	4154000	149165	15597000	0,996	19,9079	0,05540	76,10623	0,80	0,02773
Situbondo	Banyuwangi	51122000	150023	351051000	0,999	1,1176	0,00671	80,69905	1,00	0,02128
Paiton	Kraksaan	23950000	151927	212720000	1,000	2,0422	0,00378	71,32342	1,10	0,03215
Paiton	Situbondo	47610000	151927	431552000	0,998	2,6100	0,01409	82,52591	2,70	0,04675
Kebonagung	Sengkaling	11742000	143647	42738000	1,000	4,4968	0,00244	71,89874	0,40	0,02131

Dari tabel diatas pada saat dilakukan pelepasan saluran Purwosari – Pakis indeks LCPI masih berada dibatas kestabilan yaitu kurang dari satu (1). Indek LCPI setelah dilakukan pelepasan saluran dari Purwosari ke Pakis diperoleh nilai LCPI terbesar 0,07853 Bangil ke Bulukandang dan LCPI terkecil 0,00061 Pier ke Purwosari.

Tabel 4.14 Perhitungan LCPI pada jam 08.30 saat saluran Gondang Wetan – Bangil lepas

Pengirim	Penerima	Penerima	Pengirim	Penerima	A	B	Alfa	Beta	Teta	Jam 08.30
		Q(Var)	W(Volt)	P(Wat)						
Grati	Gondang Wetan	21060000	149858	456629000	1,000	1.2065	0,00162	81,38716	1,30	0,05936
Gondang Wetan	Rejoso	17487000	147609	40082000	1,000	2,4400	0,00092	75,54037	0,30	0,01207
Kraksaan	Cending	1616000	148726	957000	1,000	3,4603	0,00181	75,66423	0,00	0,00113
Probolinggo	Gondang Wetan	26371000	147318	79115000	0,9993	7,9189	0,00959	75,65429	1,70	0,06591
Gondang Wetan	Pier	138830000	147609	438517000	1,000	1,2990	0,00195	80,97644	1,50	0,04913
Bangil	Bumicokro	29700000	145586	76595000	1,000	0,4107	0,00020	80,43649	0,10	0,00326
Pier	Bangil	70074000	145821	209621000	1,000	0,3410	0,00011	82,38330	0,10	0,00624
Bangil	Bulukandang	15793000	145586	70400000	1,000	5,4680	0,00415	76,16183	1,00	0,03321
Bulukandang	Lawang	6457000	144350	39582000	1,000	5,0532	0,00358	76,05689	0,50	0,01533
Lawang	Kebonagung	3229000	143769	7343000	1,000	6,0578	0,00553	75,77956	0,10	0,00578
Pakis	Kebonagung	40044000	144135	132925000	1,000	0,8439	0,00085	80,76190	0,30	0,00989
Satami	Kebonagung	24343000	145472	53053000	1,000	6,5485	0,00654	75,64683	0,80	0,04548
Satami	Wingi	11222000	145472	13889000	1,000	1,9345	0,00046	60,73396	0,10	0,00606
Pier	Purwosari	49389000	145821	195842000	1,000	0,3890	0,00020	79,90013	0,20	0,00607
Purwosari	Pakis	39134000	145605	164321000	0,999	3,0301	0,01063	80,98691	1,20	0,03679
Probolinggo	Lumajang	7368000	147318	92324000	0,999	5,6068	0,02834	71,24554	1,20	0,03786
Lumajang	Tanggul	2858000	145739	29103000	0,999	7,9237	0,00872	76,16986	0,60	0,01451
Kraksaan	Probolinggo	2279000	148726	218930000	1,000	3,0383	0,00826	71,39320	1,70	0,03960
Bondowoso	Jember	6540000	146270	37337000	0,9991	9,2880	0,01316	75,66399	0,80	0,02704
Lumajang	Jember	1628000	145739	18088000	0,998	14,5978	0,02973	76,14539	0,70	0,01622
Tanggul	Jember	3534000	145127	4885000	1,000	6,8820	0,00659	76,15724	0,10	0,00601
Situbondo	Bondowoso	8508000	147531	53451000	0,999	8,1480	0,01004	75,73885	1,10	0,03204
Jember	Centeng	4207000	145167	2652000	0,998	15,6182	0,03399	76,13331	0,10	0,01396
Banyuwangi	Centeng	11958000	146613	52514000	0,999	8,1808	0,00931	76,12167	1,00	0,03682
Banyuwangi	Jember	1953000	146613	19482000	0,996	19,9079	0,05540	76,10623	0,90	0,02426
Situbondo	Banyuwangi	57638000	147531	351570000	0,999	1,1176	0,00671	80,69905	1,00	0,02334
Paiton	Kraksaan	2741000	149821	239991000	1,000	2,0422	0,00378	71,32342	1,20	0,02893
Paiton	Situbondo	68606000	149821	437277000	0,998	2,6100	0,01409	82,52591	2,90	0,05813
Kebonagung	Sengkaling	20792000	143770	55573000	1,000	4,4968	0,00244	71,89874	0,60	0,03223

Dari tabel diatas pada saat dilakukan pelepasan saluran Gondang Wetan – Bangil indeks LCPI masih berada dibatas kestabilan yaitu kurang dari satu (1). Indek LCPI setelah dilakukan pelepasan saluran dari Gondang Wetan ke Bangil diperoleh nilai LCPI terbesar 0,06591 Probolinggo ke Gondang Wetan dan LCPI terkecil 0,00113 Kraksaan ke Gending.

Tabel 4.15 Perhitungan LCPI pada jam 19.30 saat saluran Banyuwangi – Genteng lepas

Pengirim	Penerima	Penerima	Pengirim	Penerima	A	B	Alfa	Beta	Teta	Jan 19.30 LCPI
		Q(Var)	V(Volt)	P(Watt)						
Grati	Gondang Wetan	153591000	151953	620288000	0,999812	1,206503	0,001624	81,387164	1,90	0,05122
Gondang Wetan	Rejos	17750000	149995	40261000	0,999937	2,439966	0,000923	75,540375	0,20	0,01182
Kraksaan	Gending	13750000	154038	23230000	0,999876	3,460294	0,001812	75,664234	0,00	0,00111
Gondang Wetan	Probolinggo	28311000	149995	85950000	0,999344	7,918882	0,009594	75,654287	0,20	0,04159
Gondang Wetan	Pier	103953000	149995	370128000	0,999785	1,298960	0,001948	80,976435	1,10	0,03712
Bangil	Bumicokro	22876000	148495	67602000	0,999979	0,410669	0,000204	80,436492	0,10	0,00252
Gondang Wetan	Bangil	25550000	149995	132274000	0,999837	3,945586	0,002357	75,767727	1,20	0,04020
Pier	Bangil	36809000	148610	90046000	0,999985	0,340982	0,000112	82,383301	0,10	0,00299
Bangil	Bulukandang	16505000	148495	89138000	0,999705	5,468009	0,004149	76,161826	1,20	0,03705
Bulukandang	Lawang	68790000	147101	56217000	0,999747	5,053242	0,003585	76,056892	0,70	0,01889
Lawang	Kebonagung	1820000	146384	20499000	0,999618	6,057834	0,005530	75,779562	0,30	0,00769
Pakis	Kebonagung	46887000	146633	179063000	0,999909	0,843868	0,000847	80,761901	0,40	0,01178
Sutami	Kebonagung	23104000	147749	46343000	0,999553	6,548544	0,006544	75,646832	0,70	0,04063
Sutami	Wlingi	13085000	147749	55508000	0,999986	1,934520	0,000460	60,733964	0,30	0,01367
Pier	Purwosari	53746000	148610	250295000	0,999980	0,388990	0,000199	79,900133	0,30	0,00682
Purwosari	Pakis	45979000	148365	218261000	0,998827	3,030145	0,010632	80,986912	1,60	0,04382
Probolinggo	Lumajang	18582000	151236	190928000	0,998543	5,606791	0,028340	71,245536	2,60	0,07749
Lumajang	Tanggul	5801000	148204	71131000	0,999381	7,923707	0,008719	76,169856	1,40	0,03266
Kraksaan	Probolinggo	63548000	154038	251396000	0,999571	3,038326	0,008264	71,393196	1,60	0,07196
Bondowoso	Jember	21524000	149259	73607000	0,999100	9,288004	0,013156	75,663993	1,60	0,06516
Lumajang	Jember	167000	148204	50859000	0,997895	14,597834	0,029728	76,145391	1,80	0,03277
Tanggul	Jember	3574000	146943	26156000	0,999532	6,882001	0,006590	76,157237	0,40	0,01240
Situbondo	Bondowoso	26038000	151988	101883000	0,999309	8,148031	0,010045	75,738847	1,90	0,07104
Jember	Genteng	16941000	146748	84047000	0,997597	15,618177	0,033987	76,133307	3,40	0,10627
Banyuwangi	Jember	13423000	150524	49382000	0,996096	19,907900	0,055401	76,106235	2,20	0,08726
Situbondo	Banyuwangi	120048000	151988	468177000	0,999283	1,117591	0,006706	80,699047	1,30	0,03756
Paiton	Kraksaan	70387000	156125	285546000	0,999805	2,042213	0,003778	71,323415	1,20	0,05300
Paiton	Situbondo	168737000	156125	619539000	0,998120	2,609979	0,014090	82,525911	3,70	0,10642
Kebonagung	Sengkaling	22882000	146194	74878000	0,999870	4,496849	0,002437	71,898739	0,80	0,03789

Dari tabel diatas pada saat dilakukan pelepasan saluran Banyuwangi – Genteng indeks LCPI masih berada dibatas kestabilan yaitu kurang dari satu (1). Indek LCPI setelah dilakukan pelepasan saluran dari Banyuwangi ke Genteng diperoleh nilai LCPI terbesar 0,10642 Paiton ke Situbondo dan LCPI terkecil 0,00111 Kraksaan ke Gending.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan


Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisa pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk beban jam 02.00, jam 08.30, dan jam 19.30 indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP), dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI) masih berada di batas kestabilan yaitu kurang dari satu (1).
2. Indeks terbesar pada saat jam 02.00 diperoleh pada saluran dari Grati ke Gondang Wetan dengan indeks FVSI 0,02723, saluran Paiton ke Situbondo dengan LQP sebesar 0,03577 dan LCPI sebesar 0,05177 saluran Paiton ke Situbondo. Sedangkan indeks terkecil diperoleh pada saluran dari Lumajang ke Tanggul dengan FVSI sebesar 0,00041, saluran Kraksaan ke Gending dengan LQP sebesar 0,00091, dan LCPI sebesar 0,00107 saluran Kraksaan ke Gending.
3. Indeks terbesar pada saat jam 08.30 diperoleh pada saluran dari Probolinggo ke Gondang Wetan dengan indeks FVSI 0,06342, saluran Probolinggo ke Gondang Wetan dengan LQP sebesar 0,06261, dan LCPI 0,08766 saluran Probolinggo ke Gondang Wetan. Sedangkan indeks terkecil diperoleh pada saluran dari Lumajang ke Jember dengan FVSI sebesar 0,00035, saluran Lumajang ke Jember dengan LQP sebesar 0,00094, dan LCPI 0,00113 saluran Kraksaan ke Gending.
4. Indeks terbesar pada saat jam 19.30 diperoleh pada saluran dari Paiton ke Situbondo dengan indeks FVSI 0,07857, saluran Paiton ke Situbondo dengan LQP sebesar 0,09848, dan LCPI 0,11547 saluran Paiton ke Situbondo. Sedangkan indeks terkecil diperoleh pada saluran dari Kraksaan ke Gending dengan FVSI sebesar 0,00081, saluran Kraksaan ke Gending dengan LQP sebesar 0,00077, dan LCPI 0,00112 saluran Kraksaan ke Gending.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu sebuah pengembangan untuk memperbaiki indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP),



dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI) jika melebihi angka satu (1) agar kedua indeks tersebut masih berada dibatas kestabilan.

2. Tugas Akhir ini hanya melihat indeks *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), *Line Stability Factor* (LQP), dan *Line Collapse Proximity Index* (LCPI) tidak sampai memperbaiki indeks tersebut.
3. Perlu sebuah pengembangan untuk menentukan kestabilan sistem berdasar faktor-faktor lain misalnya faktor kontingensi, pertumbuhan beban di masa mendatang, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Taylor, C.W. (1994). *Power System Voltage Stability*. New York: McGraw-Hill.
- [2]. Cutsem, T.V., Vournas, C. (1998). *Voltage Stability of Electric Power Systems*. Kluwer Academic Publishers.
- [3]. Saadat, H., "Power System Analysis", McGraw-Hill, Inc, 1999.
- [4]. Mohamed A, Jasmon GB. A new clustering technique for power system voltage stability analysis. *Int J Electr Mach Power Syst* 1995;23(4):389–403.
- [5]. Musirin I, Rahman TKA. On-line voltage stability based contingency ranking using fast voltage stability index (FVSI). In: *Proc IEEE/PES transm distrib and exhibition conference*; 2002. p. 1118–23.
- [6]. Stevenson, W.D., Jr and John J. Grenger., "Power System Analysis, 4th Edition". McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [7]. Rajive Tiwari, "Line collapse proximity index for prediction of voltage collapse in power systems", Malaviya National Institute of Technology, Jaipur, India.
- [8]. Suprijanto, Adi. "Analisis Sistem Tenaga Listrik I", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9]. Penangsang, Ontoseno., "Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.



Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Sugiyanto, lahirkan di kota Sumenep, 05 Desember 1991. Penulis memulai pendidikannya dari SDN Pinggir Papas II pada tahun 1999 - 2005. Kemudian ia melanjutkan pendidikannya ke SMP Negeri 5 Sumenep pada tahun 2005 - 2008, setelah lulus ia diterima sebagai murid di SMA Negeri 1 Sumenep pada tahun 2008 - 2011. Pada tahun 2011 ia masuk ke Jurusan D3

Teknik Elektro ITS Bidang Studi Computer Control – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga lulus tahun 2015.

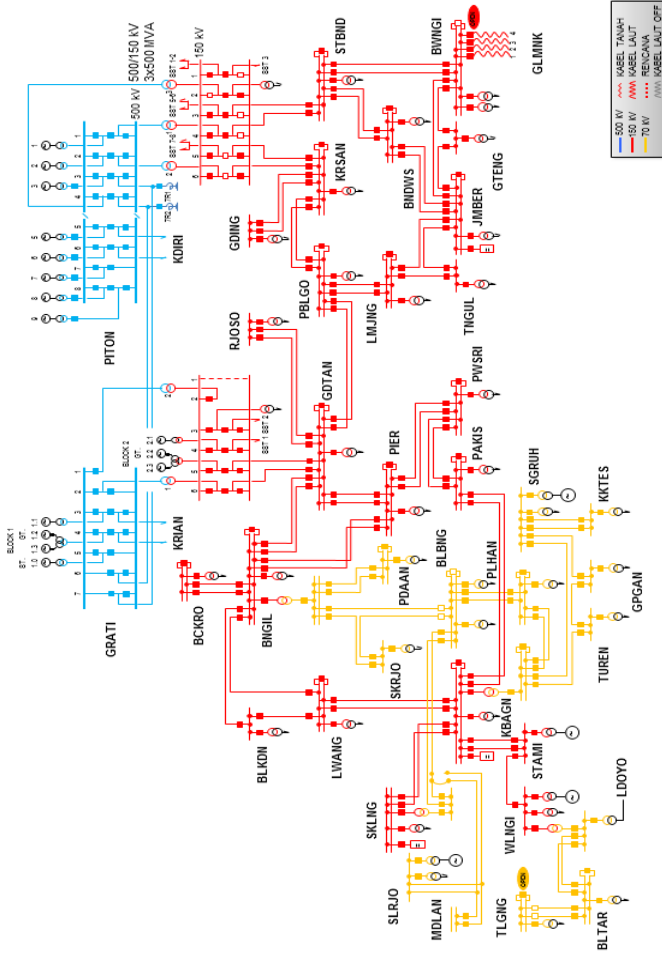
Penulis kemudian melanjutkan studi Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Departemen Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

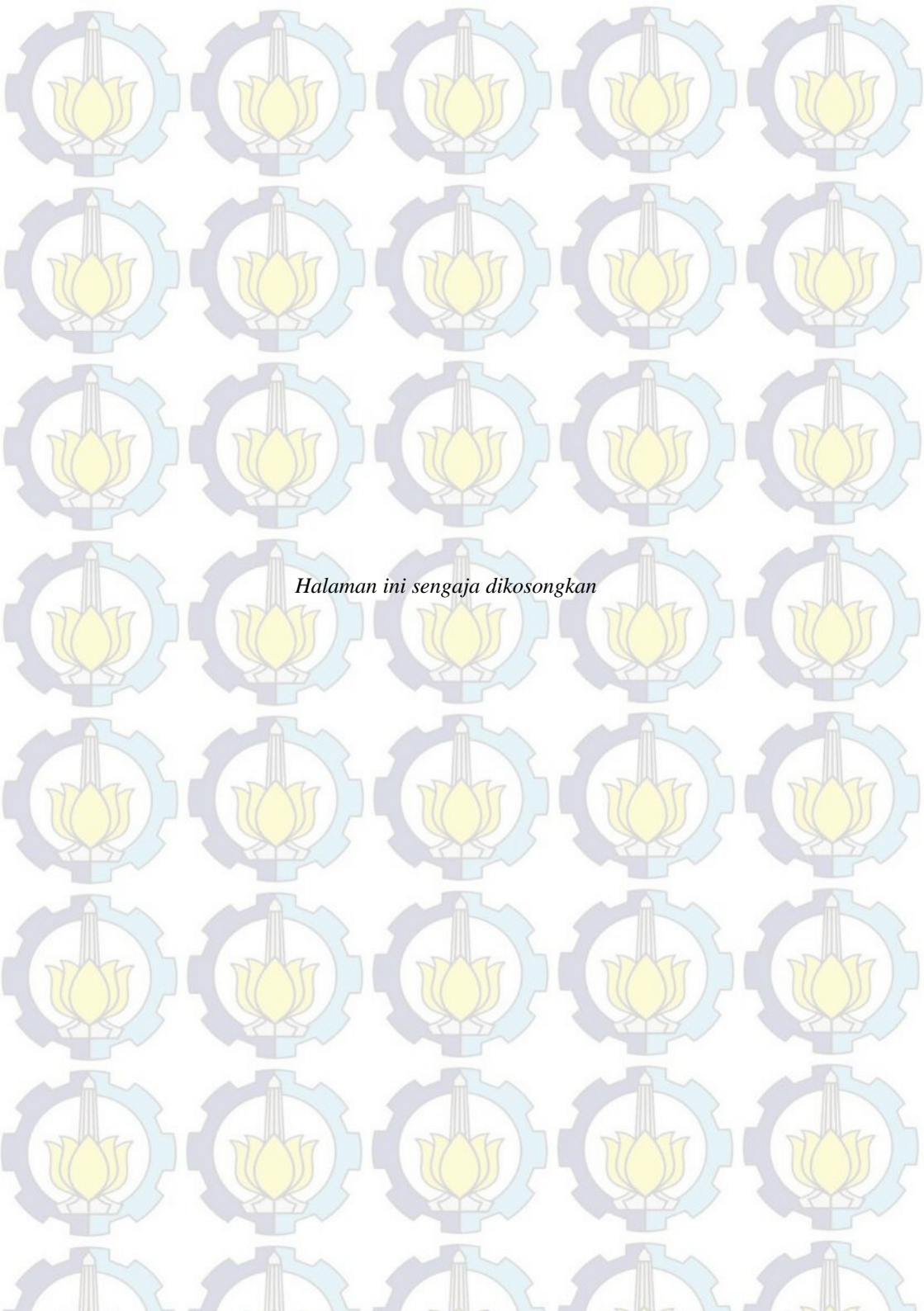
email : sugiyantoyantoo@gmail.com



Halaman ini sengaja dikosongkan

KONFIGURASISUBSISTEM PAITON - GRATI





Halaman ini sengaja dikosongkan