

**STUDI PERBAIKAN KESTABILAN TRANSIENT SISTEM SULSELBAR  
BERDASARKAN KASUS *BLACKOUT* MENGGUNAKAN PSAT**



**TUGAS AKHIR**

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

**OLEH:**

**NUR FADHLI**

**D41114522**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2019**



LEMBAR PENGESAHAN  
STUDI PERBAIKAN KESTABILAN TRANSIENT SISTEM SULSELBAR  
BERDASARKAN KASUS *BLACKOUT* MENGGUNAKAN PSAT

Disusun Oleh :

NUR FADHLI

D41114522

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

Makassar

Disahkan oleh :

Pembimbing I

Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST.MT

Nip. 197311181998031001

Pembimbing II

Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT

Nip. 196602011992022002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro

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

Nip. 196212311990031024



## ABSTRAK

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan masalah yang sangat penting dalam penyediaan daya kepada konsumen. Semakin berkembang sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan lemahnya performansi sistem ketika mengalami gangguan. Akibat jika tidak diredam dengan baik maka sistem akan terganggu dan dapat keluar dari area kestabilannya. Hal itu dapat mengakibatkan pengaruh lebih buruk seperti pemadaman total (*blackout*). Metode yang digunakan adalah metode analisis dengan memberikan gangguan hubung singkat di ruas transmisi Punagayya-Jenepono dan penambahan transmisi baru dengan melihat kestabilan transien (kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan). Analisis ini menggunakan *software Matlab PSAT*. Pada analisis ini terjadi kondisi abnormal yaitu ada pembangkit yang kehilangan sinkronisasinya yang mengakibatkan pengaruh pada sistem Interkoneksi yaitu terjadinya *blackout*. Akibat dari kegagalan sistem untuk beroperasi normal maka dilakukan pemasangan saluran transmisi baru agar sistem dapat beroperasi secara normal kembali. Simulasi saat diberikan gangguan hubung singkat di ruas transmisi Punagayya-Jenepono dengan lama gangguan 0.077 detik mengakibatkan beberapa pembangkit kehilangan sinkronisasinya, frekuensi pada pembangkit yang didapat juga ada yang melebihi batas toleransi (50Hz). Tegangan di beberapa bus mengalami jatuh tegangan yang sangat parah hingga 0 p.u hingga simulasi berakhir. Setelah pemasangan transmisi baru di Punagayya-T.Bunga, sistem Interkoneksi Sulselbar kembali normal. Dilihat dari hasil sudut rotor, dimana tidak ada lagi pembangkit yang kehilangan sinkronisasinya dan waktu pemutusan kritis bertambah sekitar 0.047 detik. Semua pembangkit pada kestabilan frekuensi kembali dalam batas toleransi (50Hz). Untuk tegangan di setiap bus juga kembali normal yaitu tidak ada lagi tegangan yang berada di bawah 0.95 p.u hingga simulasi berakhir.

Kata Kunci : Kestabilan transien, hubung singkat 3 fasa, penambahan saluran transmisi baru, *blackout*, waktu kritis pemutusan.



## Kata Pengantar

*Alhamdulillah Rabbil' alamin*, Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, sumber ilmu pengetahuan, yang Maha mengetahui ilmu pengetahuan serta pemberi kebenaran dan kebaikan yang tak terbatas sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, Nabi yang telah membawa umat manusia dari alam yang penuh dengan kejahilian menuju alam yang terang benderang seperti sekarang ini.

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

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

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

1. Bapak **Prof. Dr.Ir. H. Salama Manjang, ST., MT.** sebagai ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., MT** dan Ibu **Ir. Hj Zaenab Muslimin, MT** sebagai pembimbing I dan pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penyusunan Tugas Akhir ini,



3. Bapak dan ibu dosen serta staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin,
4. Seluruh pihak PT. PLN (persero) Wilayah Sulbagsel yang telah membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan.
5. Saudara dan segenap keluarga besar tercinta atas motivasi dan dorongan yang tak ternilai harganya,
6. Sahabat Rectifier14, Keluarga “Lab Relay” , serta seluruh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Hasanuddin
7. Tim PSAT yang telah banyak membantu saya dalam memahami Matlab PSAT
8. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Saya berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dalam mendukung kemajuan pengetahuan dan pendidikan di Indonesia. Demi terwujudnya Indonesia yang lebih baik dan bermartabat.

Makassar, April 2019

Nur Fadhli



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Metode Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Sistem Saluran Transmisi .....	5
2.3 Blackout Pada Jaringan Listrik .....	7
2.4 Teori Hubung Singkat .....	11
2.4.1 Penjelasan Umum .....	11
2.4.2 Gangguan Hubung Singkat Simetris .....	11
2.5 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	12
2.5.1 Kestabilan Keadaan Tetap (Steady State Stability) .....	13
2.5.2 Kestabilan Dinamis (Dynamic Stability) .....	14
2.5.3 Kestabilan Peralihan (Transient Stability) .....	15



2.6	PSAT (The Power System Analysis Toolbox) .....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		17
3.1	Jenis Penelitian .....	17
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian .....	17
3.3	Data-Data Yang Diperlukan .....	17
3.4	Metode Penelitian .....	18
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	18
3.6	Data Kelistrikan Sulawesi Selatan .....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		27
4.1	Gambaran Umum Sistem Tenaga Listrik Sulselbar .....	27
4.2	Hasil Simulasi dan Pembahasan .....	30
4.2.1	Hasil Simulasi Sistem Interkoneksi Sulselbar Pada Kondisi	
1	.....	30
A.	Kestabilan Transient Menggunakan Parameter Kestabilan Sudut Rotor Pada Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	32
B.	Kestabilan Transient Menggunakan Parameter Kestabilan Frekuensi Pada Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	35
C.	Kestabilan Transient Menggunakan Parameter Kestabilan Tegangan Pada Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	37
4.2.2	Hasil Simulasi Sistem Interkoneksi Sulselbar Pada Kondisi	
2	.....	42
A.	Kestabilan Transient Menggunakan Parameter Kestabilan Sudut Rotor Pada Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	45
B.	Kestabilan Transient Menggunakan Parameter Kestabilan Frekuensi Pada Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	48
C.	Kestabilan Transient Menggunakan Parameter Kestabilan Tegangan Pada Sistem Interkoneksi Sulselbar .....	49



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... 57

    5.1 Kesimpulan ..... 57

    5.2 Saran ..... 58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik .....	5
Gambar 2.2 Skema Voltage Collapse yang mengakibatkan <i>Blackout</i> .....	7
Gambar 2.3 Klasifikasi Sistem Tenaga .....	13
Gambar 2.4 Kondisi Stabil dan Tidak Stabil .....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2 Single Line Diagram Sistem Suselbar .....	21
Gambar 4.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Suselbar .....	30
Gambar 4.2 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Suselbar Pada Kondisi ..	32
Gambar 4.3 Grafik Sudut Rotor di Generator 1-5 Pada Kondisi 1 (lama gangguan = 0.076 detik) .....	34
Gambar 4.4 Grafik Sudut Rotor di Generator 1-5 Pada Kondisi 1 (lama gangguan = 0.077 detik) .....	35
Gambar 4.5 Grafik Frekuensi di Generator 1-5 Pada Kondisi 1 .....	36
Gambar 4.6 Grafik Tegangan di Bus 30 kV Pada Kondisi 1 .....	37
Gambar 4.7 Grafik Tegangan di Bus 70 kV Pada Kondisi 1 .....	38
Gambar 4.8 Grafik Tegangan di Bus 150 kV Pada Kondisi 1 .....	40
Gambar 4.9 Grafik Tegangan di Bus 275 kV Pada Kondisi 1 .....	41
Gambar 4.10 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Suselbar Pada Kondisi 2 .....	43

4.11 Grafik Sudut Rotor di Generator 1-5 Pada Kondisi 2 (lama gangguan = 0.077 detik) .....	45
---	----



Gambar 4.12 Grafik Sudut Rotor di Generator 1-5 Pada Kondisi 2 (lama gangguan = 0.123 detik) .....	46
Gambar 4.13 Grafik Sudut Rotor di Generator 1-5 Pada Kondisi 2 (lama gangguan = 0.124 detik) .....	46
Gambar 4.14 Grafik Frekuensi di Generator 1-5 Pada Kondisi 2 .....	47
Gambar 4.15 Grafik Tegangan di Bus 30 kV Pada Kondisi 2 .....	48
Gambar 4.16 Grafik Tegangan di Bus 70 kV Pada Kondisi 2 .....	49
Gambar 4.17 Grafik Tegangan di Bus 150 kV Pada Kondisi 2 .....	51
Gambar 4.18 Grafik Tegangan di Bus 275 kV Pada Kondisi 2 .....	52
Gambar 4.19 Grafik Profil Tegangan Setiap Bus Pada Kondisi 1 dan Kondisi 2 (a) Bus 30 kV, (b) Bus 70 kV, (c1)&(c2) Bus 150 kV, (d) Bus 275 kV .....	55



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penomoran dan Jenis Bus Sistem Suselbar .....	22
Tabel 3.2 Penomoran Generator Sistem Suselbar .....	23
Tabel 3.3 Data Impedansi Saluran Transmisi Sistem Suselbar .....	23
Tabel 3.4 Data Pembebanan dan Pembangkitan Sistem Suselbar .....	24
Tabel 3.5 Rencana Pengembangan Transmisi .....	26
Tabel 4.1 Nilai Frekuensi di Generator 1-5 Pada Kondisi 1 .....	36
Tabel 4.2 Nilai Frekuensi di Generator 1-5 Pada Kondisi 1 dan Kondisi 2 .....	48



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peradaban yang semakin maju menuntut energi yang cukup besar di segala bidang. Energi listrik merupakan energi yang paling banyak dibutuhkan saat ini. Hal tersebut dikarenakan energi listrik mempunyai sifat yang fleksibel dan mudah dikonversi menjadi bentuk energi lain. Sama seperti energi lain, energi listrik mempunyai sistem dalam pengamplifikasiannya biasa disebut Sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik baik dapat dilihat dari bagaimana sistem tenaga tersebut melayani beban berkelanjutan (tegangan dan frekuensi konstan) dan berada pada batas toleransi. Hal tersebut diperuntukkan agar peralatan listrik dapat bekerja dengan baik. Namun, meningkatnya kebutuhan energi listrik saat ini biasa mengakibatkan situasi perubahan beban. Adanya perubahan beban mengakibatkan tidak stabilnya energi listrik. Ketidakstabilan energi listrik tentu mengganggu pasokan kualitas energi listrik.

Kestabilan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem dalam menjaga kondisi operasi seimbang dan kemampuan sistem untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Sedangkan ketidakstabilan sistem dapat terjadi dalam berbagai bentuk, tergantung dari konfigurasi sistem dan model operasinya. Sistem akan masuk pada kondisi ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, peningkatan beban atau pada saat terjadi perubahan kondisi sistem disebabkan oleh drop tegangan yang tidak terkontrol. Penyebab utama ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahan ini biasanya berhubungan dengan susut tegangan yang terjadi saat daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi.

Secara mendasar masalah kestabilan berarti menjaga sinkronisasi operasi tenaga. Kestabilan pada sistem tenaga listrik merupakan masalah yang penting dalam penyediaan daya kepada konsumen. Semakin berkembang sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan lemahnya performansi sistem ketika



mengalami gangguan. Salah satu efek gangguan adalah osilasi elektromekanik. Akibat jika tidak diredam dengan baik maka sistem akan terganggu dan dapat keluar dari area kestabilannya. Hal itu dapat mengakibatkan pengaruh lebih buruk seperti pemadaman total (*blackout*).

Terjadinya pemadaman total (*blackout*) pasti akan mengakibatkan berbagai kerugian-kerugian pada konsumen rumah tangga maupun industri. Untuk konsumen rumah tangga, kerugian yang dirasakan seperti tertundanya kegiatan para konsumen yang memerlukan energi listrik. Pada bidang industri, baik industri kecil maupun industri besar. Pasti sangat memerlukan energi listrik dalam menjalankannya. Meskipun konsumen industri biasanya menggunakan alternatif cadangan seperti genset. Tapi tetap saja akan mengeluarkan biaya besar dalam penggunaan bahan bakarnya. Belum lagi masalah transportasi, pasti akan mengalami gangguan seperti kemacetan karena tidak berfungsinya lampu lalu lintas. Berdasarkan data PT PLN Persero Kanwil Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat (Sulselrabar) mencatat ada sekitar 2.563.104 pelanggan tahun 2017. 73 persen dari angka tersebut berada di Sulsel. Ada sekitar 1,8 juta pelanggan Sulsel yang terkena dampak pemadaman listrik ini. Artinya, PLN sebagai penyuplai listrik, akan mengalami kerugian yang cukup besar. Itu dikarenakan, ada sekitar 1,8 juta pelanggan yang tidak tersalurkan energy yang mengakibatkan PLN rugi karena tidak memperoleh pendapatan dari energy yang tidak tersalurkan tersebut. Belum lagi, jika ada material PLN yang rusak, PLN harus berintensifikasi kembali untuk membeli peralatan tersebut. Disisi lain, kepercayaan masyarakat akan turun karena seolah-olah PLN yang memadamkan listrik.

Pada kasus blackout ini gangguan yang digunakan yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa yang diberikan pada ruas transmisi Jenepono-Punagaya. Sehubungan dengan penelitian tentang *kasus blackout pada sistem suselbar* tersebut, maka pada tugas akhir ini penulis akan mengajukan proposal Tugas

dengan judul:

**PERBAIKAN KESTABILAN TRANSIENT SISTEM SULSELBAR  
DASARKAN KASUS *BLACKOUT* MENGGUNAKAN PSAT”**



## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka penelitian ini akan dilakukan simulasi terhadap hasil data yang telah didapat. Sehingga perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kestabilan transient (Sudut rotor, Frekuensi, Tegangan) beserta *Critical Clearing Time* sistem interkoneksi Sulsebar pada saat terjadi kasus *Blackout* ?
2. Bagaimana kestabilan transient (Sudut rotor, Frekuensi, Tegangan) beserta *Critical Clearing Time* sistem interkoneksi Sulsebar setelah perbaikan (Pemasangan saluran transmisi baru)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan kestabilan transient (Sudut rotor, Frekuensi, Tegangan) beserta *Critical Clearing Time* sistem interkoneksi Sulsebar pada saat terjadi kasus *Blackout*
2. Menentukan kestabilan transient (Sudut rotor, Frekuensi, Tegangan) beserta sistem interkoneksi Sulsebar setelah perbaikan (pemasangan saluran transmisi baru)

## 1.4 Batasan Masalah

1. Gangguan yang diberikan berdasarkan kasus yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Penentuan *Critical Clearing Time* jika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa sistem interkoneksi Sulsebar

## 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi bahan masukan terhadap PT PLN (Persero) dalam menganalisis kestabilan transient ketika terjadi gangguan

Dapat menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan kasus *blackout*



## 1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan untuk membantu menganalisis permasalahan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka (*Literature Study*) Yaitu dengan mengumpulkan bahan-bahan berupa buku teks sebagai referensi yang ada hubungannya dengan permasalahan pada penelitian tugas akhir ini.
2. Observasi Yaitu melakukan pengambilan data imedansi saluran transmisi, pembangkitan dan pembebanan sistem interkoneksi Sulselbar di PT PLN (Persero) Wilayah Sulseltrabar
3. Merancang dan membuat simulasi sistem dengan menggunakan software Matlab PSAT
4. Menganalisis hasil dan membuat kesimpulan

## 1.7 Sistematika Penulisan

Agar penyusunan tugas akhir ini lebih teratur dan sistematis penulisannya maka hal-hal yang dibahas dibagi dalam beberapa bab yaitu:

**BAB I** Merupakan bab yang membahas tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan

**BAB II** Merupakan bab yang membahas tentang teori dasar mengenai blackout dan beberapa kasusnya, stabilitas tegangan.

**BAB III** Merupakan bab yang akan menguraikan tentang profil gambaran umum mengenai sistem interkoneksi Sulawesi Selatan dan data-data yang diperlukan untuk menentukan waktu kritis pemutusan. Metode yang digunakan yaitu berdasarkan analisis kestabilan transient parameter sudut rotor dengan bantuan program PSAT simulator

**BAB IV** Merupakan bab yang membahas hasil dan analisis yang diperoleh dengan menggunakan simulasi program PSAT

**BAB V** Merupakan bab yang membahas tentang kesimpulan dari uraian uraian isi bab dan saran-saran yang perlu dikemukakan



## BAB II

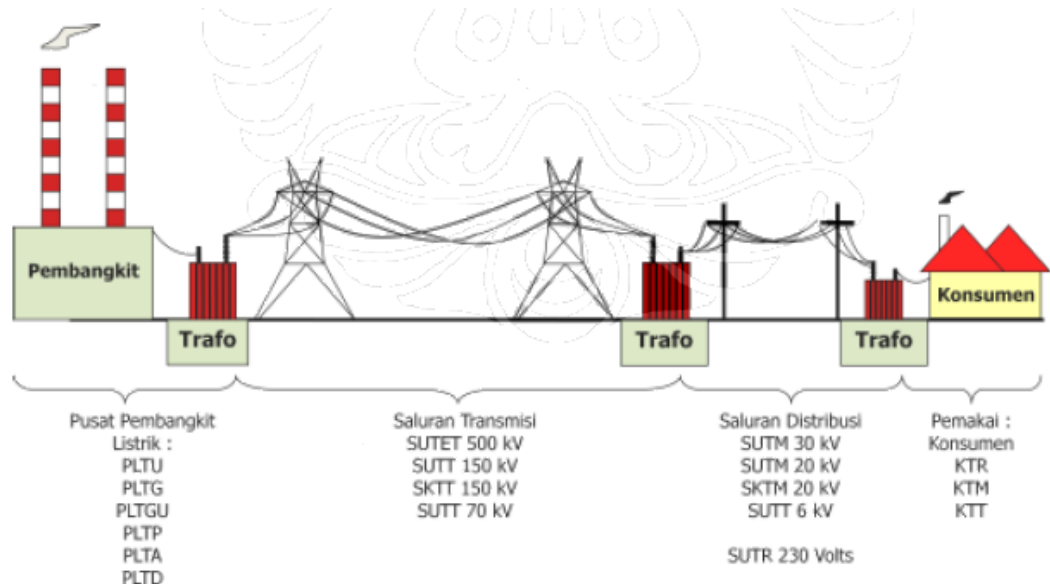
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu :

- Pembangkit Tenaga Listrik
- Penyaluran Tenaga Listrik dan,
- Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik modern merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat beban. Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketiga bagian yaitu pembangkit, penyaluran dan distribusi tersebut satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik[2]



Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik



#### m Saluran Transmisi

ga listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit pada umumnya jauh dari pusat beban. Oleh karena itu diperlukan sistem penyaluran



tenaga listrik dari pusat-pusat beban yang lebih dikenal dengan sistem saluran transmisi

Saluran transmisi dibagi atas dua kategori yaitu : saluran udara (*overhead line*), dan saluran kabel tanah (*Underground cabel*). Saluran udara merupakan saluran transmisi yang menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada menara atau tiang transmisi yang menyalurkan daya listrik. Sedangkan saluran kabel tanah melalui kabel yang ditanam dibawah permukaan tanah.

Menurut jenis arus yang ditransmisikan dikenal sistem arus bolak-balik (AC) dan sistem arus searah (DC). Hampir semua saluran transmisi saat ini menggunakan sistem AC dibandingkan sistem DC. Salah satu penyebabnya adalah kemudahan pentransformasian tegangan AC dan lebih murah dibandingkan transformasi tegangan DC.

Untuk keperluan analisa dan perhitungan, saluran transmisi biasanya dibagi dalam tiga kelas berdasarkan panjang saluran transmisi [4] :

1. Saluran Pendek (<80 km)
2. Saluran Menengah (80-250 km)
3. Saluran Panjang (>250 km)

Namun klasifikasi diatas sangat kabur dan relative. Klasifikasi saluran transmisi harus didasarkan pada besarnya kapasitansi ke tanah. Bila kapasitansi kecil, dengan demikian arus bocor ketanah jauh lebih kecil daripada arus beban, dalam hal ini kapasitansi ketanah diabaikan, dan dinamakan saluran pendek.

Klasifikasi saluran transmisi berdasarkan berdasarkan tegangan kerjanya yakni berbeda-beda untuk setiap Negara tergantung kemajuan dalam bidang transmisi. Di Indonesia standard tegangan yakni 66,150,380,500 KV, dan klasifikasi menurut tegangan ini masih belum nyata. Tetapi di negara-negara maju seperti USA, Rusia, Canada dimana tegangan transmisi telah mencapai 1.000 KV, maka disana klasifikasi berdasarkan tegangan kerjanya adalah:

1. Tegangan Tinggi (138 KV)
2. Tegangan Ekstra Tinggi (220-765 KV)
3. Tegangan Ultra Tinggi (> 765 KV) [4]

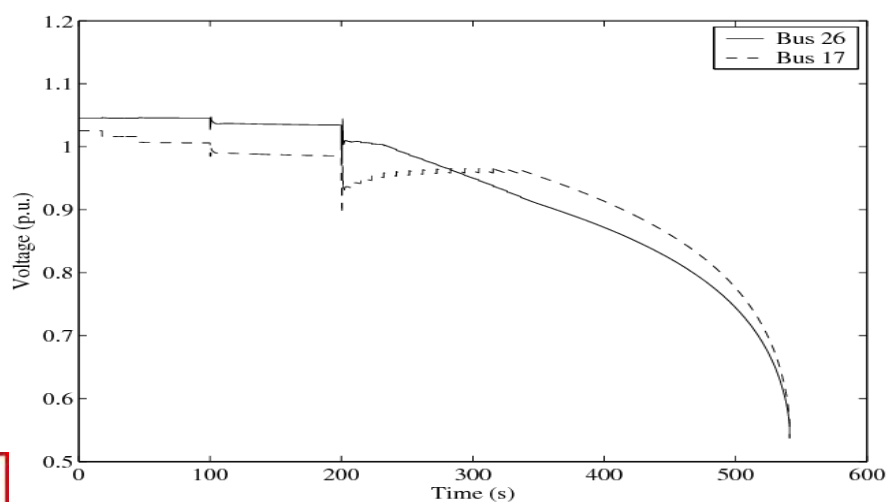


Sedangkan klasifikasi berdasarkan fungsinya adalah operasi, maka saluran transmisi sering diberi nama :

1. Transmisi : yang menyalurkan daya besar dari pusat-pusat pembangkit ke daerah beban atau antara dua atau lebih sistem
2. Saluran atau transmisi percabangan dari saluran yang tinggi ke saluran yang lebih murah
3. Distribusi : di Indonesia saluran distribusi diterapkan saluran 20 kv.

### 2.3 *Blackout Pada Jaringan Listrik*

Pada operasi dan perencanaan sistem tenaga, kestabilan tegangan menjadi salah satu isu utama karena hal ini sangat berkaitan erat dengan masalah keandalan dan keamanan sistem. Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk menjaga kondisi tegangan di setiap bus pada nilai yang dapat diterima dalam kondisi operasi normal dan setelah gangguan. Jika terjadi ketidakstabilan tegangan maka dapat memicu terjadinya keruntuhan/ penurunan tegangan (*Voltage Collapse*), yang berakibat pemadaman total (*blackout*). Dapat dilihat pada Gambar 2.2 [2]



Gambar 2.2 Skema *Voltage Collapse* yang mengakibatkan *Blackout*



*Blackout* pada jaringan listrik biasa disebut pemadaman listrik atau mati listrik. Dalam sistem kelistrikan, penyaluran listrik dibagi menjadi 3 bagian. Pembangkit, transmisi dan distribusi. Pada sistem pembangkit penyebab blackout biasanya disebabkan oleh gangguan pada unit pembangkitan (PLTU, PLTD, PLTA dll). Gangguan yang menyebabkan pembangkit trip atau mati tentunya akan menyebabkan pasokan listrik pada sistem berkurang. Hal ini biasanya ditandai dengan frekuensi yang menurun. Jika frekuensi terlalu turun dan pembangkit lain tidak bisa menutupi kekurangan, pada jaringan listrik ada sistem pengamanan *Under Frekuensi Relay* (UFR) bekerja. UFR bekerja jika frekuensi terlalu rendah. Hal ini menyebabkan beberapa daerah akan mengalami pemadaman listrik.

Pada jaringan transmisi dan distribusi gangguannya hampir sama. Antara gangguan alam, kerusakan alat karena umur atau karenanya kesalahan pemasangan (*human error*), bisa juga ada pengalihan aliran listrik guna perawatan atau perbaikan alat.

Ketiga bagian pada sistem kelistrikan ini (pembangkit, transmisi dan distribusi) saling berkaitan. Hal yang paling menakutkan dan dihindari adalah *blackout* total, dimana listrik pada jaringan benar-benar kosong atau kekurangan.

Beberapa kasus *blackout* juga pernah terjadi di beberapa Negara besar, sampai melumpuhkan hingga 50% Negara tersebut. Berikut kasus *blackout* yang pernah terjadi:

1. Chile (24 September 2011)

Pemadaman berlangsung pada pukul 20:30-21:45 waktu setempat, walaupun waktu pemulihan bervariasi secara geografis. Pemadaman listrik tersebut mempengaruhi sekitar 9 juta orang di Chile. Coquimbo ke Maule merupakan daerah yang mengalami pemadaman total dan sebagian di wilayah Atacama dan Bio-Bio. Diketahui penyebab utamanya yaitu adanya kegagalan peralatan di gardu listrik. Adapun kerugian yang ditimbulkan yaitu layanan telepon dan perjalanan kereta api mengalami gangguan dan sebagian produsen tambang di Chile menghentikan aktifitasnya (Chile dikenal sebagai produsen tambang dunia).



## 2. Taiwan (15 Agustus 2017)

Pemadaman berlangsung pukul 16.52-21:40 waktu setempat. Pemadaman listrik tersebut mempengaruhi 6,68 juta pelanggan. Diketahui penyebabnya yaitu keteledoran pekerja di stasiun kontrol. Selama penggantian peralatan catu daya untuk sistem kontrol stasiun metering di Tatan Power Plant di Distrik Guanyin, Kota Taoyuan oleh seorang kontraktor CPC Corporation, ada salah satu pekerja tidak mengalihkan sistem dari mode otomatis ke mode manual sebelum memulai pekerjaan, menyebabkan dua katup pipa pasokan gas menutup dan menghentikan pasokan bahan bakar gas alam cair selama dua menit. Enam generator pembangkit listrik trip sepenuhnya karena hal itu, mengganggu pasokan 4 GW listrik. Adapun kerugian yang ditimbulkan seperti terjadinya kemacetan parah dan setidaknya setidaknya tiga juta dolar AS kerugian atau kerusakan pada lebih dari 150 perusahaan di kawasan industri dan zona pemrosesan ekspor.

## 3. Indonesia, Jawa-Bali (18 Agustus 2005)

Di Indonesia, tepatnya daerah Jawa-Bali juga pernah mengalami Blackout yang cukup parah. Diketahui Listrik di Jakarta & Banten mati selama 3 jam, dan juga sebagian di daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Bali. PLN memperkirakan sekitar 3,2 juta pelanggan yang terkena pemadaman total, terutama di daerah Jakarta dan Banten. Kronologis penyebabnya yaitu dimulai pada sekitar pukul 08.59 WIB, saat terhentinya operasi PLTU Suralaya unit 6 dan 7, sehingga sistem kekurangan pasokan sebesar 1.200 megawatt. Untuk mengembalikan sistem ke kondisi normal, PLN langsung menggunakan PLTA Saguling, PLTA Cirata, dan PLTGU Muara Tawar yang biasanya baru beroperasi saat beban puncak. Akibat pengoperasian ketiga pembangkit tersebut, aliran daya pada SUTET 500 KV Saguling-Cibinong menjadi semakin besar, mendekati batas aman 2.000 Ampere. Kemudian pada pukul 10.23, tiba-tiba SUTET Saguling-Cibinong terbuka sehingga sistem Jawa-Bali terpisah dua bagian. Gangguan ini mengakibatkan beberapa unit



pembangkit besar lepas dari jaringan, yakni PLTU Paiton unit 7 dan 8 serta enam unit PLTU Suralaya. Selain itu, diduga terjadi karena malafungsi sistem proteksi DEF atau *directional earth fault* di Cibinong. Kerugian yang ditimbulkan yaitu Sebanyak 42 perjalanan kereta rel listrik (KRL) rute Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi dibatalkan, dan 26 KRL yang sedang beroperasi tertahan di beberapa perlintasan. Diperkirakan hal ini menyebabkan kerugian yang mencapai Rp200 juta, Di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta gangguan listrik berlangsung sekitar empat jam dan menyebabkan 15 penerbangan tertunda, Beberapa rumah sakit besar terpaksa menunda jadwal operasi, dan rumah sakit kecil tidak dapat menerima pasien.

#### 4. India (30-31 Juli 2012)

Kasus Blackout di India ini merupakan salah satu yang terbesar dalam sejarah. Blackout ini terjadi selama pukul 02.48 (30 Juli)-20.30 (31 Juli). Jumlah penduduk yang terkena dampak juga sangat besar yaitu 30 Juli 2012 mempengaruhi lebih dari 300 juta orang, pada tanggal 31 Juli adalah pemadaman listrik terbesar dalam sejarah. Pemadaman tersebut menyerang lebih dari 620 juta orang, sekitar 9% populasi dunia. Diketahui penyebabnya yaitu lemahnya koridor transmisi tenaga antar daerah karena beberapa gangguan yang ada (baik yang dijadwalkan maupun yang terpaksa); Pemuatan tinggi pada link 400 kV Bina-Gwalior-Agra; Respon yang tidak memadai oleh *State Load Dispatch Centres* (SLDCs) terhadap instruksi *Regional Load Dispatch Centres* (RLDCs) untuk mengurangi over-drawal oleh utilitas Northern Region dan under draw / kelebihan generasi oleh utilitas Wilayah Barat; Hilangnya 400 kV link Bina-Gwalior akibat mis-operation dari sistem proteksinya. Kerugian yang ditimbulkanpun sangat besar yakni Lebih dari 300 kereta penumpang antarkota dan jalur komuter, 50% seluruh aktivitas penduduk india tertunda. pembangkit listrik di seluruh wilayah yang terkena dampak India kembali offline. Pada 30 Juli Pada pukul 02:35 IST (21:05 UTC pada 29 Juli), circuit breaker pada line 400 kV Bina-Gwalior trip. Karena jalur ini



masuk ke bagian transmisi Agra-Bareilly, pemutus di stasiun juga trip, dan kegagalan listrik mengalir melalui grid. Semua pembangkit listrik utama dimatikan di negara-negara yang terkena dampak, menyebabkan perkiraan kekurangan 32 GW. Dan merupakan yang terburuk dalam satu decade terakhir.

Dari banyaknya kasus *blackout* yang pernah terjadi, terdapat beberapa penyebab terjadinya pemadaman total atau *blackout*. Diantaranya seperti kerusakan di stasiun listrik/PLT, kerusakan jaringan kabel, atau bagian lain dari sistem distribusi, di gardu listrik, sebuah sirkuit pendek (*korsleting*), atau kelebihan muatan. Akan tetapi, hal paling berpengaruh terhadap terjadinya *blackout* adalah sistem distribusi tenaga listrik. [1]

## 2.4 Teori Hubung Singkat

### 2.4.1 Penjelasan Umum

Dalam analisa sistem tenaga listrik, dibutuhkan analisa sistem dalam kondisi normal dan dalam kondisi abnormal yang identic dengan kondisi terjadinya gangguan. Pada kondisi gangguan diperlukan studi dalam hubung singkat.

Secara garis besar, gangguan hubung singkat dibagi dalam 2 kelompok :

- a. Gangguan hubung singkat simetris
- b. Gangguan hubung singkat tidak simetris, yang terdiri dari :
  - Hubung singkat satu fasa ke tanah
  - Hubung singkat dua fasa
  - Hubung singkat dua fasa ke tanah

Dalam studi tugas akhir ini, simulasi gangguannya dibatasi untuk gangguan hubung singkat 3 fasa.

### 2.4.2 Gangguan Hubung Singkat Simetris

Hubung singkat 3 fasa pada sistem daya disebut hubnug singkat simetris pada gangguan ini, tegangan pada titik gangguan dan arus yang mengalir ap fasanya adalah sama besar. Arus gangguan yang mengalir pada sistem ts urutan posisiif saja.



Akibat-akibat yang dapat ditimbulkan pada saat terjadi hubung singkat adalah:

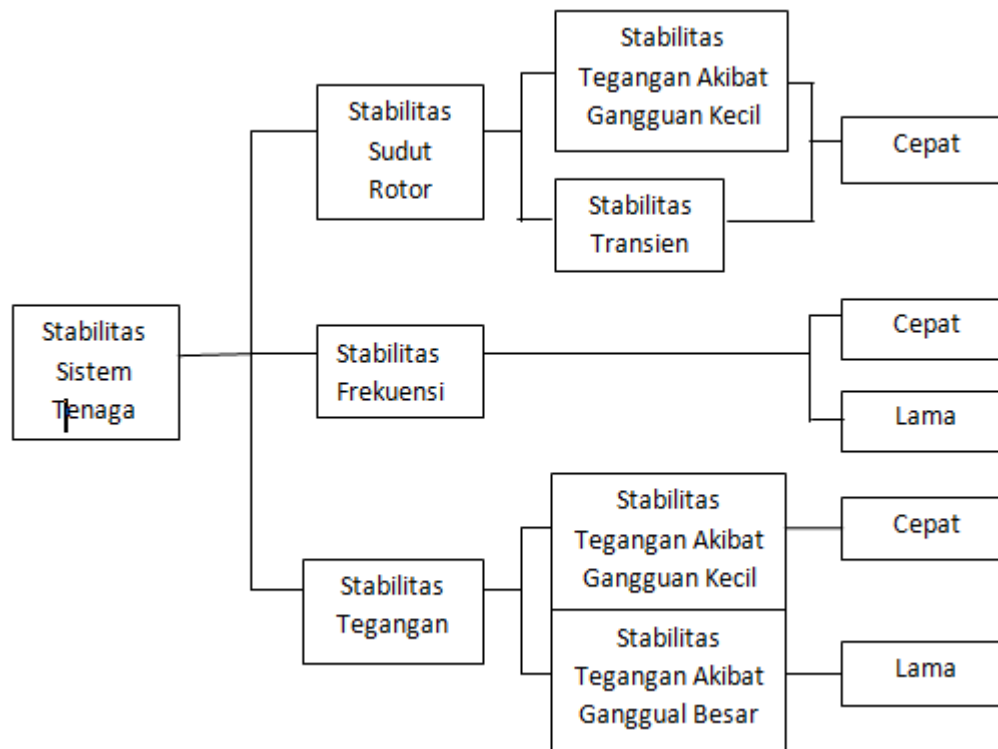
- a. Penurunan tegangan pada bagian sistem yang lain.
- b. Kerusakan yang diakibatkan oleh busur api listrik pada elemen-elemen sistem yang hampir selalu menyertai sebuah hubung singkat.
- c. Kerusakan pada peralatan lain pada sistem akibat pemanasan lebih dan juga gaya mekanis abnormal.
- d. Gangguan terhadap kestabilan sistem daya dan hal ini dapat mengawali terjadinya kegagalan total pada sistem.

Hubung singkat tiga fasa pada sistem daya disebut hubung singkat simetris karena pada gangguan ini, tegangan pada titik gangguan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya adalah sama besar. [8]

## 2.5 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik secara luas dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari satu sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam kondisi seimbang dalam operasi normal dan dapat memperoleh kembali kondisi seimbang setelah sistem mengalami gangguan. Oleh karena itu, perlu pengklasifikasian kestabilan sistem tenaga berdasarkan faktor kontribusi yang menyebabkan ketidakstabilan.. untuk lebih detail dapat dilihat pada Gambar 2.3





Gambar 2.3 Klasifikasi Sistem Tenaga

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

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

1. Kestabilan Keadaan Tetap (*Steady State Stability*)
2. Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)
3. Kestabilan Peralihan (*Transient Stability*) [5]

### 2.5.1 Kestabilan Keadaan Tetap (*Steady State Stability*)

Kestabilan Keadaan Tetap didefinisikan sebagai suatu kemampuan sistem tenaga listrik untuk menerima gangguan kecil yang bersifat gradual, yang terjadi di titik keseimbangan pada kondisi tetap. Kestabilan ini tergantung pada

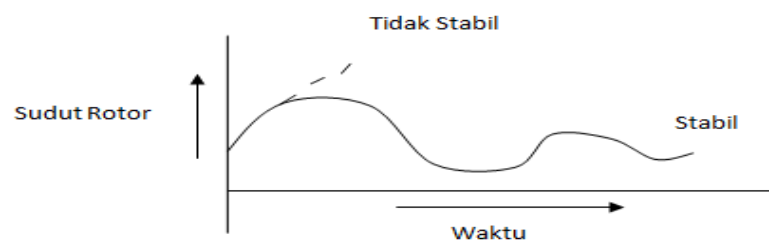




karakteristik komponen yang terdapat pada sistem tenaga listrik antara lain: Pembangkit, Beban, Jaringan Transmisi, dan Kontrol Sistem itu sendiri. Model pembangkit yang digunakan adalah pembangkit yang sederhana (aumber tegangan konstan) karena hanya menyangkut gangguan kecil disekitar titik keseikmbangan.

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

Pada Gambar 2.4, dapat dilihat grafik hubungan kestabilan dan ketidakstabilan sudut rotor terhadap waktu. Dikatakan kondisi stabil , apabila terjadi gangguan osilasi rotor terendam. Sedangkan, dapat dikatakan pada kondisi tidak stabil, apabila osilasi ini tidak terendam saat terjadi gangguan yang mengakibatkan mesin akan kehilangan sinkronisasinya.



Gambar 2.4 Kondisi Stabil dan Tidak Stabil

### 2.5.2 Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)

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

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



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

### 2.5.3 Kestabilan Peralihan (*Transient Stability*)

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

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

Setelah hilangnya pembangkitan, tidak ada keseimbangan antara daya mekanik dengan beban listrik. Pada kondisi daya mekanik yang kurang, inertia rotor yang berputar memberikan energi tersimpannya yang mengakibatkan putaran generator akan menurun begitu pula frekuensinya. Apabilan beban yang lepas maka kecepatan mesin akan bertambah atau frekuensinya meningkat. Respon eksitasi juga sangat mempengaruhi kestabilan sistem. Gangguan pada sistem, biasanya diikuti dengan turunnya tegangan dan pengembalian tegangan ke kondisi normal secara cepat. Hal itu sangat penting untuk menjaga stabilitas. [8]

## 2.6 PSAT (*The Power Sistem Analysis Toolbox*)

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



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

Fitur utama dari PSAT seperti: Power Flow; Aliran Daya Lanjutan; Aliran Daya Optimal; Analisis Stabilitas Sinyal Kecil; Simulasi Domain Waktu; Antarmuka Pengguna Grafis Lengkap; Model FACTS; Model Turbin Angin; Konversi File Data dari beberapa Format; Mengekspor hasil ke file EPS, teks biasa, MS Excel dan LaTeX; Antarmuka untuk GAMS dan Program UWPFLOW; Penggunaan Baris Perintah; dan Kompatibilitas GNU Octave. [6]

