Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa referensi yang terkait dengan analisa pembebanan sistem transmisi menggunakan *Static Synchronous Series Compensators (SSSC)* dapat dilihat dari penelitian yang berjudul " *Application of Static Synchronous Series Compensator (SSSC) to Enhance Power Transfer Capability in IEEE Standard Transmission System*". Pada penelitian ini dilakukan peningkatan kemampuan transfer 4 bus dan 2 sistem mesin menggunakan *SSSC*. Didapatkan hasil bahwa pengontrolan secara seri selalu memberikan kontribusi kerja yang lebih baik untuk melakukan transfer daya pada saluran transmisi. *SSSC* digunakan sebagai *switching converter*. Memasukan POD sebagai redaman osilasi ampitudo untuk daya aktif lebih dari daya reaktif [5]

Dalam penelitian berikutnya yang berjudul "*Static Synchronous Series Compensator (SSSC): An approach for reactive power compensation for the transmission system*". Pada penelitian ini dilakukan pengontrolan pengendalian kontrol PI dengan PWM berdasarkan *hysteresis* digunakan untuk menghasilkan pulsa gerbang untuk *switch inverter*. Menurut *sinyal switch*, *inverter* menghasilkan sinyal 3 phasa di terminal *output* dan tegangan ini disuntikan secara seri dengan saluran transmisi [6].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul "Penempatan *SVC* (*Static Var Compensators*) Pada Jaringan Distribusi dengan Etap 7.5.0". Pada penelitian ini dilakukan analisis penempatan *SVC* (*Static Var Compensator*) untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV Rayon Bangkinang Wilayah Salo. Penelitian yang dilakukan menggunakan Etap 7.5.0 yang berbasis *Grafik User Intervace (GUI)* yang memudahkan untuk menganalisis aliran daya listrik dan memiliki komponen yang mirip dengan sebenarnya. Adapun metode yang digunakan untuk studi aliran daya adalah Metode *Newton Raphson*. Dari hasil simulasi penempatan *SVC* (*Static Var Compensator*) pada bus yang mengalami penurunan tegangan didapatkan 3 buah *SVC (Static Var Compensator)* dengan rating yang baik untuk meningkatkan tegangan pada sistem yaitu pada bus 217 dengan rating 19.35 Mvar, pada bus 283 dengan rating 0.49 Mvar dan pada bus 303 dengan rating 0.28 Mvar [7].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul "Optimasi *Rating SVC* dan *TCSC* Untuk Mengurangi Rugi-rugi Daya Pada Sistem 500 kV Jamali Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* (*PSO*)". Pada penelitian ini dilakukan analisis untuk menerapkan peralatan *FACTS* dalam mengatasi permasalahan yang terkait dengan sistem tenaga listrik antara lain tentang optimasi penempatan peralatan *FACTS* dengan metode *Breeder* Algoritma Genetika pada sistem transmisi untuk mengurangi rugi-rugi daya. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa nilai parameter PSO yang tepat dalam penyelesaian optimasi rating *SVC-TCSC* pada Sistem Tenaga Listrik 500 kV JAMALI adalah ukuran *swarm* lebih dari 50, *learning rates* dengan kombinasi angka C1 dan C2 sama besar yaitu 2. Nilai parameter fungsi tujuan adalah rating *SVC* sebesar -200 Mvar dan rating *TCSC* sebesar 0.2 pu. Dengan metode *particle swarm optimization*, nilai rating optimal *SVC* adalah pada bus 13 dengan rating -200 Mvar dan bus 20 dengan rating -200 Mvar, sedangkan nilai rating *TCSC* adalah pada saluran 17 dengan rating 0,0976 pu dan pada saluran 27 dengan rating 0,0620 pu sehingga diperoleh kenaikan tegangan tiap bus, dengan tegangan minimal setelah dipasang *SVC-TCSC* adalah 0,9500 pu yang mana telah sesuai dengan standar acuan SPLN 1 tahun 1995. Penempatan *SVC* pada lokasi bus dan TCSC pada lokasi saluran dapat menurunkan rugi daya total sistem dari 136,545 MW menjadi 128,6324 MW dan rugi daya reaktif dari 1.223,011 MVAR menjadi 979.2013 MVAR [8].

Pada penelitian berikutnya berjudul "Analisis Implementasi *Fixed Capacitor*, *SVC, dan STATCOM* untuk Perbaikan Performansi Stabilitas Tegangan pada Sistem *Petrochina*". Pada penelitian ini dilakukan penempatan kompensator ditentukan dari hasil analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi tegangan terburuk pada bus yakni sebesar 0,81656 p.u (drop tegangan melebihi standar 10%) terjadi pada bus Jaya. Sementara itu, penggunaan *STATCOM* dalam kisaran +11,78 KVAR hingga -2,36 KVAR dapat menaikkan tegangan sistem sampai 0,99 pu (18,114%). *STATCOM* memberikan redaman *overshoot* yang lebih baik dibandingkan dengan *SVC* dan *Fixed Capacitor Bank* berdasarkan hasil kajian respon *steadystate* dan dinamik. [9].

Pada penelitian berikutnya yang berjudul "Analisis Kestabilan Tegangan Dengan Menggunakan *Static Synchronous Compensators* (*STATCOM)"*. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh *STATCOM* untuk dalam menjaga kestabilan tegangan. Hasil dari penelitian ini adalah peralatan *STATCOM* dapat memperbaiki drop tegangan dan aliran daya dengan mengatur arus reaktif yang mengalir pada sistem dan terjadinya penurunan rugi-rugi daya aktif sebesar 1% setalah pemasangan *STATCOM* [10].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Beberapa referensi yang terkait dengan analisa pembebanan sistem transmisi menggunakan *Static Synchronous Series Compensators (SSSC)* dapat dilihat dari penelitian yang berjudul "Perbaikan Stabilitas Dinamik Sistem Tenaga Dengan *Static Synchronous Series Compensators (SSSC)"*. Pada penelitian ini menggunakan metode Model *Philips Heffron* yang disimulasikan dengan penambahan kendali *Proportional-Integral-Diferential*. Hasil dari penelitian tersebut adalah didapatkan perbaikan untuk kerja terlihat dari penurunan *overshoot* dan *settling-time* pada pengujian perubahan tegangan referensi, perubahan pembebanan dan perubahan mode osilasi. [11].

Penelitian yang akan dilakukan ini mengambil referensi dari berbagai penelitian terkait yang mengambil *FACTS* dengan jenis *SSSC* untuk meratakan pembebanan pada penyaluran daya listrik dan meningkatkan kapasitas saluran bus beban yang belum memenuhi *range*. Tujuan, metode, dan jenis *FACTS* yang digunakan menjadi perbedaan dasar terhadap penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Peralatan *FACTS* jenis *SSSC* ini mempunyai kelebihan dari *FACTS* yang telah digunakan sebelumnya dalam penelitian yaitu mempunyai respon yang sangat cepat untuk menstabilkan tegangan yang berlebih atau bus beban yang tidak memenuhi *range* standar dari PLN. Selain itu *SSSC* tidak hanya mengkompensasi daya reaktif, *SSSC* dapat memasok daya reaktif dan daya nyata pada saluran transmisi sehingga dapat mengoptimalkan kekurangan atau kelebihan daya reaktif dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran transmisi.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan pusat listrik yang tergabung antara satu dengan yang lainnya sehingga membentuk suatu jaringan transmisi dan distribusi. Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang diperlukan begi kelangsungan aktifitas masyarakat terutama industri. Pada sumber pembangkitan utama energi listrik diperoleh dari berbagai unsur yang ada di alam, seperti air, udara, tumbuh-tumbuhan dan sebagainya. Sumber energi tersebut di proses dan dikonversikan menjadi energi listrik.

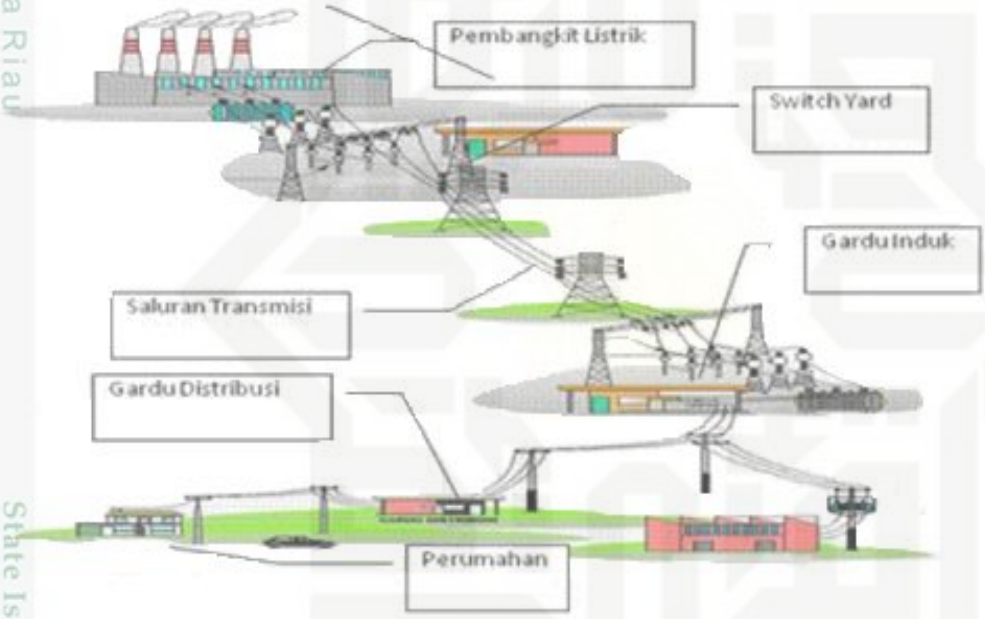
Pada sistem pembangkitan ditunjang oleh beberapa fasilitas sehingga membuat suatu komponen sistem pembangkitan yang baik dan interkoneksi. Pada sistem pembangkitan, energi listrik yang dihasilkan umumnya memiliki tegangan menengah, kemudian dinaikan menjadi tegangan ekstra tinggi dan disalurkan melalui jaringan transmisi. Sistem penyaluran memiliki peran penting dalam mengirimkan daya listrik melalui jaringan transmisi, distribusi, sampai ke instalasi milik konsumen.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sistem penyaluran tenaga listrik pada jaringan transmisi menyalurkan tegangan tinggi (30-150 kV) dan tegangan ekstra tinggi (200-500 kV). Pada jaringan distribusi, penyaluran tenaga listrik beroperasi pada tegangan menengah (6-30 kV) dan tegangan rendah 220/380 V.

2.2.1 Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat digambarkan dengan skema di bawah ini.



Gambar 2.1 Proses Penyaluran Tenaga Listrik [8]

Proses penyaluran tenaga listrik berawal dari sebuah pembangkit yang bermacam-macam diantaranya yaitu PLTA, PLTU, PLTG, PLTD, dll.

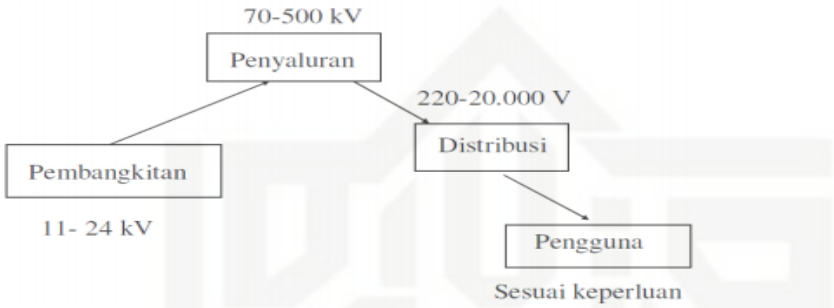
Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

4. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

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



Gambar 2.2 Level Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik [8]

Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Untuk pembangkit yang berkapasitas lebih besar biasanya menggunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini dilakukan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar. Karena untuk kapasitas daya tertentu, besar arus yang mengalir berbanding terbalik dengan tegangannya. Level tegangan pada pembangkit biasanya tidak tinggi, karena semakin tinggi level tegangan generator, jumlah lilitan generator harus lebih banyak lagi. Dengan lilitan yang lebih banyak mengakibatkan generator menjadi lebih besar dan lebih berat sehingga dinilai tidak efisien.

Pada sistem saluran transmisi biasanya digunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini karena fungsi pokok saluran transmisi adalah menyalurkan daya, sehingga yang dipentingkan adalah sistem mampu menyalurkan daya dengan efisiensi yang tinggi atau rugi-rugi daya dan turun tegangannya kecil. Upaya yang dilakukan adalah mempertinggi level tegangan agar arus yang mengalir pada jaringan transmisi lebih kecil. Level tegangan saluran transmisi lebih tinggi dari tegangan yang dihasilkan generator pembangkit. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 s/d 500 kV. Untuk menaikkan tegangan dari level pembangkit ke level tegangan saluran transmisi diperlukan transformator penaik tegangan.

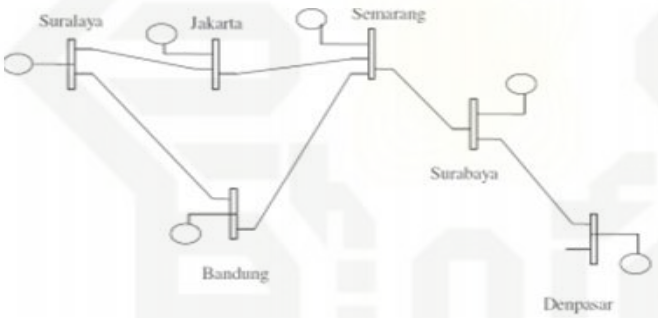
Pada jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan yang lebih rendah dari tegangan saluran transmisi. Hal ini karena daya yang didistribusikan oleh masing-masing

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

jaringan distribusi biasanya relatif kecil dibanding dengan daya yang disalurkan saluran transmisi, dan juga menyesuaikan dengan tegangan pelanggan atau pengguna energi listrik. Level tegangan jaringan distribusi yang sering digunakan ada dua macam, yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR).

Dengan demikian diperlukan gardu induk yang berisi trafo penurun tegangan untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi 20 kV. Diperlukan juga trafo distribusi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV ke 220V sesuai tegangan pelanggan. Level tegangan beban pelanggan menyesuaikan dengan jenis bebannya, misalnya beban industri yang biasanya memerlukan daya yang relatif besar biasanya menggunakan tegangan menengah 20 kV, sedang beban rumah tangga dengan daya yang relatif kecil, biasanya menggunakan tegangan rendah 220 V.

2.2.2 Sistem Interkoneksi



Gambar 2.3 Sistem Inter Koneksi [12]

Sistem Tenaga Listrik yang diuraikan di atas adalah gambaran secara sederhana, yaitu satu sistem pembangkitan yang melayani satu sistem beban. Sistem yang demikian disebut sistem tunggal. Namun dalam prakteknya kadang suatu sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa sistem pembangkit untuk melayani beberapa macam beban yang ada pada lokasi yang berlainan. Untuk memperoleh kualitas pelayanan yang lebih baik, maka seluruh sistem haruslah saling berhubungan atau interkoneksi sehingga dapat dikendalikan dari satu tempat. Demikian pula kebutuhan daya dapat dilayani dari pembangkit mana saja sekalipun lokasinya jauh dari pusat beban.

Untuk mendapatkan sistem yang demikian setiap pembangkit dan pusat beban harus saling berhubungan. Sistem yang demikian disebut sebagai sistem interkoneksi. Dengan sistem ini di harapkan kualitas pelayanan dapat menjadi lebih baik. Dengan sistem

Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

interkoneksi, sistem tenaga listrik menjadi lebih komplek, sehingga biaya pembangunan dan opersionalnya menjadi lebih besar dan pengelolaannya menjadi lebih rumit. Dengan demikian sistem interkoneksi hanya digunakan pada sistem tenaga listrik dengan daya besar dan memerlukan standar kualitas pelayanan yang tinggi.

2.2.3 Aliran Daya Tenaga Listrik

Analisa daya tenaga listrik merupakan suatu penyaluran daya yang berpengaruh terhadap kinerja sistem tenaga dan sangat dibutuhkan untuk tetap menjaga keberlanjutan akrifitas manusia. Pada aliran daya listrik mencangkup perhitungan terhadap aliran daya dan tegangan sistem pada bus-bus beban tertentu. Bus-bus pada jaringan dikelompokan menjadi 3 bagian, yaitu [12] :

a. *Sluck Bus* (Bus Berayun)

   Bus yang mempunyai pembangkitan daya besar dijadikan sebagai *Sluck Bus.* Karna *Sluck Bus* berfungsi untuk meminimalkan rugi-rugi daya dan kekurangan daya pada sistem.

b. *Voltage Controller* (Bus Generator)

   Pada bus generator nilai daya pada gardu induk dan nilai mutlak tegangan sudah diketahui sehingga disebut *Voltage Controller*. Karena tegangan pada setiap bus sistem dijaga agar tetap konstan.

c. *Load Bus* (Bus Beban)

   Nilai yang terdapat pada bus beban biasanya didapatkan dari pencatatan hasil pengukuran terhadap operasi sistem. Pada bus beban nilai daya aktif dan daya reaktif sudah diketahui.

2.2.4 Saluran Transmisi

Untuk keperluan analisis dan perhitungan, maka diagram pengganti saluran transmisi dapat dibagi dalam tiga klasifikasi berdasarkan panjang saluran yaitu [2] :

1. Saluran Pendek (kurang dari 80 km)

   Saluran transmisi dimana panjang saluran tersebut kira-kira kurang dari 80 km maka saluran transmisi dikelompokan pada saluran pendek. Pada saluran jenis ini efek kapasitansi parallel (shunt) nya sangat kecil sekali dan efek tersebut dapat diabaikan tampa pengaruh yang berarti pada ketelitian perhitungan.

Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Saluran Menengah (antara 80 – 240 km)

Pada umumnya karakteristik saluran menengah ini tidak berbeda jauh dengan karakteristik pada saluran pendek. Efek kapasitansi pada saluran jenis ini harus diperhitungkan.

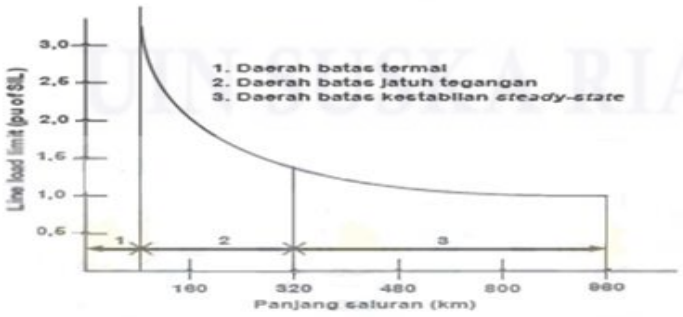
3. Saluran Panjang (lebih dari 240 km)

Untuk menganalisis saluran panjang diperlikan suatu ketelitian yang lebih baik. Harus diperhatikan bahwa parameter rangkaian sebenarnya tidak terpusat menjadi satu, melainkan tersebar secara merata di seluruh panjang saluran.

2.3 Kemampuan Pembebanan (*Loadability*)

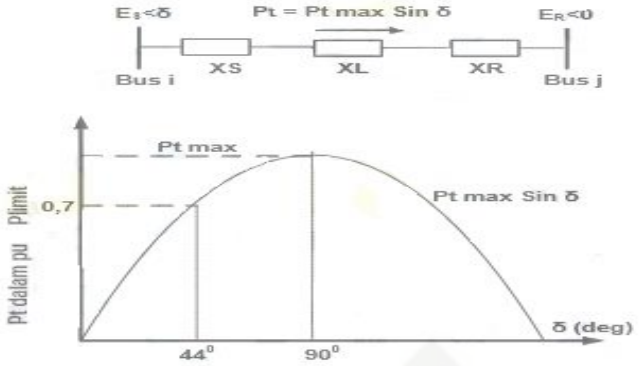
Loadability diperkenalkan oleh *S.T. Clair*. Konsep tersebut digambarkan melalui sebuah kurva yang disebut *S.T. Clair's curves*. *Loadability* sangat penting untuk menjelaskan batas-batas pembebanan pada saluran transmisi yang dipengaruhi oleh tegangan dan panjang saluran. *Loadability* merupakan daya pada suatu bus yang dapat ditampung oleh bus tersebut [12].

Loadability sangat penting untuk dilakukan agar dapat diketahui batas-batas pembebanan pada bus. Batasan-batasan *loadability* dipengaruhi oleh tegangan dan panjang saluran, semakin panjang saluran maka daya yang akan disalurkan juga akan banyak berkurang karena terjadinya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan selama penyaluran. Pada jaringan transmisi, saluran yang mempunyai panjang lebih dari 80 km, batasan *loadability*-nya adalah jatuh tegangan dan jika panjang saluran lebih dari 320 km maka yang menjadi batasan *loadability*-nya adalah keadaan *steady-state* [14]. Standar batas tegangan yang ditetapkan oleh SPLN1:1995 adalah +5% dan -10% [13].



Gambar 2.4 Batas *Loadability* Saluran Transmisi [13]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 2.5 Batas Kestabilan *Steady-State* [13]

Oleh sebab itu pemerataan pembebanan sangat perlu diperhatikan agar daya yang sampai ke konsumen dapat tersalurkan secara merata. Jika penyaluran beban sudah merata, maka rugi-rugi daya pada saat penyaluran daya kepada konsumen dapat berkurang. Pada tindakan ini jaringan sistem transmisi yang memiliki beban merata akan menimbulkan kestabilan yang baik. Pada penyaluran tenaga listrik *loadability* diperlukan karena jika tidak diperhatikan maka akan sangat berpengaruh terhadap daya pada setiap bus. Oleh sebab itu pemerataan pembebanan yang baik akan menimbulkan stabilitas pada sistem juga akan menjadi lebih baik.

2.3.1 Faktor Daya

Faktor daya yang dinotasikan sebagai cos Φ didefenisikan sebagai perbandingan arus yang dapat menghasilkan kerja dari suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk ke dalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Daya aktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya (cos Φ) akan menjadi lebih rendah. Power Faktor (faktor daya) merupakan hal yang sangat penting dalam sebuah jaringan tenaga listrik, baik jaringan 3 phasa maupun jaringan satu phasa. Daya reaktif yang semakin besar pada saluran akan mengakibatkan faktor daya menjadi rendah sehingga apabila faktor daya rendah maka akan mengakibatkan arus (I) yang mengalir pada sistem tenaga listrik tersebut mengalami kenaikan dan kenaikan arus (I) mengakibatkan kerugian-kerugian pada saluran transmisi itu sendiri [12].

2.3.2 Pengelompokan Beban

Secara umum konsumsi energi listrik setiap harinya berubah-ubah. Pemakaian beban listrik yang paling puncak terjadi pada malam hari dan juga waktu subuh. Ini terjadi karena banyaknya pemakaian pada malam hari dan juga saat waktu subuh untuk

penerangan. Sebaliknya pemakaian beban puncak pada industri terjadi pada siang hari. Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, maka beban listrik secara umum dapat dikelompokan menjadi [12].

a. Beban rumah tangga, umumnya terdapat pada peralatan elektronik seperti TV, kulkas, mesin pompa listrik, lampu, dan sebagainya. Pada malam hari beban rumah tangga mamasuki beban puncak, karena aktifitas manusia lebih dominan menggunakan penerangan dan peralatan elektronik pada malam hari jika dibandingkan pada siang hari.
b. Beban komersial, umumnya terdapat pada lampu penerang papan iklan yang berada ditepi jalan raya, peralatan listrik untuk hotel, AC, dan sebagainya.
c. Beban pada industri, umumnya beban pada industri memasuki tahap beban puncak yaitu pada siang hari karena banyak pekerjaan yang dilakukan guna untuk mempercepat selesainya *project* dari industri tersebut. Bahkan pada saat sekarang ini perusahaan industri besar banyak yang beroperasi dengan waktu 24 jam.

Dari beberapa jenis beban tersebut, daya yang disalurkan maupun yang ada pada pembangkit dikelompokan menjadi daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Daya aktif merupakan daya yang dipakai oleh konsumen seperti daya yang ada pada meteran KWH yang terpasang di rumah-rumah pelanggan. Daya reaktif merupakan daya yang hilang pada saat penyaluran tenaga listrik. Sedangkan daya semu adalah daya yang berasal dari pembangkit itu sendiri.

2.3.3 Gangguan Karena Beban Lebih

Pada sistem tenaga listrik terutama jaringan transmisi banyak terjadi gangguan pada unit pembangkit dan transformator gardu induk. Gangguan tersebut diantaranya terjadi karena berkurangnya jumlah air pada PLTA, dan gangguan karena terdapat beban lebih. Gangguan beban lebih disebabkan karena sebelumnya sudah ada gangguan yang menyebabkan beban berpindah ke bagian sistem yang lain sehingga terjadi beban lebih [14]. Gangguan ini disebut gangguan kaskade. Contohnya jika ada SUTT sirkit ganda dengan beban 80% pada tiap sirkit apabila satu sirkit mengalami gangguan maka sirkit yang lainnya yang tidak mengalami gangguan akan menampung beban dari sirkit yang mengalami gangguan sehingga beban menjadi 2x lipat dari 80% yaitu 160% [14].

Selain itu gangguan beban lebih juga bisa terjadi karena seiring dengan pertumbuhan beban yang semakin hari semakin bertambah dengan tidak diiringi dengan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

penguatan instalasi dan koordinasi sistem yang baik. Koordinasi yang kurang baik dapat menyebabkan terjadinya gangguan beban lebih. Contohnya pada jaringan distribusi, jika ada pemindahan beban dari gardu induk pertama ke gardu induk berikutnya tanpa diikuti perencanaan sistem operasi yang baik dalam sistem transmisi maka dapat menimbulkan gangguan beban lebih pada jaringan transmisi [13]. Pencegahan gangguan beban lebih bisa dilakukan dengan mengatur alokasi pembangkitan agar tidak ada sistem transmisi yang mengalami beban lebih, namun hal ini sangat berpengaruh terhadap aspek ekonomi, sosial, dan keadaan lingkungan.

Dalam ketentuan variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +5% minimum -10% terhadap tegangan nominal [22].

Tabel 2.1 ketentuan variasi tegangan pelayanan

Tegangan Nominal (V)	Variasi Tegangan Pelayanan (%)
230/400	+5% -10%
400/690	+5% -10%
1.000	+5% -10%

Ketentuan dari tabel diatas berlaku sebagai pegangan bagi :

1. Perencanaan jaringan yang baru
2. Perbaikan atau rehabilitas jaringan yang sudah ada
3. Pengusahaan JTR
4. Pengarahan pada konsultan
5. Para instalatur dalam rangka merencanakan instalasi milik pelanggan
6. Para produsen bahan-bahan dan peralatan listrik

Pada tabel diatas dapat di gunakan rumus untuk mengetahui berapa *range* dari tegangan nominal tersebut dengan menggunakan rumus berikut [22]:

$$230\ V - (230\ V \times 10\ \%) \leq \text{tegangan standar} \leq 230\ V + (230\ V \times 5\%)$$

$$207\ V \leq \text{tegangan standar} \leq 241{,}5\ V$$

$$Vpu = \frac{\text{besar tegangan yang terjadi (V)}}{\text{nilai tegangan nominal (V)}}$$

$$Vpu = \frac{207}{230} = 0{,}9\ pu, \qquad Vpu = \frac{241{,}5}{230} = 1{,}05\ pu$$

Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4 *Flexible Alternating Current Transmission System (*FACTS*)*

FACTS pertama kali dikembangkan oleh *Electric Power Research Institute* (EPRI) di Palo Alto negara bagian California di Amerika Serikat. Konsep *FACTS* pertama kali diperkenalkan oleh N.G. Hingorani pada 19 april 1998 dan sejak saat itu berbagai jenis *FACTS* mulai diteliti. Tantangan dalam sistem tenaga listrik adalah permintaan tenaga listrik yang terus meningkat secara tetap, sedangkan di sisi lain perluasan pembangkit dan pembangunan transmisi baru untuk meningkatkan *loadability* jaringan listrik sudah sangat terbatas. Hal ini dikarenakan, untuk pemasangan fasilitas dan peralatan sistem tenaga listrik yang baru dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan lingkungan dan faktor ekonomi. Selain biayanya mahal, pembuatan saluran transmisi baru membutuhkan waktu yang cukup lama untuk pembangunannya. Sehingga akhirnya muncul potensi penggunaan peralatan *Flexible AC Transmission System (FACTS),* yang berperan penting dalam memaksimalkan pemanfaatan sistem transmisi tenaga listrik yang sudah ada [23].

Menurut IEEE, *FACTS* adalah sistem listrik yang berbasis elektronika daya dan peralatan statis lainnya yang mampu mengontrol satu atau lebih parameter dari sistem transmisi arus bolak-balik untuk meningkatkan pengendalian dan kemampuan transfer daya listrik. Peralatan *FACTS* mempunyai kemampuan untuk menjadikan suatu sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan cara lebih fleksibel, aman, dan ekonomis. Pola pembangkitan tenaga listrik yang mengarah pada pembebanan saluran yang terlampau berat, akan mengakibatkan rugi-rugi saluran yang lebih tinggi, dan memperlemah keamanan serta stabilitas dari sistem tenaga listrik tersebut. Dalam kondisi demikian, peralatan *FACTS* bisa digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem, dengan cara mengontrol satu atau beberapa parameter pada sistem transmisi tenaga listrik. Secara umum, *FACTS controllers* dapat dibagi dalam 3 kategori, antara lain [23]:

1. *Series Controllers*

   Parameter yang dapat dikendalikan oleh series *controllers* dapat berupa impedansi, seperti kapasitor, reaktor atau seperangkat elektronika daya berbasis variable sumber tegangan pada frekuensi utama untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan. Secara prinsip, *series controllers* menginjeksikan tegangan secara seri ke saluran. Jika variabel impedansi dikalikan dengan arus yang mengalir melalui saluran tersebut akan menyatakan tegangan seri yang diinjeksikan secara seri ke saluran. Selama tegangan fasa berada pada kuadran yang sama

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

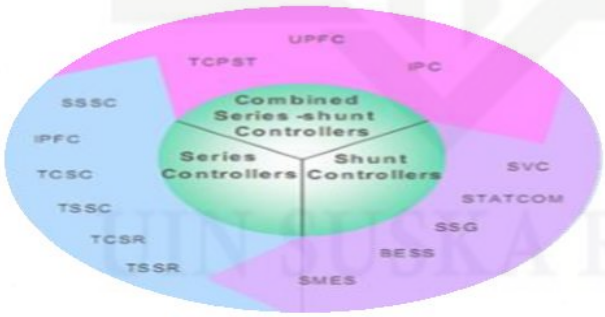
dengan arus saluran, maka *series controller* memasok atau mengkonsumsi daya nyata dan daya reaktif.

2. *Shunt controllers*

   Seperti pada kasus *series controller*, fungsi *shunt controller* dapat berupa variabel impedansi, variabel sumber tegangan, atau kombinasi dari variabel tersebut. Secara prinsip, seluruh *shunt controller* menginjeksikan arus *shunt* ke dalam sistem pada titik koneksi. dengan variabel impedansi *shunt* yang terhubung ke tegangan saluran menyebabkan mengalirnya arus variabel akan menghasilkan besarnya injeksi arus *shunt* ke dalam jaringan. Selama arus fasa yang diinjeksikan berada dalam kuadratur yang sama dengan tegangan saluran, maka *shunt controller* hanya memasok atau mengkonsumsi variabel daya reaktif.

3. *Combined series-shunt controllers*

   Peralatan ini dapat berupa kombinasi dari *shunt* dan *series controllers* yang dikontrol dalam suatu aturan koordinasi, atau sebuah *Unified Power Flow Controller* dengan elemen seri dan shunt. Secara prinsip, kombinasi shunt dan *series controller* menginjeksikan arus ke sistem melalui bagian *shunt* dari kontroler serta tegangan secara seri pada saluran melalui bagian seri dari kontroler. Walaupun demikian, ketika *shunt* dan *series controllers* disatukan, akan terdapat pertukaran daya nyata diantara *shunt* dan *series controllers*.



Gambar 2.6 Diagram Jenis-jenis Dasar Dari *FACTS Controllers* [23]

Dalam sistem tenaga listrik, hanya beberapa variabel yang dapat dipengaruhi oleh fungsi kontrol, yaitu tegangan, sudut dan impedansi. Berdasarkan fungsi yang dapat dikontrol tersebut, berikut ini adalah beberapa jenis-jenis peralatan *FACTS* yang dapat mengontrol beberapa variabel dalam sistem tenaga listrik [23] :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Mengontrol Tegangan

   Static Synchronous Series Controller (SSSC), Inter-phase Power Flow Controller (IPFC), Convertible Static Compensator (CSC), Unified Power Flow Controller (UPFC), Static Var Compensator (SVC), Static Synchronous Compensator (STATCOM)
2. Mengontrol Impedansi

   Thyristor Controlled Series Compensator (TCSC), Static Synchronous Series Controller (SSSC), Inter-phase Power Flow Controller (IPFC), Convertible Static Compensator (CSC), Unified Power Flow Controller (UPFC).
3. Mengontrol Sudut Fasa

   Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer (TCPST), Static Synchronous Series Controller (SSSC), Inter-phase Power Flow Controller (IPFC), Convertible Static Compensator (CSC), Unified Power Flow Controller (UPFC).

Penggunaan *FACTS* berdasarkan masalah dan tindakan yang dapat dilakukan, ditunjukkan oleh tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.2 Penggunaan *FACTS* Berdasarkan Masalah dan Tindakan

Subjek	**Masalah**	**Tindakan**	**FACTS**
Batas Tegangan	Tegangan tinggi pada beban tinggi	Menyediakan daya reaktif	SVC, STATCOM
		Memperkecil reaktansi saluran	TCSC
	Tegangan tinggi pada beban rendah	Menyerap daya reaktif	SVC, STATCOM
	Tegangan tinggi akibat gangguan	Menyerap daya reaktif, Mencegah beban lebih	SVC, STATCOM
	Tegangan rendah akibat gangguan	Menyediakan daya reaktif, Mencegah beban lebih	SVC, STATCOM
Batas Thermal	Saluran transmisi berbeban lebih	Meningkatkan kapasitas saluran	TCSC, SSSC, UPFC
Aliran Daya	Distribusi daya pada	Mengatur reaktansi	TCSC, SSSC,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

	saluran paralel	saluran	UPFC
		Mengatur sudut daya	UPFC, SSSC, PAR
	Pembalikkan aliran daya	Mengatur sudut daya	UPFC, SSSC, PAR
Daya Hubung Singkat	Arus hubung singkat tinggi	Pembatasan arus hubung singkat	TCSC, UPFC
Stabilitas	Daya transmisi terbatas	Mengurangi reaktansi	TCSC, SSSC

Dengan demikian, *FACTS* akan menghemat banyak biaya untuk penambahan penyediaan daya listrik. Salah satu jenis peralatan *FACTS* yang akan diteliti pada tugas akhir ini yaitu *FACTS* jenis SSSC, yang mana *SSSC* ini merupakan pilihan terbaik untuk mengendalikan aliran daya dengan menjaga sistem tetap stabil. Alasan peneliti mengambil *FACTS* jenis *SSSC* karena *SSSC* tidak hanya mengkompensasi daya reaktif, *SSSC* dapat memasok daya reaktif dan daya nyata pada saluran transmisi sehingga dapat mengoptimalkan kekurangan atau kelebihan daya reaktif dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran ttransmisi. Selain itu *SSSC* dapat menerima dan menghasilkan tegangan secara seri yang dapat di atur untuk mengubah reaktansi dari saluran transmisi dan *SSSC* bekerja sebagai kapasitor DC saat aliran listrik meningkat dan bekerja sebagai generator disaat aliran listrik pada saluran menurun. Pemilihan SSSC sangat baik bekerja pada saluran transmisi yang tidak merata atau berbeban lebih sehingga dapat menjadikan pemerataan pada setiap bus sistem. Baik itu pada saluran transmisi yang sudah ada maupun untuk perencanaan saluran transmisi di masa yang akan datang sehingga mencegah terjadinya pemadaman listrik pada daerah yang di aliri jaringan listrik.

2.5 *Static Synchronous Series Compensators (*SSSC*)*

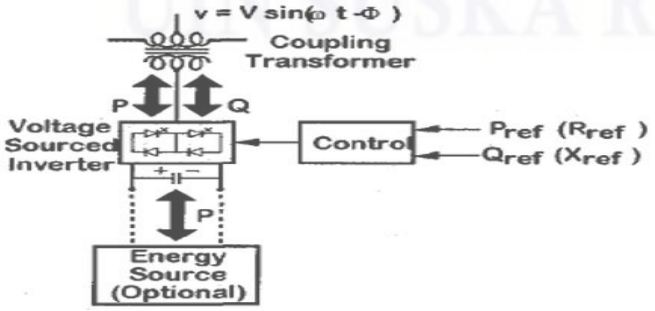
Static Synchronous Series Compensators (SSSC) adalah perangkat modern yang berguna untuk meningkatkan kualitas daya yang mengkonverter sumber tegangan. Perangkat ini dihubungkan secara seri pada saluran transmisi. *SSSC* beroperasi dengan mengendalikan kapasitor seri dan induktor seri. *SSSC* ini bekerja sangat bagus pada saluran transimisi yang berbeban lebih atau saluran transmisi yang berbeban rendah. *SSSC* terdiri dari inverter sumber tegangan dan transformator kopling yang digunakan untuk memasukkan tegangan *output* ac inverter secara seri pada saluran transmisi. Besar dan fase dari kompensasi tegangan *AC* ini dapat disesuaikan secara cepat oleh kontrol *SSSC* [6].

SSSC berfungsi sebagai penyedia tegangan reaktif (VAR) untuk menjaga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi yang panjang dan berbeban tinggi. *SSSC* ini juga dapat menaikan dan menurunkan tegangan dan bekerja dengan cepat jika dibandingkan dengan perangkat *FACTS* lainnya. *SSSC* ini bekerja seperti *STATCOM*, perbedaannya adalah *SSSC* terpasang seri sedangkan *STATCOM* terpasang *shunt*. Oleh karena itu *SSSC* dapat mentransfer daya aktif dan daya reaktif pada sistem. Dalam hal ini hanya tegangan yang dikontrol karena vektor tegangan membentuk 90º dengan intensitas saluran.

SSSC juga dapat menyediakan kompensasi kapasitif dan induktif dan dapat mengontrol arus *output* diatas level dasar induktif dan kapasitif maksimum yang independen dari sistem tegangan AC. Berbeda dengan peralatan *FACTS* lainnya seperti *SVC* yang hanya dapat menyuplai pengurangan arus *output* dengan pengurangan tegangan sistem yang ditentukan dengan desain admitansi kapasitif ekivalen yang maksimum [16].

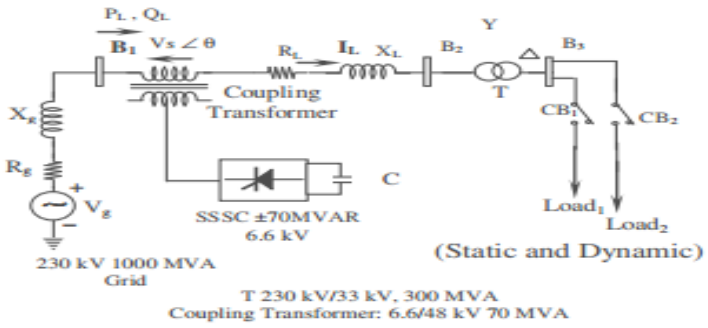
2.5.1 Prinsip kerja *Static Synchronous Series Compensators (*SSSC*)*

Static Synchronous Series Compensators (*SSSC*) merupakan pendekatan baru, dan alternatif untuk kompensasi saluran secara seri, di mana sumber tegangan sinkron, dilakukan oleh *thyristor* sumber tegangan berdasarkan inverter (VSI), digunakan untuk memberikan kompensasi yang dikontrol secara seri. Secara umum keadaan kompensator konverter mampu bertukar daya aktif dan reaktif pada terminal *output* dengan sistem tenaga *AC*, bila dioperasikan dengan catu daya *DC* yang sesuai pada terminal *input*. Ketika digabungkan ke kapasitor penyimpanan energi, *SSSC* hanya menyerap daya reaktif dari sistem. *SSSC* dihubungkan secara seri dengan saluran transmisi tiga fasa melalui transformator kopling. Aliran listrik pada saluran dapat ditingkatkan dengan memasukkan reaktansi kapasitif tambahan secara seri dalam saluran transmisi, sehingga mengurangi impedansi saluran yang efektif.



Gambar 2.7 Blok Diagram Dari SSSC [16]

Hak cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU



Gambar 2.8 Skema Diagram *SSSC* [16]

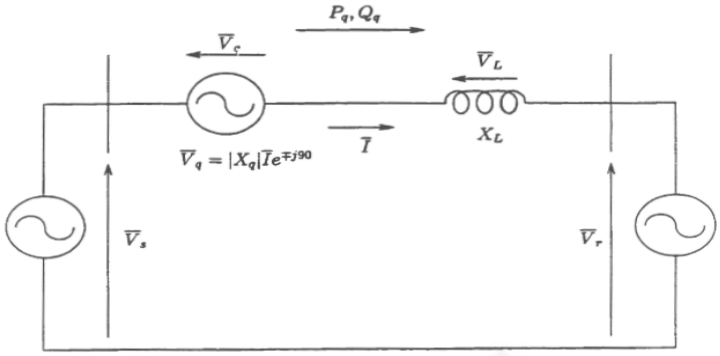
Dari gambar 2.8 diatas *SSSC* terdiri dari transformator kopling, inverter, kapasitor. SSSC terhubung secara seri dengan saluran transmisi melalui transformator kopling. Pada prinsipnya, SSSC dapat menghasilkan dan menerima tegangan secara seri yang dapat diatur untuk mengubah reaktansi dari saluran transmisi dan *SSSC* dapat menyerap daya nyata yang cukup dari saluran untuk mengurangi rugi-rugi. *SSSC* bekerja sebagai *DC* kapasitor ketika pengisian dan sebagai generator saat pemakaian. Dalam artiannya, *SSSC* bertindak sebagai kapasitor ketika aliran listrik pada saluran meningkat dan sebagai induktor ketika aliran listrik menurun [20].

Aliran listrik juga bisa berkurang dengan memasukkan reaktansi induktif tambahan, sehingga meningkatkan reaktansi efektif. *SSSC* adalah statis, generator sinkron dioperasikan sebagai kompensator seri tanpa sumber energi listrik eksternal, tegangan *output* yang dapat dikontrol dan di kuadrat dengan saluran arus. Hal ini digunakan untuk meningkatkan atau menurunkan keseluruhan *drop* tegangan reaktif yang melintasi saluran, sehingga pemodelan induktif atau reaktansi kapasitif secara seri dengan saluran transmisi. Variabel reaktansi ini mempengaruhi aliran listrik di Jalur transmisi. [16]

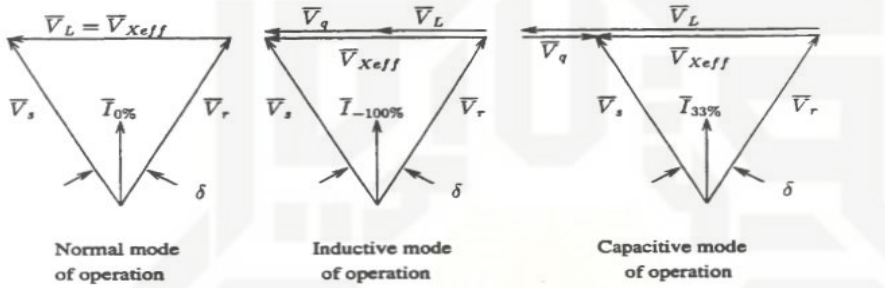
Sebuah komponen kecil dari tegangan yang di fase dengan arus saluran menyebabkan terjadinya kerugian dalam inverter. Oleh karena itu daya sesungguhnya yang ditransmisikan menjadi fungsi parametrik dari tegangan disuntikkan (V_q) dan dapat dinyatakan sebagai berikut : [16]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU



Gambar 2.9 Sirkuit kompensasi SSSC



Gambar 2.10 Bentuk *SSSC* Induktif dan Kapasitif dan Diagram Fasor [16]

Kompensasi reaktansi (X_q) pada Gambar 2.10 didefinisikan menjadi negatif ketika *SSSC* dioperasikan dalam bentuk induktif, kompensasi reaktansi memiliki nilai positif ketika *SSSC* beroperasi dalam bentuk kapasitif.

2.5.2 *Rating* SSSC

SSSC menyuntikkan tegangan kompensasi dengan pengumpan saat ini. Besarnya tegangan bisa positif atau negatif. Oleh karena itu, *SSSC* dapat dinyatakan dalam MVA sebagai berikut [24]:

$$SSSC = \sqrt{3} * \mathrm{I}_{Line\ \ Max} * \mathrm{V}_{SSSC}\ \ Max\ \ (\mathrm{MVA}) \qquad (2.1)$$

$$\mathrm{V}_{SSSC} = 0{,}1 \text{ x Tegangan Saluran}$$

$$\mathrm{I}_{Line\ \ Max} = 6{,}7 \text{ x } \frac{(\text{ Daya Pada Saluran })}{\sqrt{3} \text{ x (Tegangan Pada Saluran)}}$$

Artinya, arus saluran maksimum dikalikan dengan tegangan injeksi maksimum *SSSC*. *SSSC* dengan 1 pulsa disuntikkan tegangan memiliki *rating* 67 pu, tegangan disuntikkan terbatas sampai 10 persen hanya dari tegangan nominal. Tujuannya untuk

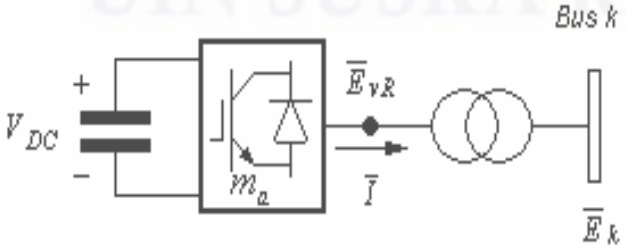
menghindari *overshooting* tegangan yang disuntikkan pada tegangan yang direkomendasikan yang disediakan oleh pengontrol selama kesalahan sistem. Selain itu juga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mencapainya titik redaman maksimum yang diinginkan. *SSSC* dapat secara efektif mengendalikan daya nyata dan reaktif serta osilasi. Tegangan referensi harus mengikuti kontrol yang diinginkan parameter. Misalnya, ketika kekuatan sesungguhnya dikontrol dalam saluran transmisi, maka masukan rangkaian kontrol harus benar-benar diukur dan keluaran daya, tegangan referensi harus mengikuti kekuatan saluran [24].

2.6 *Static Synchronous Compensator (*STATCOM*)*

Static Synchronous Compensator (STATCOM) berfungsi sebagai penyedia *Volt Amp Reactive* (VAR*)* untuk menjaga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi yang panjang dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). Pada akhirnya nanti, *STATCOM* dapat menggantikan pemakaian alat *Rotating Synchronous Condensers* yang kini umum dipasang. Alat ini berdasar pada sumber tegangan sinkron *solid state* yang dianalogikan dengan mesin sinkron ideal tanpa *rotating mass*.

STATCOM dapat menyediakan kompensasi kapasitif dan induktif dan dapat mengontrol arus output di atas level dasar induktif atau kapasitif maksimum yang independen dari tegangan sistem AC. Selain itu, juga dapat menyediakan arus output kapasitif penuh pada beberapa tegangan sistem yang praktis. Berbeda dengan *SVC* yang hanya dapat menyuplai pengurangan arus output dengan pengurangan tegangan sistem yang ditentukan dengan desain admitansi kapasitif ekivalen yang maksimum. Jenis pengontrolan ini lebih efektif dibandingkan dengan *SVC* dalam penyediaan bantuan tegangan transmisi dan perbaikan stabilitas yang diharapkan.[9]

Berikut merupakan rangkaian *STATCOM* yang dilengkapi dengan sistem pengaturan.

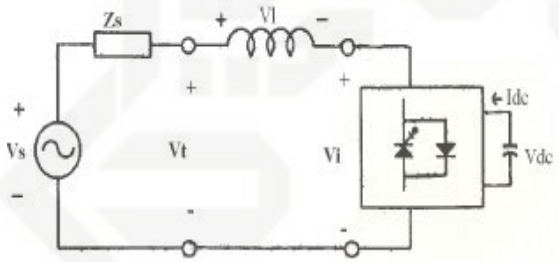


Gambar 2.11 Struktur *STATCOM* [9]

Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.6.1 Prinsip Kerja STATCOM

STATCOM merupakan teknologi yang mampu menghasilkan nilai harmonik yang kecil dan tegangan AC yang terkendali sebagai keluarannya. Nilai-nilai tersebut divariasikan untuk menjaga atau mengatur nilai impedansi reaktif. *STATCOM* menghasilkan tegangan 3 phasa seimbang yang besarnya dapat disesuaikan dengan cepat dengan menggunakan saklar semikonduktor. *STATCOM* terdiri dari sumber tegangan inverter dengan kapasitor DC, transformator kopling, sinyal pembangkit dan rangkaian kontrol [14]. Sumber tegangan inverter untuk transmisi *STATCOM* beroperasi dalam mode multi –jembatan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3 yang menunjukkan rangkaian ekivalen fasa-tunggal di mana *STATCOM* dikontrol dengan mengubah sudut fasa antara tegangan keluaran inverter dan tegangan bus pada titik sambungan yang sama [10].



Gambar 2.12 Prinsip Kerja *STATCOM*

Prinsip kerja *STATCOM* yaitu mengendalikan daya reaktif dengan melakukan perbandingan antara nilai tegangan terminal pada *STATCOM* dengan tegangan terminal pada sistem, jika sistem memiliki tegangan terminal yang rendah atau belum memenuhi range maka *STATCOM* akan memberikan daya reaktif pada sistem, jika sistem memiliki tegangan terminal yang lebih tinggi atau melewati batas range yang ditentukan maka *STATCOM* akan menyerap daya reaktif dari sistem [10].

2.6.2 *Rating* STATCOM

$$Q = (V_{bus} \text{ x } \frac{V_{bus}}{X}) - (\frac{V_{bus}\ X\ V_{STATCOM}}{X}) \cos \Phi \qquad (2.2)$$

Untuk menekan variasi tegangan dan kontrol daya reaktif dalam fase dengan tegangan sistem. Hal ini dapat mengkompensasi arus induktif dan kapasitif secara linier dan terus menerus. Tegangan terminal V_{bus} sama dengan jumlah tegangan inverter $V_{STATCOM}$ dan tegangan pada reaktansi kebocoran dan tahanan pada mode induktif dan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

kapasitif. Artinya jika tegangan keluaran *STATCOM* dalam fase dengan tegangan terminal bus dan $V_{STATCOM}$ lebih besar dari V_{bus} maka *STATCOM* memberikan daya reaktif ke sistem. Jika $V_{STATCOM}$ lebih kecil dari V_{bus} maka *STATCOM* menyerap daya reaktif dari sistem. Jika $V_{STATCOM}$ dan V_{bus} sama maka tidak ada daya yang akan ditukarkan [25].

2.7 Analisa Aliran Daya

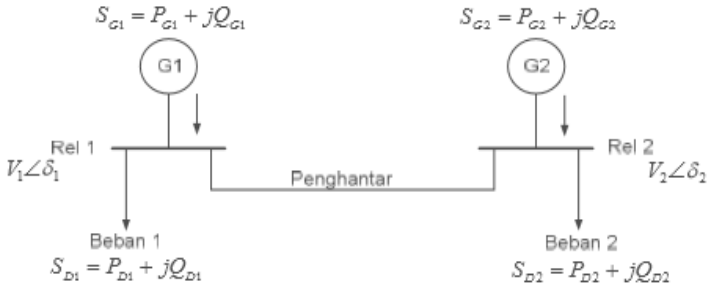
Simulasi aliran daya bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi pembebanan dan tegangan pada bus beban untuk evaluasi kinerja sistem tenaga listtrik. Aliran daya merupakan suatu yang sangat penting dalam sebuah sistem tenaga listrik. Studi aliran daya sangat diperlukan untuk perencanaan serta pengembangan sistem tenaga listrik dimasa yang akan datang. Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik memerlukan representasi atau pemodelan komponen sistem tenaga listrik. Suatu sistem kelistrikkan tiga fasa yang seimbang selalu diselesaikan per fasa dan digambarkan dalam diagram satu garis yang sesuai dengan sistem tersebut. Tujuan diagram satu garis itu adalah untuk memberikan semua informasi yang diperlukan. Dalam berbagai kasus, diagram satu garis berbeda-beda sesuai dengan persoalan yang akan diselesaikan. Misalnya dalam studi aliran daya, beban-beban dan hambatan–hambatan seperti impedansi, resistansi dan induktansi harus digambarkan. Tempat netral ke tanah tidak perlu digambarkan. Sebenarnya pengabaian ini bertujuan untuk menyederhanakan perhitungan terutama jika perhitungan dilakukan secara manual [15].

2.7.1 Metode Newton-Raphson

Persamaan aliran daya dapat dilakukan dengan menggunakan 3 metode kalkulasi yaitu metode Newthon-Raphson, accelerated gauss-sceidel, dan fast decoupled. Masing-masing metode mempunyai kelebihan masing-masing. Analisa aliran daya pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Newton-Raphson. Metode ini memiliki kelebihan yaitu lebih praktis dan efisien jika digunakan dalam sistem tenaga yang besar dan cepat dalam perhitungan akan tetapi membutuhkan banyak nilai masukan parameter.

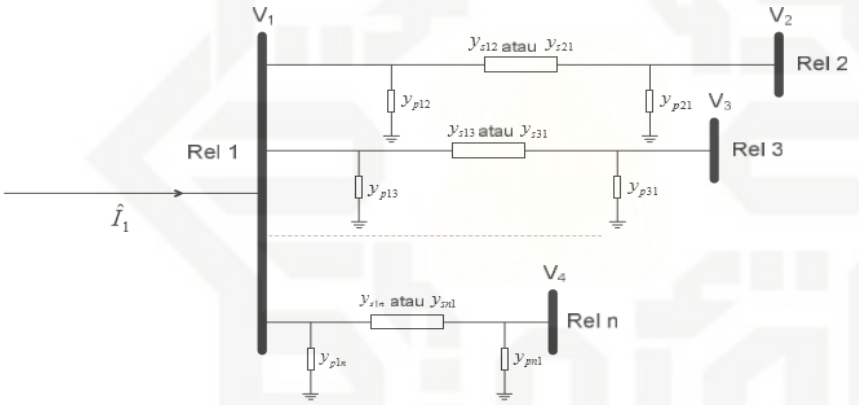
Hak cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU



Gambar 2.13 Sistem Tenaga Dengan 2 Bus Masing-masing Mempunyai 1 Beban [17]

Studi aliran daya digambarkan dengan aliran beban yang menjadi dasar untuk sistem tenaga listrik. Dalam studi aliran daya bus-bus beban dikelompokan menjadi, Sluck bus, bus generator, dan bus beban.



Gambar 2.14 Model Bus Beban Pada Jaringan Transmisi [17]

Dalam algoritma perhitungan aliran daya dengan metode Newton-Raphson, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

A. Besaran-besaran yang diketahui : [17]
   1. Daya nyata (P) dan daya reaktif (Q) pada simpul P Q diketahui
   2. Daya nyat (P) dan besarnya tegangan |V| pada simpul P V diketahui
   3. Besar tegangan |V| dan sudut fasa ttegangan δ dari simpul referensi (Slack Bus) diketahui

B. Kemudian dicoba nilai tertentu bagi besaran, sebagai berikut : [17]
   1. Besarnya tegangan V beserta sudut fasanya δ pada semua simpul P Q
   2. Besarnya sudut fasa tegangan pada simpul P V

C. Berdasarkan nilai yang dicoba tersebut pada poin B, maka dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut : [15]

$$P_i(\text{daya nyata}) = |V_i| \sum_{j=i}^{j=n} |V_i|\,|V_{ij}|\,cos\,(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$i = 1,2,3, \ldots \ldots \ldots, n, \ldots \ldots \ldots \quad (2.3)$$

atau persamaan berikut :

$$Q_i(\text{daya reaktif}) = -|V_i| \sum_{j=i}^{j=n} |V_i|\,|V_{ij}|\,cos\,(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$i = 1,2,3, \ldots \ldots \ldots, n, \ldots \ldots \ldots \quad (2.4)$$

Untuk mendapatkan :

1. Nilai P dan Q yang dihitung untuk simpul-simpul P Q
2. Nilai P yang dihitung untuk simpul Q

D. Nilai P dan Q yang diketahui pada A dikurangi dengan nilai P dan Q yang didapat dari perhitungan pada C disebut nilai residu dari P dan Q. Nilai residu ini harus mendekati nol, atau $<\varepsilon$ seperti yang disebutkan dalam ketidaksamaan dalam persamaan : [15]

$$\Delta X_i^r < \varepsilon \quad (2.5)$$

$$\text{untuk } iv = 1,2,3, \ldots \ldots \ldots, n$$

ε adalah satu angka yang ditentukan untuk mencapai suatu ketelitian perhitungan yang diinginkan. Apabila nilai residu P dan Q ini belum < ε, harus dilakukan iterasi dengan persamaan :

$$X^{(r+1)} = X^r + \Delta X^r \quad (2.6)$$

Secara umum untuk iterasi (r + 1) dicoba nilai x.

E. Proses iterasi dilakukan dengan mengkoreksi nilai yang dicoba bagi |V| dan δ seperti yang disebutkan dalam poin B. [15]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

Dengan mengingat persamaan :

$$f^0 = -j^0 \Delta X \tag{2.7}$$

Yang dijabarkan dari persamaan :

$$f_i\,(x_1, x_2, \dots\dots\dots\dots\dots, x_n) = 0 \tag{2.8}$$

$$i = 1,2,3 \dots\dots\dots\dots, n$$

maka uraian pada poin A sampai dengan D dapat dinyatakan sebagai berikut : f_i untuk daya nyata ditulis sebagai f_{ip} dan f_i untuk daya reaktif ditulis sebagai $f_i Q$, selanjutnya didapati :

$$f_{ip}\,(|V|, \delta) = P_i(diketahui) - P_i = 0 \tag{2.9}$$

$$f_{iQ}\,(|V|, \delta) = Q_i(diketahui) - Q_i = 0 \tag{2.10}$$

Dimana : P_i didapat melalui persamaan (2.1) dan Q_i didapat melalui persamaan

Untuk suatu nilai yang dicoba bagi $|V|$ dan δ, vektor nilai residu dari persamaan 8 disini adalah :

$$f_{ip} = P_i(diketahui) - P_i(dihitung) = \Delta P_i \tag{2.11}$$

$$f_{iQ} = Q_i(diketahui) - Q_i(dihitung) = \Delta Q_i \tag{2.12}$$

Sedangkan vektor koreksi pada persamaan (2.8) yaitu x disini adalah persamaan yang bentuknya :

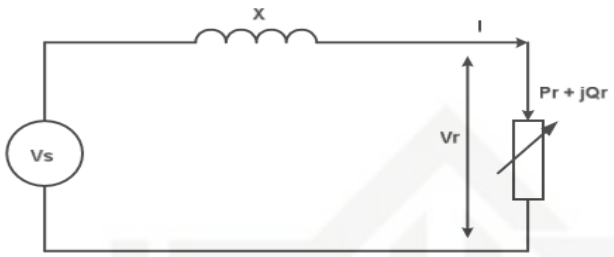
$$\Delta|V_i|\,,\delta_i$$

Nilai Residu = - matriks jacobian x nilai koreksi apabila dipakai dalam perhitungan aliran daya yang akan berbentuk :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_3 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

2.7.2 Hubungan Daya dan Tegangan

Hubungan daya dan tegangan menunjukan karakteristik operasi dari sistem atau saluran transmisi. Hubungan ini menunjukan perubahan yang terjadi pada tegangan penerima karena perubahan pada besar daya yang ditransmisikan.



Gambar 2.15 Saluran Transmisi Terhubung Ke Beban [18]

Pada gambar 2.10 diatas diperlihatan saluran transmisi dengan nilai X reaktansi saluran >> R, Vs merupakan tegangan dari sisi pengirim dan Vr merupakan tegangan dari sisi penerima. Daya nyata Pr pada sisi penerima adalah :

$$P_r = \frac{V_S V_r}{X} \sin \delta \quad (2.14)$$

Hubungan daya reaktif sisi pengirim dan penerima :

$$\frac{dQ_r}{dV_r} = \frac{1}{X}\left(\frac{V_s}{\cos \delta} - 2\,V_r\right) \quad (2.15)$$

Hubungan daya dan tegangan digambarkan dalam bentuk kurva P-V dan Q-V saluran transmisi.

Untuk menghitung nilai fasor tegangan dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$Z = R + jX \quad (2.16)$$

$$R = \frac{R_1\ x\ Panjang\ (kms)}{Zbase} \quad (2.17)$$

$$X = \frac{X_1\ x\ Panjang\ (kms)}{Zbase} \quad (2.18)$$

$$\text{Charging B} = B_1 x\ Panjang\ (kms) x\ Z_{base}\ x\ 10^{-6} \quad (2.19)$$

$$Y_{pq} = \frac{1}{Z} \quad (2.20)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

Untuk menghitung aliran daya menggunakan rumus :

$$I_{pq} = (Vp - Vq)\, Y_{pq} + Vp \frac{Y'_{pq}}{2} \qquad (2.21)$$

Aliran daya dari bus p ke q :

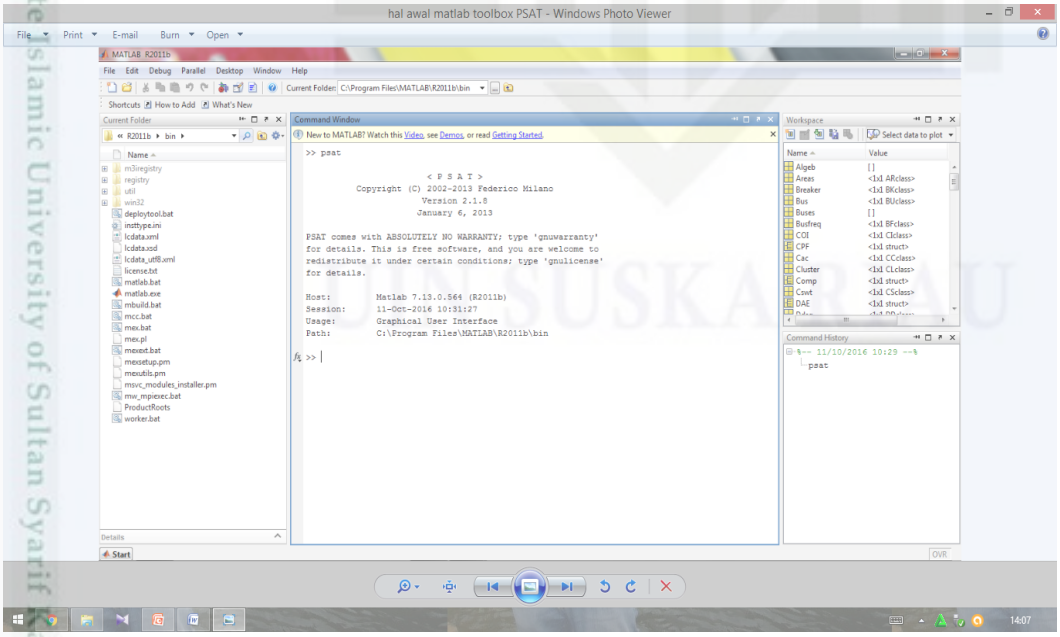
$$P_{pq} + jQ_{pq} = V_p I_{pq} = V_p \left[(V_p - V_q)\, Y_{pq} + V_q \frac{Y'_{pq}}{2} \right] \qquad (2.22)$$

Aliran daya dari bus q ke p :

$$P_{qp} + jQ_{qp} = V_q I_{qp} = V_q \left[(V_q - V_p)\, Y_{pq} + V_q \frac{Y'_{pq}}{2} \right] \qquad (2.23)$$

2.8 MATLAB toolbox PSAT

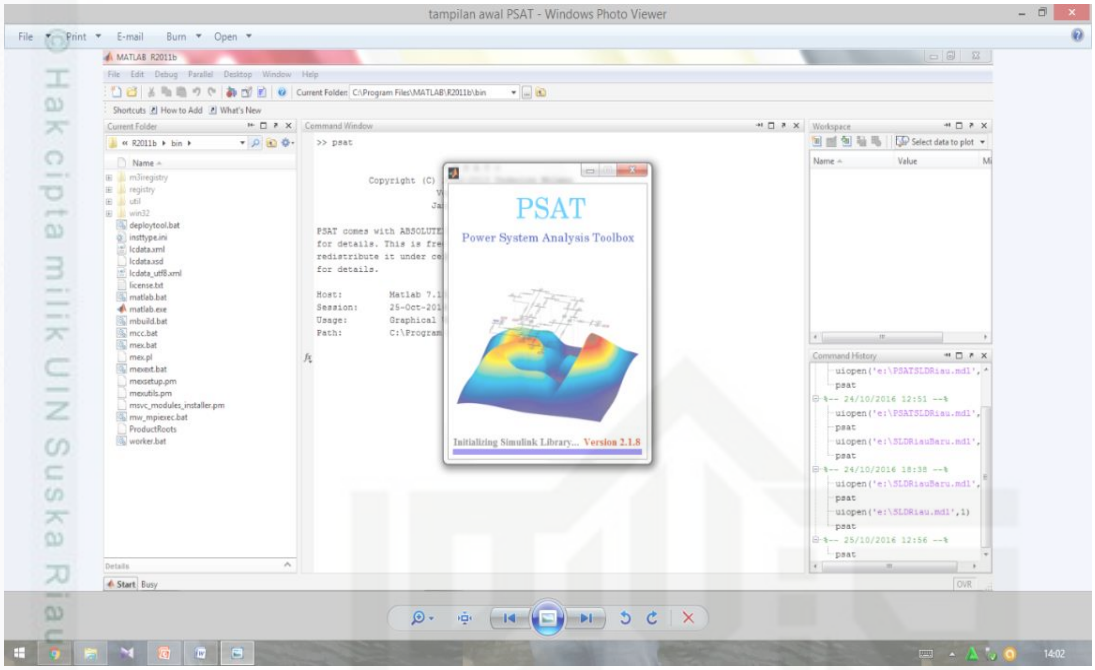
Power Sistem Analysis Toolbox (PSAT) adalah suatu toolbox pada *MATLAB* yang digunakan untuk analisis dan kontrol sistem tenaga listrik. Pada toolbox *PSAT* terdapat beberapa analisis yang bisa dilakukan, terdiri dari *power flow*, *continuation power flow* (*CPF*), *optimal power flow* (*OPF*), analisis *small signal stability* dan *time domain simulation*. Semua operasi dapat diakses dengan menggunakan *Graphical User Interfaces* (*GUI*), dan *simulink.* Kelebihan dari MATLAB toolbox PSAT ini yaitu memudahkan pengguna dalam mendesain jaringan untuk akurasi analisis sistem tenaga. *PSAT* yang digunakan dalam penelitian ini adalah PSAT *Version 2.1.8*



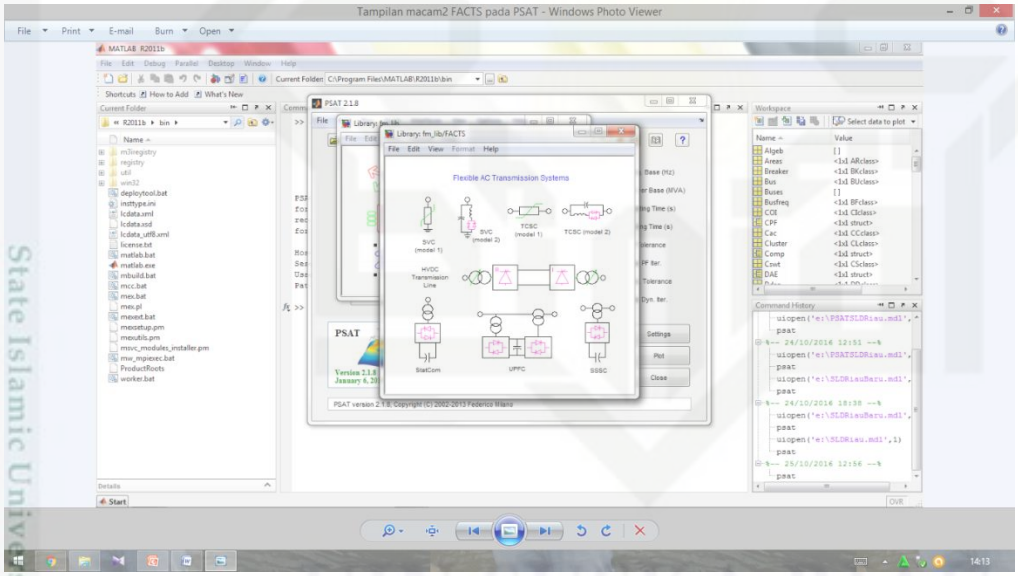
Gambar 2.16 Tampilan Menu Awal PSAT pada Matlab

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 2.17 Tampilan Awal PSAT pada Matlab



Gambar 2.18 Tampilan Jenis FACTS pada PSAT

Pada gambar 2.6 merupakan langkah awal dalam pembukaan PSAT pada sofware Matlab. Setelah keluar tampilan ini langkah selanjutnya adalah akan tampil gambar yang terlihat pada gambar 2.7. Pada gambar 2.8 merupakan tampilan jenis FACTS yang ada pada PSAT. Untuk penelitian ini penulis menggunakan FACTS jenis TCSC.

Berikut merupakan tahapan menggunakan *MATLAB toolbox PSAT* :

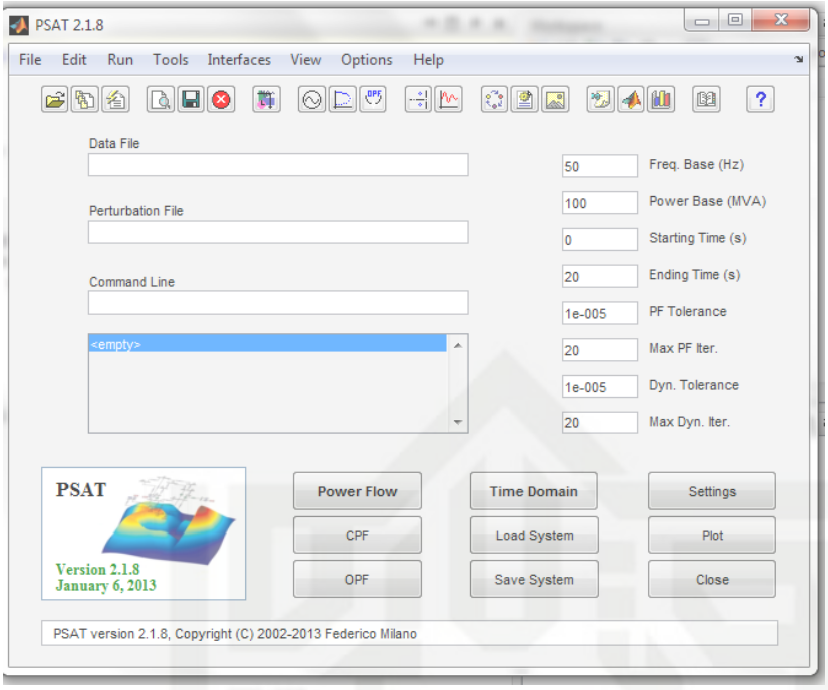
1. Membuka software *MATLAB*
2. Masuk pada *toolbox PSAT*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Membuka *library PSAT* untuk melihat komponen elektronika yang akan digunakan untuk membuat *single line diagram* Riau. *PSAT* menyediakan bermacam-macam jenis model komponen statis dan dinamik sebagai berikut.
   a. Data *Power Flow : Bus bar,* jaringan transmisi dan transformator, *Slack Bus*, Generator PV, Beban konstan, dan admitansi shunt.
   b. Data *CPF* dan *OPF* : *Power Supply bids and limit, generator power reserves, generator ramping data*, dan *power demand bids* and *limits.*
   c. Operasi Pensaklaran : gangguan saluran transmisi dan *breaker* saluran transmisi.
   d. Beban : tegangan yang bergantung pada beban, frekuensi yang bergantung pada beban, beban ZIP (*polynomial*), pemulihan beban linear, dan pengontrolan beban secara thermostatic.
   e. Mesin : mesin sinkron dan motor induksi.
   f. Kontrol : Pengendali turbin (*Turbine Governors*), *Automatic Voltage Regulators* (*AVR*), *Power System Stabilizer* (*PSS*), *Over-excitation limiters*, Pengaturan tegangan sekunder (*Central Area Controllers* dan *Cluster Controllers*).
   g. *Under Load Tap Changer* : *Load tap changer* dengan *regulator* tegangan atau *regulator* daya reaktif.
   h. *FACTS : SSSC, SVC, TCSC, STATCOM, UPFC* dan sistem transmisi *HVDC.*
   i. Turbin Angin : Model angin, Turbin angin kecepatan konstan dengan motor induksi sangkar-tupai, Turbin angin kecepatan bervariasi dengan generator induksi umpan ganda, dan Turbin angin kecepatan bervariasi dengan generator sinkron penggerak langsung.
   j. Model Lain : mesin sinkron *dynamic shaft*, rangkaian *dynamic phasor RLC series*, model *sub-synchronous resonance* (*SSR*), *Solid Oxide Fuel Cell* dan area sub-transmisi ekivalen.
4. Membuat single diagram dengan cara klik file, lalu pilih new model pada kotak dialog *library.*
5. Menghitung *Power Flow* pada *PSAT.*

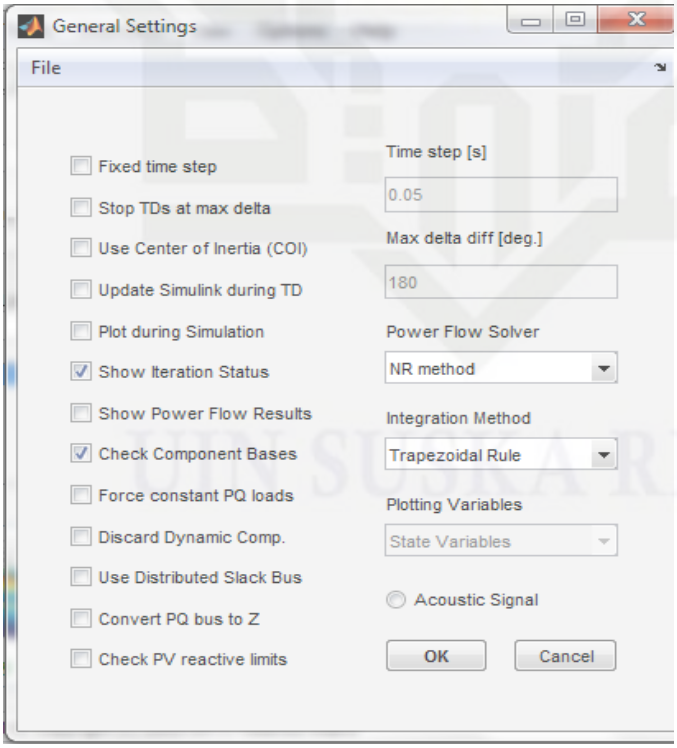
   Menghitung *power flow* akan dilakukan pada aliran daya awal dan setelah pemasangan *SSSC* dan pemasangan *STATCOM.*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Gambar 2.19 *Main Graphical User Interface* (GUI) pada PSAT.

6. General Setting pada *PSAT*, terdapat beberapa metode diantaranya metode *Newton-Raphson (NR method)*



Gambar 2.20 *General Setting* pada PSAT