

ANALISIS KOMPENSATOR SERI MENGGUNAKAN *THYRISTOR* UNTUK SISTEM DAYA LISTRIK

Taupiq Rahman Siregar¹⁾, Azriyenni Azhari Zakri²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
E-mail : taupiq.rahmansiregar@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Along with the growth of society and technological improvements, the demand for electricity continues to increase. However, the development of the electric power system is not sufficient to supply the needed electrical energy. For this reason, it is necessary to regulate and manage a good electricity distribution system so that the current growth of community needs is met and has a high enough reliability. The installation failure in the electric power system cannot be avoided due to the long transmission distance. This has a major effect on the flow of power in electric power transmission resulting in a decrease in voltage and loss of electrical power. One of the ways to overcome voltage stability and improve the reliability of the electrical power system is to use a Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS). One of the FACTS devices is the Thyristor Controlled Series Compensator (TCSC). The TCSC is installed in series with the transmission line and is used to increase the power capabilities of the transmission line. Regulating the reactance of the transmission line can be done by controlling the reactance of the TCSC so that the power flowing can be increased. After conducting a power flow study using the MATLAB 2016a PSAT toolbox software, it was found that the voltage on the Bangkinang bus was 0.9868 p.u (148.02 kV) and on the Garuda Sakti bus was 0.9637 p.u (144.55 kV). After installing the TCSC on the Riau 150 kV transmission system, the TCSC was installed on the Garuda Sakti transmission line - Balai Pungut. The installed TCSC rating is 24 Mvar. The value of the alpha parameter is 0.2 and (-0.8) radians. After installing the TCSC, voltage stability the Bangkinang bus and the Garuda Sakti bus increased to 0.99008 p.u (148.512kV) and 0.97693 p.u (146.535kV). The percentage increase is 0.4% on the Bangkinang bus, 1.15% on the Garuda Sakti bus, the average stress on the object of research has increased by 1.15%.

Keywords: Electric Power System, FACTS, TCSC, Matlab R2016a toolbox PSAT

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan kebutuhan utama di kehidupan masyarakat dalam mendukung aktivitas. Seiring dengan pertumbuhan masyarakat dan peningkatan teknologi kebutuhan tenaga listrik terus meningkat. Akan tetapi perkembangan sistem tenaga listrik tidak cukup mensuplai kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan. Untuk itu diperlukan pengaturan dan pengelolaan sistem penyaluran listrik yang baik agar pertumbuhan kebutuhan masyarakat saat ini terpenuhi dan memiliki keandalan yang cukup tinggi. Kegagalan instalasi pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari

karena jarak transmisi yang panjang, mencakup daerah yang sangat luas, dan pertumbuhan kebutuhan masyarakat yang berlangsung cepat dibandingkan dengan peningkatan sistem transmisi listrik yang sudah ada. Hal ini berpengaruh besar terhadap aliran daya pada transmisi tenaga listrik sehingga terjadi penurunan tegangan dan rugi daya listrik.

Berdasarkan permasalahan di atas, untuk mengatasi kestabilan tegangan dan meningkatkan keandalan sistem daya listrik salah satunya adalah dengan menggunakan perangkat *Flexible*

Alternating Current Transmission Systems (FACTS). Perangkat FACTS merupakan suatu peralatan kontrol yang ditempatkan pada sistem jaringan transmisi yang dapat meningkatkan kemampuan transfer daya listrik. Perangkat FACTS dapat berfungsi secara optimal saat ditempatkan di titik tertentu dari jaringan dan mengatur besar nilai setting yang diberikan, yaitu salah satunya adalah pemasangan komponen *Thyristor Controlled Series Compensator* (TCSC).

TCSC adalah alat yang berfungsi sebagai pengendali impedansi dari saluran transmisi. TCSC merupakan perangkat FACTS tipe impedansi variabel yang mudah diimplementasikan pada jaringan transmisi listrik untuk mendapatkan hasil aliran daya yang lebih baik. TCSC dipasang secara seri dengan saluran transmisi dan digunakan untuk meningkatkan kapabilitas daya pada saluran transmisi. Pengaturan reaktansi saluran transmisi dapat dilakukan dengan mengendalikan reaktansi TCSC sehingga daya yang mengalir dapat ditingkatkan atau dengan kata lain peningkatan kapabilitas saluran transmisi. Pemasangan TCSC ini dapat dilakukan pada satu atau beberapa titik untuk mencapai nilai tegangan dan rugi daya yang diharapkan.

Keunggulan metode ini adalah lebih praktis dalam sistem tenaga yang lebih besar dan iterasi yang dibutuhkan lebih sedikit. Pemasangan TCSC dalam upaya peningkatan kestabilan dan melakukan perhitungan aliran daya dari bus ke bus.

II. LANDASAN TEORI

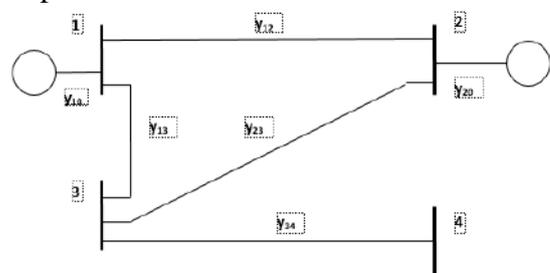
2.1 Sistem Aliran Daya

Perhitungan aliran daya mencakup tegangan, daya aktif, daya reaktif, daya total yang mengalir pada saluran transmisi atau antar bus hingga daya aktif dan reaktif yang dihasilkan oleh generator atau pembangkitan.

Untuk kebutuhan studi aliran daya, terdapat data-data dari bus dan data dari saluran transmisi pada sebuah sistem tenaga listrik. Data-data yang

terdapat pada tiap-tiap bus meliputi: magnitude tegangan dalam p.u., sudut tegangan (θ), besar pembebanan yang terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), besar pembangkitan yang terdiri dari daya aktif (P), daya reaktif (Q), Q_{min} , dan Q_{max} . Sedangkan data-data yang terdapat pada saluran transmisi meliputi : resistansi saluran transmisi dalam p.u., reaktansi saluran transmisi dalam p.u., tap trafo (biasanya bernilai 1), dan rating tegangan dalam kilo volt (kV).

Gambaran sederhana dari tipikal bus pada sistem tenaga dapat dilihat pada Gambar 1 dijabarkan proses aliran arus dari bus dengan melewati admitansi pada masing-masing bus dan menggambarkan tegangan bus dan tegangan pada tiap-tiap saluran transmisi.



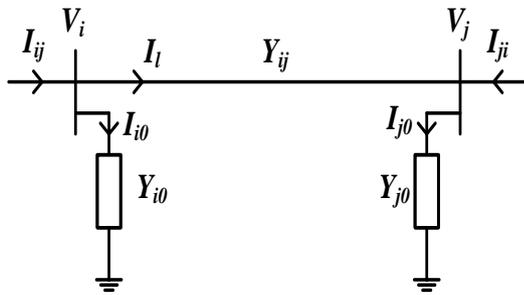
Gambar 1. Tipikal Bus dari Sebuah Sistem Tenaga (Saadat, 1999)

Dari gambar 1, nilai dari tegangan bus dan arus dapat diwakili dengan persamaan-persamaan matriks admitansi. Untuk sistem pada Gambar 1, persamaan arus pada simpul dalam bentuk matrik adalah (Saadat, 1999:192) :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & 0 \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & 0 \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ 0 & 0 & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (2)$$

Dengan I_{bus} adalah vektor arus bus yang diinjeksikan. Arus positif jika menuju bus dan negatif jika meninggalkan bus. V_{bus} adalah vektor tegangan bus yang diukur dari simpul referensi. Y_{bus} dikenal sebagai matriks admitansi bus. Matrik admitansi bus (Y_{bus}) ini terbentuk dari elemen diagonal masing-masing simpul dan elemen diagonal antara simpul-simpul.



Gambar 2. Pemodelan Saluran Transmisi untuk Perhitungan Aliran Daya. Saadat (1999:212)

besar rugi-rugi daya yang timbul pada saluran transmisi sebagai berikut :

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (3)$$

Dengan S_{Lij} adalah total rugi-rugi daya pada saluran transmisi, S_{ij} adalah nilai rugi-rugi saluran transmisi i-j, dan S_{ji} adalah nilai rugi-rugi saluran transmisi j-i.

2.2 Metode Newton-Raphson

Secara umum metode Newton-Raphson hampir sama dengan metode Gauss-Seidel, akan tetapi metode Newton-Raphson lebih efisien dan praktis dalam menyelesaikan permasalahan studi aliran daya pada sistem tenaga yang besar. Jumlah iterasi yang dibutuhkan dalam melakukan penyelesaian perhitungan didasarkan pada ukuran sistem. Dalam permasalahan aliran daya, daya aktif dan magnitude tegangannya dispesifikasikan untuk bus generator sedangkan aliran daya diformulasikan dalam bentuk polar (Saadat, 1999:232).

2.3 Rugi-rugi Daya Saluran Transmisi

Apabila dimisalkan bahwa saluran yang menghubungkan antara bus p dan q memiliki admitansi seri y_{pq} dan admitansi shunt total y'_{pq} , maka arus yang mengalir pada saluran tersebut akan diberikan oleh:

$$I_{pq} = (V_p - V_q)y_{pq} + V_p \frac{y'_{pq}}{2} \quad (4)$$

Sehingga aliran daya dari bus p ke q diberikan oleh:

$$P_{pq} + jQ_{pq} = V_p I_{pq} = V_p \left[(V_p - V_q)y_{pq} + V_p \frac{y'_{pq}}{2} \right] \quad (5)$$

Dengan cara yang sama, aliran daya dari bus q ke p diberikan oleh :

$$P_{qp} + jQ_{qp} = V_q I_{qp} = V_q \left[(V_q - V_p)y_{pq} + V_q \frac{y'_{pq}}{2} \right] \quad (6)$$

Rugi-rugi daya pada saluran transmisi antara bus p dan q diberikan oleh:

$$S_{loss,pq} + jQ_{loss,pq} = (P_{pq} + jQ_{pq}) + (P_{qp} + jQ_{qp}) \quad (7)$$

2.4 Kompensasi Daya Reaktif

Aliran daya aktif dan daya reaktif pada jaringan transmisi tenaga listrik tidak berkaitan secara langsung satu dengan yang lain karena masing – masing dipengaruhi dan diatur oleh besaran yang berbeda. Walaupun pengaruh kompensasi seri akan meningkatkan keduanya. Pengaturan daya aktif amat erat hubungannya dengan pengaturan frekuensi, dan daya reaktif dapat diatur melalui pengaturan tegangan. Frekuensi dan tegangan adalah besaran yang penting dalam penentuan kualitas catu daya dalam sistem tenaga, sehingga pengaturan daya aktif dan daya reaktif menjadi penting untuk menunjukkan penampilan sistem tenaga listrik. Tegangan dan frekuensi pada setiap titik beban diharapkan konstan dan bebas dari harmonik serta besar faktor daya satu. Kemampuan sistem tenaga untuk mendekati kondisi ideal diatas merupakan ukuran kualitas suatu pengiriman daya (Efendi, 2006).

Agar efisiensi dan kemampuan operasi sistem tenaga meningkat, pengaturan tegangan dan daya reaktif harus memenuhi sasaran sebagai berikut :

1. Tegangan yang dipakai pada terminal – terminal peralatan dalam sistem tersebut harus dalam batas yang diijinkan. Jika menggunakan tegangan diluar batas kemampuan, akan mengakibatkan efek yang buruk bagi suatu peralatan.
2. Meningkatkan stabilitas sistem sampai mendekati nilai maksimalnya agar dicapai suatu keadaan yang mendekati ideal.
3. Mengurangi susut energi $I^2 X_{sal}$ untuk memaksimalkan penyaluran energi pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik (STTL)

Karena daya reaktif tidak dapat ditransmisikan dalam jarak yang jauh, maka diperlukan peralatan tambahan untuk mengatasinya. Berkaitan dengan hal tersebut, selanjutnya akan dibicarakan mengenai teori kompensasi secara singkat dibawah ini.

Kompensasi artinya proses penggantian kerugian atau cara untuk mengganti kerugian. Secara sederhana bisa juga diartikan sebagai proses pengimbangan. Kompensasi pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik (STTL) pada dasarnya adalah memasukkan atau menyisipkan dengan sengaja peralatan penghasil/penyerap daya reaktif pada sistem tenaga listrik. STTL aliran atas atau aliran udara memerlukan peralatan kompensasi. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan penampilan saluran, antara lain menstabilkan tegangan kerja antara sisi kirim dan sisi terima, memperkecil panjang elektrik saluran sehingga menaikkan hantaran dayanya. Peralatan-peralatan kompensasi pada saluran transmisi antara lain reaktor shunt, kapasitor shunt, kapasitor seri, atau penggabungan diantaranya. Kompensasi reaktor shunt biasanya digunakan pada saluran transmisi jarak menengah (80 – 250 km), kompensasi dengan kapasitor seri atau kombinasi reaktor shunt dengan kapasitor seri digunakan pada saluran transmisi jarak jauh (> 250 km).

2.5 FACTS

Pada perkembangan sistem tenaga listrik telah dikenalkan suatu perangkat kontroler elektronika daya yang mampu mengatur daya aktif maupun reaktif secara cepat dan dinamis. Perangkat ini dapat membuat transmisi jaringan AC beradaptasi dengan perubahan kondisi yang disebabkan oleh perubahan beban. *Flexible AC Transmission System* (FACTS) adalah suatu alat statis berbasis sistem elektronika daya yang menyediakan kontrol beberapa parameter pada saluran transmisi AC.

Berdasarkan penggunaan kontrol, perangkat FACTS diklasifikasikan menjadi (Padiyar, 2007) :

1. Tipe *Variable Impedance* (VI), seperti *Static VAR Compensator* (SVC), *Thyristor*

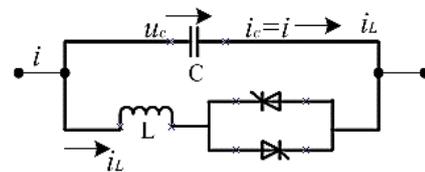
Controlled Series Compensator (TCSC), serta *Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer* (TCPST).

2. Tipe *Voltage Source Converter* (VSC), seperti *Static Synchronous Compensator* (STATCOM), *Static Synchronous Series Compensator* (SSSC), *Interline Power Flow Controller* (IPFC), *Unified Power Flow Controller* (UPFC).

2.6 TCSC

TCSC memiliki beberapa komponen yang mirip dengan TCR yaitu antara lain sebuah induktor yang seri dengan *thyristor bipolar*. Cara kerja *thyristor* adalah dengan melakukan pengaturan pada sudut penyalaannya sehingga didapatkan beberapa variasi reaktansi induktif yang menyebabkan pertukaran daya reaktif yang cepat antara TCSC dan sistem. TCSC dipasang paralel dengan sebuah kapasitor bank agar dapat mengkompensasi daya reaktif (Glanzmann & Andersson, 2004).

Pada prinsipnya TCSC dipasang secara seri dengan saluran transmisi. Pengaturan reaktansi saluran transmisi dapat dilakukan dengan mengendalikan reaktansi TCSC sehingga daya yang mengalir dapat ditingkatkan atau dengan kata lain peningkatan kapabilitas saluran transmisi. Pada gambar 3 terlihat bahwa TCSC merupakan kombinasi antara komponen TCR dengan kapasitor. TCR terdiri dari induktor yang terhubung seri dengan *thyristor*.



Gambar 3. Rangkaian Sederhana TCSC Satu Fasa

Persamaan X_{eq} yang merupakan hasil dari sudut penyalaan ditunjukkan sebagai berikut ini :
 Persamaan (2-50) sampai (2-53) dirujuk dari buku (Glanzmann & Andersson, 2004)

$$B_L(\alpha) = -\frac{1}{\omega L} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin(2\alpha)}{\pi} \right) \quad (8)$$

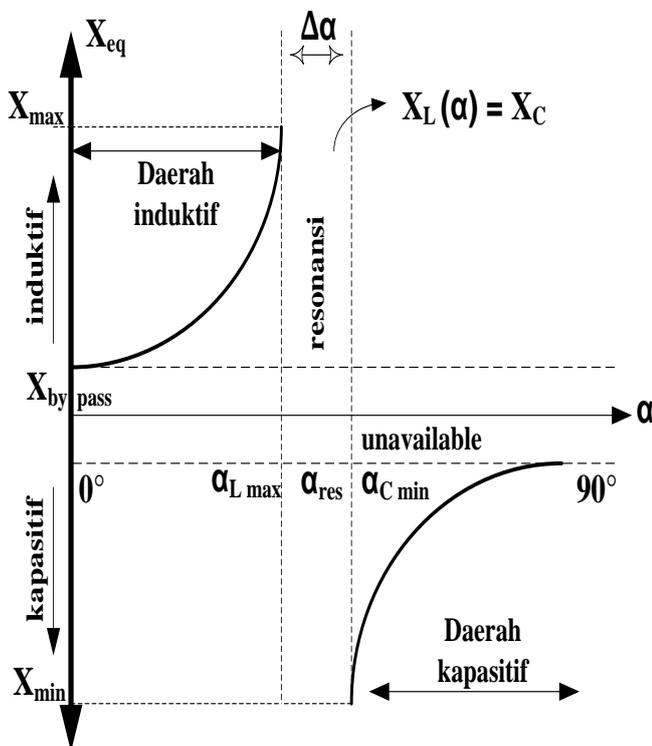
$$B_C = \omega C \quad (9)$$

$$B_{eq} = B_L(\alpha) + \omega C \quad (10)$$

Dari persamaan diatas didapatkan persamaan X_{eq} untuk TCSC :

$$X_{eq} = -\frac{1}{B_L(\alpha) + B_C} \quad (11)$$

Dapat diketahui bahwa dalam pengoperasiannya, *thyristor* membutuhkan sudut penyalan. Sudut penyalan biasanya berkisar antara 0° hingga 360° . Akan tetapi berdasarkan referensi (Glanzmann & Andersson, 2004) sudut penyalan berkisar antara 0° hingga 90° sesuai dengan penjabaran kurva ekivalen reaktansi TCSC pada gambar 4.

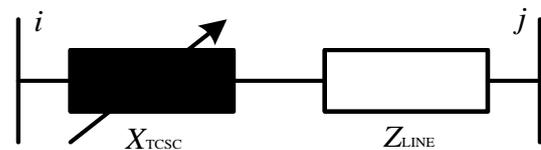


Gambar 4. Reaktansi Ekivalen (X_{eq}) TCSC (Glanzmann & Andersson, 2004)

Dari gambar 4, terlihat bahwa besar sudut penyalan *thyristor* adalah 0° dan 90° . Sudut penyalan dijaga pada jarak $\Delta\alpha$ dari titik resonansi. Batas kompensasi maksimum TCSC (X_{max}) ditentukan oleh sudut penyalan α_{Lmax} dan untuk batas kompensasi minimum (X_{min}) oleh sudut penyalan α_{Cmin} . Untuk mencegah terjadinya kompensasi berlebihan, TCSC diatur pada daerah kerja antara $-0,8X_{line}$ hingga $0,2X_{line}$ (Jumaat dkk, 2012).

$$r_{TCSCmin} = -0,8 ;$$

$$r_{TCSCmax} = 0,2$$



Gambar 5. Model TCSC pada Saluran Transmisi

Dari gambar 5 dapat diketahui hubungan antara rating TCSC dengan reaktansi pada saluran transmisi sebagai berikut :

$$X_{total} = X_{saluran} + X_{TCSC} \quad (12)$$

$$X_{TCSC} = r_{TCSC} \times X_{saluran} \quad (13)$$

Dimana:

$$X_{saluran} = \text{Reaktansi saluran transmisi}$$

$$r_{TCSC} = \text{Rating kompensasi TCSC}$$

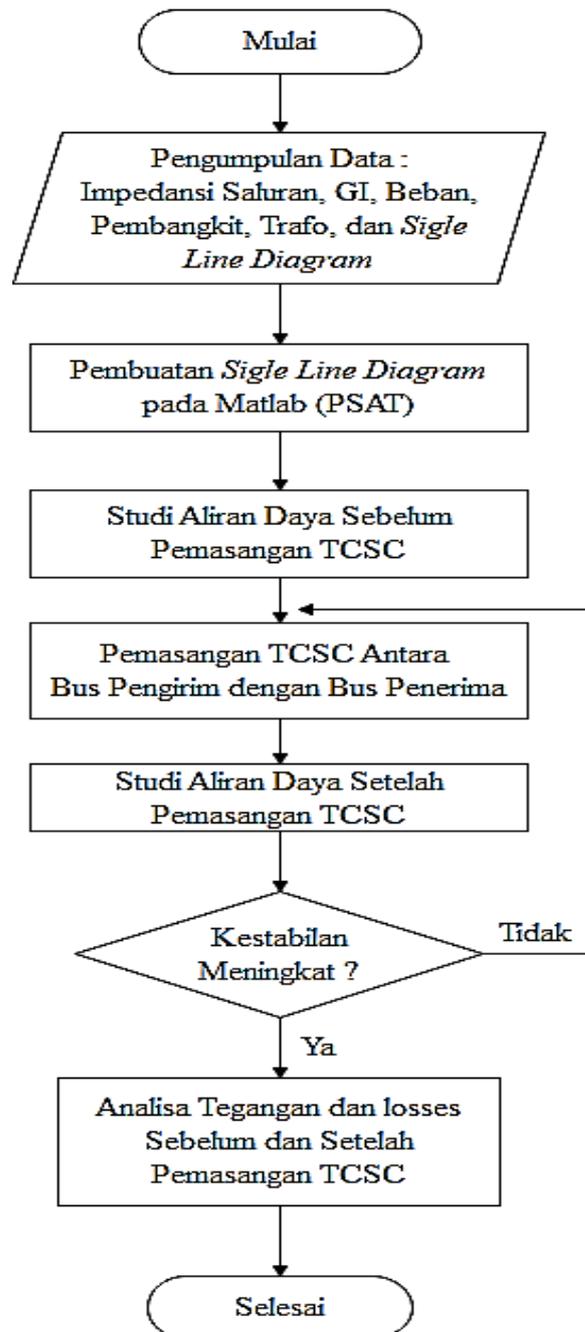
III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi yang terdapat pada aplikasi Matlab R2016a. Ada beberapa tahapan

penting dalam melakukan penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Membuat desain *single line diagram* kelistrikan objek penelitian menggunakan Matlab toolbox PSAT
2. Pengambilan Data Simulasi berupa : data penghantar saluran, impedansi saluran, beban, pembangkit, trafo.
3. Analisa hasil simulasi terhadap kestabilan tegangan dan rugi-rugi daya.

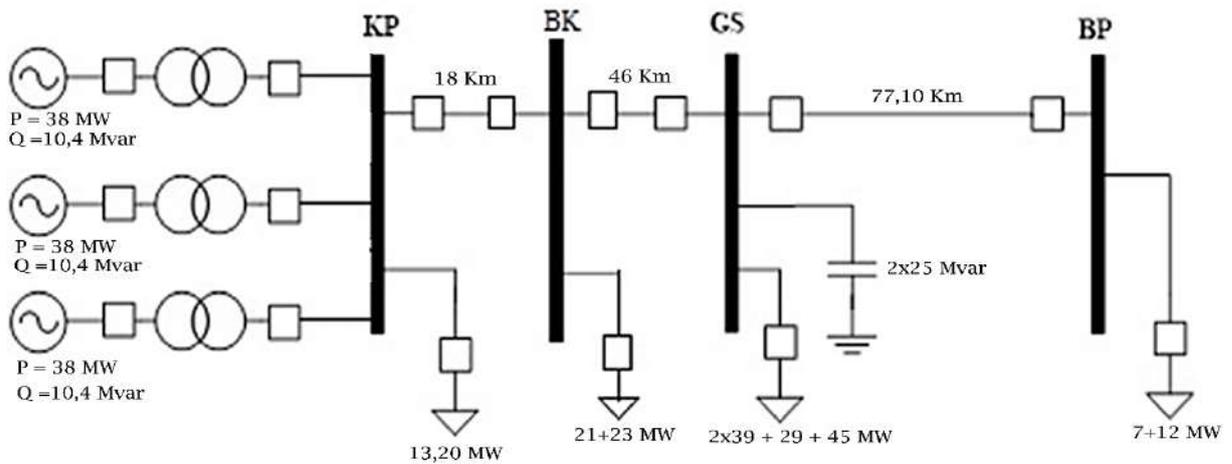
Diagram alir penelitian diberikan pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. flowchart Penelitian

3.1 Permodelan Sistem Tenaga Listrik

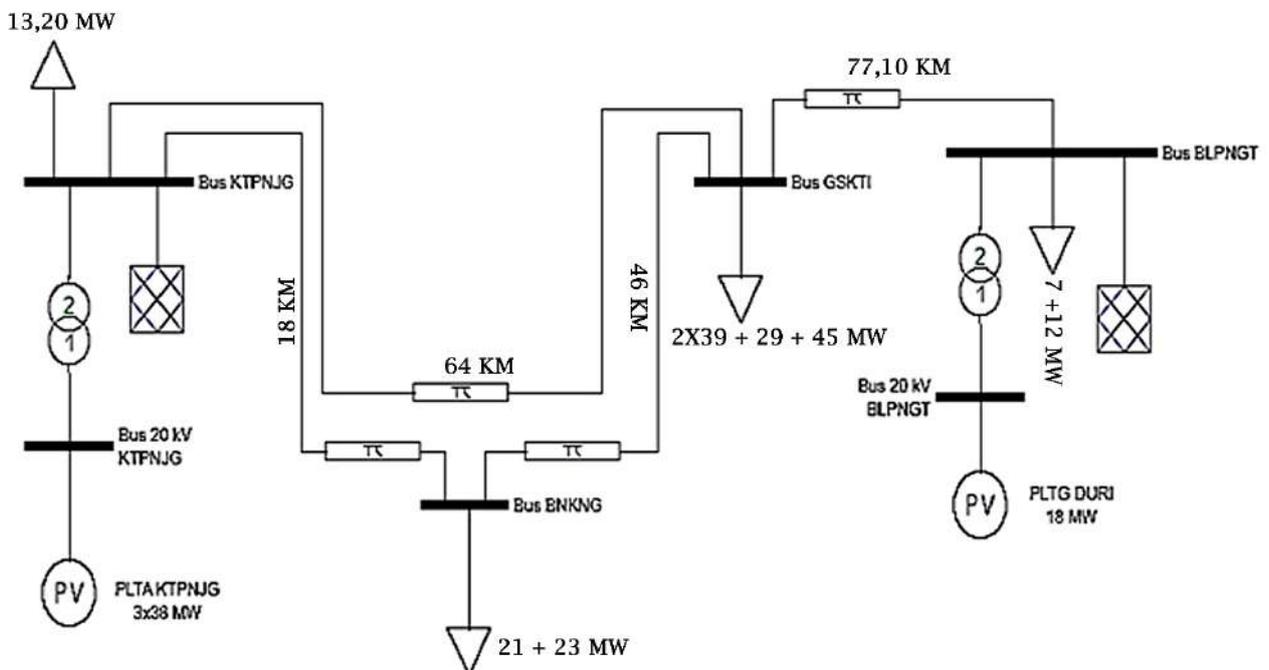
Pemodelan sistem tenaga listrik yang digunakan sebagai objek penelitian dan parameter – parameter yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi sistem tenaga listrik Matlab R2016a toolbox PSAT. Gambar 7 merupakan *Single line diagram* sistem transmisi tenaga listrik dari Koto Panjang sampai bus Balai Pungut.



Gambar 7. *Single line diagram* sistem transmisi tenaga listrik

3.2 Pemodelan Sistem Transmisi Sebelum Pemasangan TCSC pada Matlab Toolbox PSAT

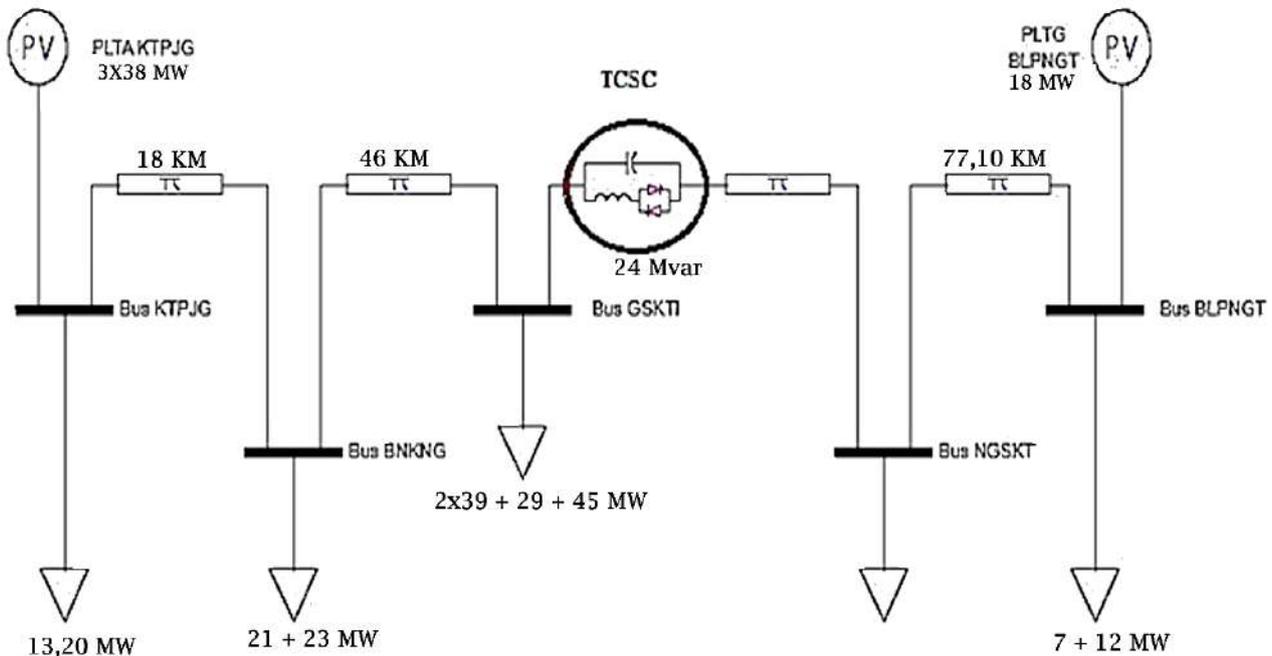
Pemodelan saluran transmisi tenaga listrik dari bus Koto Panjang, bus Bangkinang, bus Garuda Sakti dan bus Balai Pungut sebelum pemasangan TCSC pada saluran dengan menggunakan Matlab toolbox PSAT dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan saluran transmisi sebelum pemasangan TCSC pada Matlab toolbox PSAT

3.3 Pemodelan Sistem Transmisi Dengan Pemasangan TCSC pada Matlab Toolbox PSAT

Pemodelan saluran transmisi tenaga listrik dari bus Koto Panjang, bus Bangkinang, bus Garuda Sakti dan bus Balai Pungut dengan pemasangan TCSC pada saluran dengan menggunakan Matlab dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Pemodelan saluran transmisi Setelah Pemasangan TCSC pada Saluran Garuda Sakti dengan Balai Pungut pada Matlab toolbox PSAT

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini membahas pemodelan TCSC pada saluran transmisi Subsistem Riau, pada bab ini membahas analisis perbandingan saat sebelum dan sesudah pemasangan TCSC.

Tabel 1. *Static Report* Tegangan Aliran Daya Sebelum Pemasangan TCSC pada Sistem 150 kV Riau

Bus	V Bus (p.u.)
Balai Pungut	1
Bangkinang	0,9868
Garuda Sakti	0,9637
Koto Panjang	1

Tabel 1 memaparkan hasil simulasi keadaan awal sistem kelistrikan Riau sebelum pemasangan TCSC pada saluran dengan menggunakan perintah *static report* pada software MATLAB toolbox PSAT.

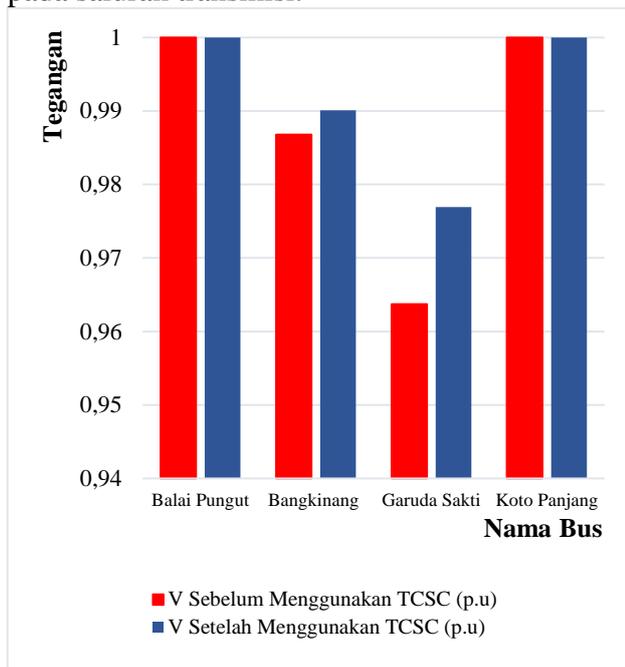
Tabel 2. *Static Report* Tegangan Aliran Daya Setelah Pemasangan TCSC pada Sistem 150 kV Riau

Bus	V Bus (p.u.)
Balai Pungut	1
Bangkinang	0,99008
Garuda Sakti	0,97693
Koto Panjang	1

Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian dengan pemasangan TCSC. Dari hasil data simulasi terjadi peningkatan tegangan pada bus Bangkinang dan Garuda Sakti. Semula tegangan masing-masing 0,9868 p.u dan 0,9637 p.u. Setelah dilakukan pengujian pemasangan TCSC tegangan masing-masing bus meningkat menjadi 0,99008 p.u dan 0,97693 p.u.

Dampak dari pemasangan TCSC pada bus saluran Garuda Sakti ke bus Balai Pungut kestabilan tegangan meningkat dan rugi-rugi daya pada saluran menurun, sesuai dengan fungsi

TCSC yang mampu mengatur besar beban reaktif pada saluran transmisi.



Gambar 10. Perbandingan Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan TCSC

Gambar 10 menggambarkan perbandingan tegangan pada bus objek penelitian sebelum dan sesudah pemasangan TCSC. Hasil yang dilihat pada hasil simulasi Setelah dilakukan pemasangan TCSC kestabilan tegangan mengalami perubahan pada bus Bangkinang dan bus Garuda Sakti yaitu meningkat menjadi 0,99008 p.u dan 0,97693 p.u.

Hal ini membuktikan bahwa TCSC merupakan salah satu alat yang mampu memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya sesuai dengan fungsi TCSC yang mampu mengatur besar beban reaktif pada saluran transmisi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain dan modeling rangkaian Kompensator Seri Menggunakan Thyristor pada saluran Garuda Sakti 150 kV dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

Pemasangan TCSC pada saluran Garuda Sakti ke Balai Pungut menyebabkan kenaikan kestabilan tegangan pada bus Bangkinang 0,4% dan pada bus Garuda Sakti 1,4%. Tegangan rata-rata pada objek penelitian mengalami peningkatan 1,15%. Pemasangan TCSC mampu

menurunkan total rugi-rugi daya pada saluran sebesar 6,79%.

Pemasangan TCSC dapat mempengaruhi tegangan di bus – bus yang berdekatan. Bila TCSC bekerja pada daerah kapasitif, artinya Xtcsc bernilai negatif dapat menyebabkan tegangan naik di sekitar saluran Garuda Sakti, sebaliknya jika TCSC bekerja pada daerah induktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. (2014). *Dampak Pemasangan Peralatan FACTS Terhadap Stabilitas Tegangan Pada Sistem Tenaga*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Ahmad Dani, dkk. (2018). *Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Sebagai Kompensator Daya Reaktif*. Medan : Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni.
- Arjana, I. G. (2014). *Peningkatan Stabilitas Sistem Transmisi 150 KV Bali Menggunakan Facts Device*. Bali : Universitas Udayana.
- Bintang Unggul P. (2016). *Analisa Pemasangan Kompensator Reaktor Shunt dalam Perbaikan Tegangan Ekstra Tinggi*. Jakarta : Universitas Tama Jagakarsa.
- Budiono Mismail. (1983). *Analisa Sistem Tenaga*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Efendi, L. H. (2006). *Pemanfaatan Teknik Modulasi Lebar Pulsa (PWM)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Hafidz, M. (2013). *Kompensator Daya Reaktif*. Sekolah Tinggi Teknik – PLN (STT-PLN).
- Hastanto Ari, Y. H. (2012). *Optimasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Sistem 500 KV Jamali Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Lukmanul, H. E. (2006). *Pemanfaatan Teknik Modulasi Lebar Pulsa (PWM)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Mutmainnah. (2013). *Analisis Kompensasi Daya Reaktif Dengan Menggunakan Facts Devices Pada Saluran Transmisi Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan*. Makassar : Universitas Hasanuddin.

- Pranyata, D. P. (2014). *Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi FACTS Device pada Sisten Tenaga Listrik Menggunaka Metode Particle Swarm Optimization (PSO)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Professor A.T Johns, D. A.-G. (1999). *Flexible ac transmission System (FACTS)*. United Kingdom
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. McGraw-Hill: International Edition.
- Syiska Yana,dkk. (2016). *Pengaruh Pemasangan SVC pada Sistem Tenaga Listrik*. Medan : Universitas Sumatera Utara.