

ANALISIS KESTABILAN TEGANGAN DENGAN MENGGUNAKAN *STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM)*

Zulfatri Aini

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska Riau
email: Zulfatri_aini@yahoo.com

ABSTRAK

Pengoperasian jaringan transmisi daya listrik saat ini dituntut untuk bekerja secara cepat, akurat dan handal, agar kebutuhan permintaan beban terpenuhi. Salah satu usaha untuk memenuhi tuntutan tersebut, dengan menjaga kestabilan tegangan pada jaringan. Untuk itu perlu suatu teknologi baru yang bersifat fleksibel dan sensitifitas tinggi yaitu, *FACTS (Flexible AC Transmission System)*, dimana *FACTS* ini memiliki beberapa jenis dengan fungsi yang berbeda-beda sesuai fungsinya. Pada penelitian ini, jenis yang digunakan adalah *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*

Static Synchronous Compensator (STATCOM), merupakan peralatan penyedia daya reaktif yang dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif sehingga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi listrik terjaga. *STATCOM* dapat mengatur arus induktif atau pun kapasitif pada sistem jaringan arus bolak balik. Pada penelitian ini, studi aliran daya dengan metode *Newton-Raphson*, yang dieksekusi dengan perangkat lunak *Matlab*.

Penelitian ini memperoleh hasil penurunan rugi-rugi total daya aktif pada jaringan transmisi sebesar 1% persen, dengan Profil tegangan semua bus berada dalam batasan yang telah ditetapkan (stabil).

Kata Kunci :

Kestabilan Tegangan, *Static Synchronous Compensator*, MATLAB

ABSTRACT

The operation of electric power transmission network currently is required to work fast, accurate and reliable, in order to fulfill the load demand. One effort to meet these demands, by reminding the stability of voltage on the network. For that we need a new technology that is flexible and high sensitivity, namely, *FACTS (Flexible AC Transmission System)*, which has some kind *FACTS* with different functions according to its function. In this study, the type used is *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*

Static Synchronous Compensator (STATCOM), is a tools provide the reactive power to reduce the losses of active power, so that the stability of the voltage in electricity transmission networks will be maintained. *STATCOM* can regulate the flow of inductive or capacitive on network system of the alternating current. In this research, the study of the flow of power by using *Newton-Raphson* method, which is executed with *Matlab* software.

The result of reducing in total losses of active power on the transmission network of a one percent (1%), the voltage of profile of all busses are established on the determined limit (stable).

Keyword : voltage stability, *Static Synchronous Compensator*, MATLAB

PENDAHULUAN

Aliran daya merupakan aliran daya listrik dari satu atau beberapa sumber ke beban, yang membutuhkan energi melalui berbagai bagian. Pada dasarnya diperlihatkan dengan diagram satu garis (*one line diagram*). Aliran daya listrik pada jaringan terbagi diantara cabang, masing-masing impedans sampai dengan keseimbangan tegangan dapat dijelaskan dengan Hukum *Kirchoff*. Aliran daya akan berubah setiap waktu, sehingga konfigurasi rangkaian dan pembangkitan berubah

karena perubahan kebutuhan beban. Informasi tentang perubahan tersebut sangat penting bagi Industri dan pengguna peralatan listrik untuk menjamin efisiensi operasional, meminimisasi kerugian, pemeliharaan kehandalan, koordinasi rele proteksi dalam kondisi darurat.

Kerugian (*losses*) pada jaringan listrik merupakan aliran daya aktif dan reaktif untuk semua peralatan yang dihubungkan pada bus dapat dihitung dengan simulasi aliran daya. Jumlah dan minimisasi kerugian sangat penting

karena akan menentukan operasi yang ekonomis dari sistem tenaga. Jika diketahui jumlah kerugian yang terjadi, dapat diambil langkah untuk meminimisasi kerugian tersebut. Kerugian daya aktif jaringan dapat dinyatakan sebagai jumlah kerugian semua cabang atau jumlah daya aktif semua titik simpul jaringan. Kerugian daya aktif dapat ditentukan dengan berbagai metode.

Metode untuk menjaga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi yang akan diteliti adalah penerapan *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*,

STATCOM didalamnya merupakan kombinasi kontrol yang didasarkan pada pengaturan thyristor untuk mengatur aliran daya reaktif, tegangan transmisi dan sudut fase melalui aksi pengontrolan yang cepat.

Hal ini merupakan faktor dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik menyongsong proses restrukturisasi ketenagalistrikan di Indonesia, namun algoritma penyelesaiannya harus mempunyai sifat-sifat : cepat, akurat dan handal.

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut:

1. Bagaimana menjaga kestabilan tegangan jaringan dengan *STATCOM*
2. Bagaimana hasil kondisi tegangan pada jaringan dibandingkan terhadap sebelum pemasangan *STATCOM*.

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :Menganalisis pengaruh *STATCOM* untuk dalam menjaga kestabilan tegangan.

Tinjauan Pustaka

Studi Literatur

Program analisis aliran daya dengan MATLAB yang telah dikembangkan dengan menggunakan modifikasi algoritma *Newton-Raphson* pada matriks admitans *Y-bus* dapat menentukan level tegangan pada masing-masing bus dan kerugian, dengan *tap-changer* disertakan dan ditetapkan pada program.

Beberapa studi kasus dilakukan dengan perbedaan nilai kapasitans dan *tap-setting* transformator yang dihubungkan untuk menentukan kerugian minimum sesuai dengan level tegangannya (Lukman, 2002).

Variabel pengatur yang dapat mengatur daya reaktif dalam sistem adalah arus penguat

generator, kapasitor dan reaktor, serta posisi tap transformator (Marsudi, 1990).

Penelitian yang dilakukan ini menggunakan referensi di atas yang diperkuat oleh pemodelan jaringan nyata dari sistem kelistrikan yang ada di lapangan, dalam hal ini ditinjau studi kasus yang terjadi pada sistem kelistrikan Sumbar-Riau. Penelitian ini mensimulasi sistem kelistrikan yang ada dengan program simulasi *PSAT (Power System Analysis Toolbox for Matlab)*, serta melihat seberapa jauh pengaruh *STATCOM* terhadap kestabilan tegangan.

Tinjauan Pustaka

Program analisis aliran daya dengan MATLAB yang telah dikembangkan dengan menggunakan modifikasi algoritma *Newton-Raphson* pada matriks admitans *Y-bus* dapat menentukan level tegangan pada sistem bus dan kerugian. Kerugian dihitung menggunakan *B-Losses* Koefisien dan pembuktiannya dengan persamaan tradisional IR^2 atau metode lain. Pengontrolan tegangan menggunakan *Switching Capacitor Bank* atau *Tap-Changer Transformator* sehingga dapat memperbaiki level tegangan yang dapat meminimisasi kerugian, pada percobaan kasus ini menggunakan sistem jaringan *5-bus*. Model dari kapasitor bank dan *tap-changer* disertakan dan ditetapkan pada program.

Beberapa studi kasus dilakukan dengan perbedaan nilai kapasitans dan *tap-setting* transformator yang dihubungkan untuk menentukan kerugian minimum sesuai dengan level tegangannya. (Lukman, et.al, 2002).

Membandingkan dua perbedaan teknik aliran daya optimal (*OPF*) antara tegangan aman (*voltage security*) terhadap kondisi tegangan jatuh (*voltage collapse*). Keduanya menggunakan teknik berbasis pada metodologi multiobjek optimal, sehingga biaya operasi dan kerugian dapat diminimisasi dengan memaksimalkan keadaan pada tegangan jatuh (*voltage collapse*). (Canizares, et.al, 2001).

Deregulasi pada system ketenagalistrikan dengan tekanan ekonomi adalah mengurangi biaya kelistrikan, diantaranya meminimisasi biaya pembangkitan energi listrik dengan kompetitif. Untuk mengakomodasi energi listrik adalah dengan jaringan transmisi tetapi akan timbul masalah yang memberatkan

adalah hubungan parallel dan aliran daya (*load flow*), karena tidak terprediksinya pembebanan jaringan (*thermal limit*), perubahan tegangan dan penurunan potensial pada stabilitas *transient*.

Untuk mengatasi permasalahan diatas bertitik tolak dari penyelesaiannya melalui pendekatan teknologi salah satu pendekatannya adalah *Flexible AC Transmission System (FACTS)*, handal dengan skala aplikasi yang luas berdasarkan elektronika daya dan pengendaliannya dengan komputer, kompensator dan pengendalian untuk memberikan biaya yang efektif penyelesaian masalahnya objektif utilisasi penuh pada jaringan transmisi (Gyugyi, 2002).

Konsep dasar STATCOM

Unsur utama dari Sistem Tenaga AC adalah generator, transmisi (subtransmisi), jaringan distribusi, dan beban (*load*) serta yang berhubungan dengannya peralatan pendukung dan peralatan proteksi. Generator merupakan mesin sinkron yang berputar, transmisi, subtransmisi dan jaringan transmisi pada dasarnya merupakan parameter distribusi, secara dominan adalah rangkaian reaktif yang dirancang untuk dioperasikan pada tegangan bolak-balik (*alternating voltage*) tinggi, menengah, dan rendah. Beban (*load*) kemungkinannya sinkron, non-sinkron dan pasif, umumnya mengkonsumsi daya nyata dan reaktif. Pada pembahasan ini adalah dasar-dasar transmisi ac yang ditetapkan dengan latar belakang teknik yang diperlukan untuk memahami permasalahan yang ditunjukkan pada sistem tenaga dan penyelesaiannya dengan dasar elektronika daya ditetapkan salah satunya adalah *STATCOM*, yang merupakan bagian dari jenis *Flexible AC Transmission System (FACTS)*.

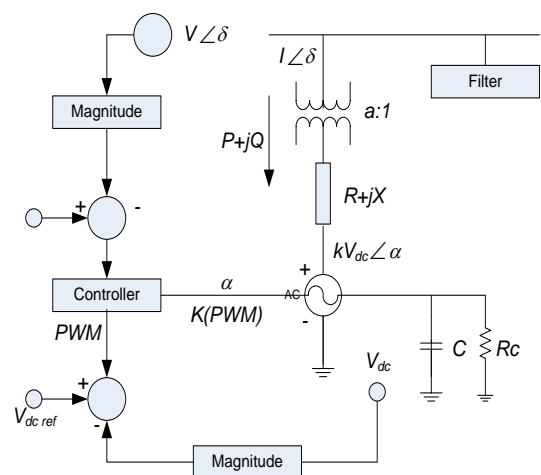
Sistem transmisi modern merupakan jaringan transmisi interkoneksi yang kompleks yang terdiri atas semua stasion pembangkitan dan semua beban pada sistem tenaga. Jaringan membawa atau mengirimkan daya yang sangat besar secara umum dapat mengalir ke berbagai arah pada sistem jaringan transmisi yang bervariasi sehingga memperoleh nilai ekonomis yang diinginkan dan hasilnya objektif.

Walaupun secara umum kenyataannya sistem tenaga mempunyai sifat yang kompleks, dasar hubungan dari sistem transmisi dapat diperoleh dengan sederhana yang disebut dengan model dua mesin (*two machine model*), yang terdiri atas generator pengirim dan generator

penerima yang dihubungkan dengan jaringan transmisi (dengan menganggap tagangan bus tidak terhingga). Pada umumnya model dari generator pengirim dan penerima dapat juga ditunjukkan dengan dua sistem ac yang tidak saling tergantung pada jaringan transmisi untuk mengimbangi beban.

Static Synchronous Compensator (STATCOM) merupakan pembangkit Volt Amp Reactive (VAR) statis, yang mana keluarannya divariasikan untuk menjaga atau mengatur tipe impedansi reaktif, menggunakan pengaturan thyristor, reaktor dan kapasitor switch, atau tipe sumber tegangan sinkron menggunakan konverter pen-switch daya. Meskipun prinsip operasi dari pembangkit var ini tidak sama serta karakteristik V-I, rugi-rugi terhadap keluaran var, kecepatan respon dan lebar pita frekuensi yang dapat dicapai sangat berbeda. Semuanya ini dapat menyediakan kemampuan pengaturan kompensasi paralel reaktif. Menunjukkan kemampuan fungsional secara keseluruhan yang sama dalam range operasi liniernya. Maksudnya adalah struktur pengaturan eksternal dasar yang mendefinisikan operasi fungsional dari kompensator, dan akhirnya memperoleh masukan referensi yang penting untuk pembangkit var.

Berikut rangkaian *STATCOM* yang dilengkapi dengan sistempengaturan.



Gambar 1. Sistem Pengaturan STATCOM

Objek primer dari pemakaian kompensator statik (bagian ini atau kompensator dengan waktu yang lebih pendek akan digunakan dalam fungsi umum untuk mengacu pada *STATCOM*) dalam sistem daya untuk menaikan

kemampuan transmisi daya dengan jaringan transmisi yang diberikan pada generator, dari generator ke beban. Saat kompensator tidak dapat membangkitkan atau menyerap daya aktif, transmisi daya dari sistem secara tidak langsung dipengaruhi oleh pengatur tegangan. Daya keluaran reaktif (kapasitif atau induktif) dari kompensator divariasikan untuk mengatur tegangan yang diberikan terminal dari jaringan transmisi, untuk menjaga aliran daya yang diinginkan dibawah gangguan sistem yang menungkinan.

Berikut persamaandaya injeksi pada bus AC adalah:

$$\dot{V}_{dc} = \frac{P}{CV_{dc}} - \frac{V_{dc}}{R_c C} - \frac{R(P^2 + Q^2)}{CV^2 V_{dc}} \quad 1$$

Daya injeksi pada bus AC dalam bentuk :

$$P = V^2 G - kV_{dc} VG \cos(\theta - \alpha) - kV_{dc} VB \sin(\theta - \alpha) \quad 2$$

$$Q = -V^2 B + kV_{dc} VB \cos(\theta - \alpha) - kV_{dc} VG \sin(\theta - \alpha)$$

Filter low pass dipertimbangkan untuk kedua pengukuran tegangan ac dan dc, dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \dot{V}_{Moc} &= (-V_{Moc} + K_{Mac} V) / T_{Mac} \\ \dot{V}_{Mdc} &= (-V_{Mdc} + K_{Mdc} V) / T_{Mdc} \end{aligned} \quad 3$$

Untuk pengaturan amplitude, sebagai pengganti batas pada α dicari dengan sendirinya,

$$P = V_{dc}^2 + RI^2$$

$$V_{dc} = V_{ref_{ac}}$$

$$V = V_{ref_{ac}}$$

$$P = V^2 G - \sqrt{3/8} V_{dc} VG \cos(\alpha) - \sqrt{3/8} V_{dc} VB \sin(\alpha)$$

maka dapat ditentukan,

$$\cos(\alpha) = \frac{bc}{a^2 + b^2} \pm \sqrt{\left(\frac{bc}{a^2 + b^2}\right)^2 - \frac{c^2 - a^2}{a^2 + b^2}} \quad 5$$

dengan,

$$a = -\sqrt{3/8} V_{ref_{dc}} V_{ref_{dc}} B$$

$$b = -\sqrt{3/8} V_{ref_{dc}} V_{ref_{dc}} G \quad 6$$

$$c = V_{ref_{dc}}^2 G - \frac{V_{ref_{dc}}^2}{Rc} - RI^2$$

STATKOM pada dasarnya adalah sebuah sumber tegangan bolak balik dibelakang reaktansi

coupling dengan karakteristik V-I dan V-Q. Dimana STATKOM dapat dipoperasikan melewati rang arus keluarannya meskiopun sangat rendah, khususnya tingkat tegangan $\pm 0,2$ pu. Dalam arti, bahwa arus keluaran induktif dan kapasitif maksimum STATKOM dapat dijaga secara terpisah dari system tegangan AC, dan pembangkitan atau penyerapan VAR maksimum berubah secara linier terhadap tegangan AC.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan atau materi dalam penelitian ini adalah,

- 1 Buku teks sebagai acuan yang ada kaitannya dengan permasalahan dalam penelitian ini yang menyangkut tentang penerapan *STATCOM (FACTS)* pada Sistem Tenaga Listrik.
- 2 Makalah dan jurnal yang ada kaitannya dengan penurunan persamaan linear sistem tenaga listrik dengan penerapan *STATCOM (FACTS)*
- 3 Data sistem tenaga listrik dan *STATCOM (FACTS)* sebagai objek yang terdiri atas data generator, jaringan transmisi, perubahan beban.

Data Penelitian

Data yang diambil adalah data PLN (Persero) Sumbar-Riau, yang terdiri dari data beban puncak, kapasitas generator dan data jaringan.

Jalan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk menyelidiki seberapa jauh kestabilan tegangan tetap terjagadengan adanya pemasangan *STATCOM* pada jaringan transmisi. Tahapan pelaksanaannya adalah:

- 1 Perhitungan parameter sistem tenaga listrik sebelum pemasangan *STATCOM* pada jaringan transmisi.
- 2 Membandingkan kestabilan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *STATCOM* pada jaringan transmisi.

Variabel penelitian

Variabel penelitian yang diamati adalah :

- 1 Level tegangan pada jaringan transmisi
- 2 Perubahan rugi-rugi daya aktif dan reaktif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus utama penelitian ini adalah bagaimana tersedianya daya reaktif yang dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif sehingga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi listrik terjaga, metode yang digunakan adalah *Static Synchronous Compensator (STATCOM)* merupakan pembangkit Volt Amp Reactive (VAR) statis. Sehingga tegangan itu terpenuhi sesuai permintaan beban.

Pengolahan Data

Dari data aliran daya yang didapat dari hasil eksekusi dengan Matlab (*PSAT*), dengan kasus sistem jaringan dengan 14 bus dengan atau tanpa *STATCOM*, dapat dibuat suatu perbandingan dengan melihat salah satu tujuan yang hendak dicapai sebelum peralatan *STATCOM* ditempatkan pada sistem, adapun tujuan tersebut adalah menjaga kestabilan tegangan melalui penyediaan daya reaktif.

Kestabilan tegangan

Pada Tabel 1, dapat dilihat perbandingan kestabilan tegangan pada sistem dengan atau tanpa *STATCOM* dilihat dari keseluruhan sebagai berikut :

Tabel 1. Kestabilan tegangan

BUS	Tanpa V(p.u)	STATCOM V(p.u)
01	1.0500	1.0600
02	1.0350	1.0450
03	1.0400	1.0400
04	0.9800*	1.0370
05	0.9580*	1.0510
06	1.0700	1.0700
07	1.0354	1.0611
08	1.0900	1.0900
09	1.0198	1.0440
10	1.0210	1.0416
11	1.0410	1.0521
12	1.0520	1.0542
13	1.0450	1.0487
14	1.0124	1.0282

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa peralatan *STATCOM* memperbaiki drop tegangan pada bus 5 dan memperbaiki tegangan pada bus-bus sekitarnya, karena rangkaian *STATCOM* mempunyai prinsip kerja yaitu sebagai kompensasi daya reaktif.

Perbandingan rugi-rugi daya aktif

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa semua peralatan *STATCOM* dapat memperbaiki aliran daya pada sistem yaitu dengan mengurangi daya aktif yang hilang pada sistem secara keseluruhan. Dengan mengatur besarnya daya yang mengalir pada saluran, sehingga daya yang hilang karena melebihi kapasitas saluran dapat dikurangi.

Tabel 2 Perbandingan rugi-rugi daya Aktif

Rugi-rugi Daya Aktif	Tanpa STATCOM	STATCOM
	0,83	0,72

Perbandingan rugi-rugi daya reaktif

Tabel 3. dapat dilihat bahwa peralatan *STATCOM* dapat memperbaiki aliran daya pada sistem secara keseluruhan yaitu dengan mengurangi daya reaktif yang hilang pada sistem secara keseluruhan. Dengan mengatur impedansi jaringan, tegangan dan arus reaktif yang mengalir pada jaringan maka meminimalkan daya reaktif yang hilang dengan maksud tegangan terjaga.

Tabel 3 Perbandingan rugi-rugi daya reaktif

Rugi-rugi Daya Aktif	Tanpa STATCOM	STATCOM
	0.83	0.70

KESIMPULAN

1. Peralatan *STATCOM* dapat memperbaiki drop tegangan dan aliran daya dengan mengatur arus reaktif yang mengalir pada sistem.
2. Terjadinya penurunan rugi-rugi daya aktif sebesar 1% setelah pemasangan *STATCOM*.

DAFTAR KEPUSTAKA

- [1] Coneio, A. J., Arroyo, J. M., Alguacil, N. and Guijarro, A.L., 2002, *Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms*. IEEE Transactions on Power System. Vol. 17, No. 3, August 2002.

- [2] Fransisco, D.G., Antonio, J.C. and Kockar, I., 2000, *Incremental Transmission Loss Allocation Under Pool Dispatch*. IEEE Transaction on Power System. Vol. 17, No. 1, February 2000.
- [3] Canizares, C., Rosehart, W., Berizzi, A. And Bovo, C., *Comparison of voltage Security Constrained Optimal Power Flow Techniques*. IEEE Transaction on Power System, July 2001.
- [4] Gyugyi, L., 2001, *Power Transmission Control : Basic Theory, Problem and Needs FACTS Solution*. IEE Power and Energy Series.
- [5] Khodr, H.M., Gomez, J.F., Barniqui, L., Vivas, J.H., Paipa, P., Yusta, J.M. and Urdanet, A.J., 2002, *A Linear Programming Methodology for the Optimization of Electric Power Generation Schemes*. IEEE Transaction on Power System. Vol.17, No. 3, August 2002.
- [6] Lukman, D., Busono, S. and Trevor, R.B., 2002, *Loss Minimization In the Modified Algorithm of Load Flow Analysis in Power System*. Proceeding Seminar Sistem Tenaga Elektrik III. ITS. October 8th 2002. pp. 20 - 26.
- [7] Djiteng Marsudi, Ir, 1990, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit & Humas ISTN.