

Analisis Implementasi *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) pada Saluran Transmisi 150 kV

Muammar Zainuddin¹, Frengki Eka Putra Surusa²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo
Jl. Raden Saleh No. 17 Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo
Email: ¹muammarzainuddin@gmail.com, ²kiki.alaska@gmail.com

(Received: 10 April 2015; Revised: 25 Juni 2015; Accepted: 27 Juni 2015)

ABSTRAK

Perkembangan beban listrik perumahan dan industri menjadi penyebab tingginya gangguan hubung singkat. Sebuah solusi dengan melakukan kendali daya aktif dan reaktif melalui peralatan elektronika daya *Static Synchronous Compensator* (STATCOM). Sistem yang diuji adalah saluran transmisi 150 kV sistem Gorontalo. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* untuk mengetahui profil aliran daya aktif (P), reaktif (Q), sudut fasa dan profil tegangan V . Saluran yang memiliki *losses* daya aktif, reaktif, dan *drop* tegangan tinggi disertai beban yang cukup tinggi menjadi rujukan pemasangan peralatan STATCOM. Respon sistem pada saat gangguan hubung singkat menunjukkan tingkat stabilitas tegangan. Hasil analisis implementasi STATCOM menunjukkan respon sistem dapat menaikkan level tegangan sistem dari *drop* 8% menjadi *drop* 1% dari tegangan nominalnya. Penurunan rugi-rugi daya aktif sebesar 3,05% menjadi 2,86% dan daya reaktif sebesar 57,43% menjadi 53,90%. Respon stabilitas tegangan akibat gangguan hubung singkat 3 fasa menunjukkan waktu pemulihan gangguan lebih cepat setelah implementasi STATCOM. Osilasi tegangan terjadi lebih pendek jika dibandingkan pada sistem sebelum adanya STATCOM. Hasil analisis saluran transmisi 150 kV setelah implementasi STATCOM menunjukkan STATCOM dapat mengkompensasi arus pembentukan daya reaktif pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada saluran.

Kata Kunci: STATCOM, saluran transmisi, stabilitas tegangan

ABSTRACT

The short circuit problem is highly caused by two main problems which are rapid development of residential and industrial load. These problems can be solved by controlling the active and reactive load through an electronic device namely static synchronous compensator (STATCOM). This research used Newton-Rapson Method to analyze the load flow of transmission line of Gorontalo Province. The utilization of Newton-Rapson method is to determine the profile of active power, reactive power flow, voltage and also to determine the phase angle. The implementation of STATCOM showed that there is decreasing of system response from 8% to 1% of nominal voltage. The active and reactive power losses were also drop from 3.05% to 2.86 % and 57.43% to 53.9% respectively. The response of voltage stability showed faster clearing time due to short circuit at 3 phase. However voltage oscillations occurred shorter without implement STATCOM. The implementation of STATCOM at 150 KV transmission line of gorontalo Province showed by using STATCOM, the formation of reactive power flow in the fault event at the transmission line can be compensate.

Keywords: STATCOM, transmission line, voltage stability

Corresponding Author:

Muammar Zainuddin,
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo,
Universitas Andalas,
Email: muammarzainuddin@gmail.com

Pendahuluan

Sistem transmisi merupakan bagian sistem tenaga listrik dinamis yang parameter dan keadaannya berubah secara terus menerus terhadap waktu operasionalnya. Sistem transmisi pada umumnya merupakan saluran

udara terbuka yang membawa daya aktif dan reaktif yang sangat besar untuk disalurkan ke sistem distribusi atau beban. Saluran transmisi merupakan saluran terpanjang dengan penghantar terbuka hingga puluhan kilometer yang berpotensi besar terjadinya gangguan hubung singkat dan fluktuasi daya aktif-reaktif sangat besar. Daya

aktif (P) adalah daya yang harus dibangkitkan di sisi pembangkit kemudian disalurkan ke saluran transmisi. Daya reaktif (Q) merupakan jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet akibat dari penggunaan peralatan motor-motor induksi. Kejadian fluktuasi aliran daya reaktif terbesar pada sistem tenaga listrik berada pada saluran transmisi.

Fluktuasi daya reaktif selama ini diantisipasi hanya dengan menambahkan peralatan Kapasitor yang bisa menghasilkan daya reaktif yang diperlukan oleh bus beban. Akan tetapi kapasitor mempunyai impedansi atau hambatan yang rendah pada frekuensi yang tinggi, karena arus listrik cenderung mengalir melalui lintasan yang hambatannya rendah maka arus harmonisa cenderung mengalir melalui kapasitor. Akibatnya, kapasitor mudah rusak karena mengalami arus lebih akibat adanya harmonisa. Daya reaktif (Q) yang tidak sesuai keinginan pada sistem berdampak pada penurunan kinerja sistem transmisi. Hal ini akan mempengaruhi jumlah daya nyata (S) yang akan digunakan beban dan ikut menentukan besarnya faktor daya yang bekerja pada sistem[1]. Perlunya mengantisipasi kejadian tersebut maka dibutuhkan peralatan kendali kompensator daya reaktif yang memiliki keandalan yang tinggi. Salah satu peralatan kompensator untuk saluran transmisi. FACTS Devices) yaitu *Static Synchronous Compensator* (STATCOM).

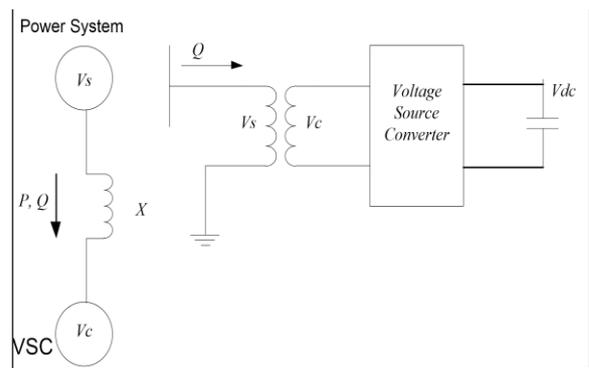
Model saluran transmisi di Provinsi Gorontalo sangat panjang hingga puluhan kilometer karena lintas kabupaten dan kota kemudian ditambah dengan masalah perkembangan beban perumahan dan industri semakin meningkat. Hal ini menyebabkan potensi gangguan hubung singkat dan fluktuasi daya reaktif sangat besar. Oleh karena permasalahan tersebut maka dirumuskanlah sebuah solusi dengan cara melakukan simulasi pemasangan/menginstall *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) pada saluran transmisi 150 kV sistem Gorontalo.

Konsep simulasi ini dilakukan dengan tahapan melakukan analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui profil aliran daya aktif (P), reaktif (Q), sudut fasa dan profil tegangan. Setelah diketahui lokasi saluran yang memiliki *losses* daya aktif, reaktif, dan *drop* tegangan tinggi disertai beban yang cukup tinggi maka selanjutnya dilakukan simulasi pemasangan STATCOM untuk menganalisis respon sistem pada saat terjadinya gangguan hubung singkat. Tujuan penelitian ini diharapkan menghasilkan aliran daya dan tegangan yang stabil pada saat unjuk kerja menghadapi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi.

Static Synchronous Compensator (STATCOM)

STATCOM dikategorikan sebagai teknologi baru dalam bidang kompensator daya reaktif. STATCOM mampu menghasilkan nilai harmonik yang kecil dan nilai tegangan AC yang terkendali sebagai *outputnya*. Nilai-nilai tersebut dapat mempengaruhi nilai-nilai daya reaktif. Selain itu STATCOM juga mampu berfungsi untuk mengkompensasi beberapa masalah lain seperti flicker, impedansi hantaran pada sistem transmisi, dan perbedaan sudut fasa.

Kendali daya reaktif oleh STATCOM terjadi dengan cara membandingkan besarnya nilai tegangan terminal antara STATCOM dengan sistem. Apabila tegangan STATCOM bernilai lebih rendah maka STATCOM akan menyerap daya reaktif pada sistem. Apabila bernilai lebih tinggi dari sistem maka akan menghasilkan daya reaktif ke sistem[2]. Prinsip kerja dari STATCOM ditunjukkan pada gambar 1 dan dijelaskan pada persamaan (1), (2), dan (3) yang menunjukkan pengiriman daya aktif dan reaktif antara V_s Grid dan V_c STATCOM.



Gambar 1. Prinsip kerja pada sistem STATCOM[2]

$$P = \frac{V_s V_c \sin \delta}{X_L} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = \frac{V_s (V_s - V_c \sin \delta)}{X_L} \dots\dots\dots (2)$$

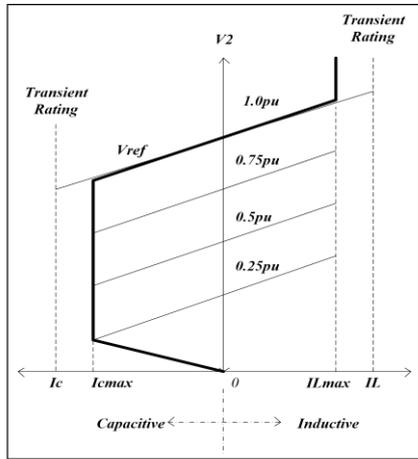
$$S = 3 \frac{V_s V_c}{X_L} \sin \delta - j3 \left(\frac{V_s V_c}{X_L} \cos \delta - \frac{V_s^2}{X_L} \right) = P - jQ \dots\dots\dots (3)$$

- S = Daya kompleks (VA),
- V_c = Tegangan terminal Statcom,
- V_s = Tegangan dari Grid/Sistem,
- P = Daya aktif (W),
- X_L = Reaktansi (kabel) = ωL ,
- Q = Daya reaktif (Var),
- α = Beda fasa antara V_s dan V_c .

Dari persamaan diatas dijelaskan bahwa variasi akan mempengaruhi aliran daya aktif antara sistem dengan STATCOM. Besarnya nilai *lagging*, maka daya aktif akan mengalir dari STATCOM ke *grid*. Saat nilai *leading* maka daya aktif akan terserap ke STATCOM. Pada kondisi grid memiliki fasa yang sama dengan STATCOM, maka daya aktif akan bernilai nol ($P = 0$). Nilai = 0, didapatkan saat sistem dalam kondisi *steady state*.

Karakteristik VI pada STATCOM

Mode operasi STATCOM berdasarkan tiga kondisi yaitu mode operasi kapasitif, induktif, dan tanpa beban[3]. Karakteristik tegangan-arus untuk berbagai pengaturan tegangan dengan kemiringan konstan ditunjukkan pada Gambar 2. Pada kondisi penurunan tegangan, STATCOM dapat terus dioperasikan pada arus *leading* (atau *lagging*), dengan transien marjin kelebihan arus konstan.



Gambar 2. Karakteristik arus/tegangan pada STATCOM[3]

Metode Penelitian

Analisis aliran daya digunakan untuk menghitung besarnya tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu saluran tenaga listrik pada keadaan operasi normal.. Analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Metode ini lebih efisien dan praktis untuk digunakan pada sistem tenaga yang besar. Jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk memperoleh pemecahan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar[4].

Dalam studi aliran daya, bus-bus dikelompokkan dalam tiga klasifikasi yaitu; 1. *Slack Bus* atau *Swing Bus*, 2. Bus Generator (Bus PV), 3. Bus Beban (PQ). Setiap bus terdapat empat besaran yaitu P, Q, V dan δ (sudut fasa). Dalam studi aliran daya setiap bus memiliki dua besaran yang telah ditentukan kemudian dua besaran lainnya akan dihitung. Apabila harga V dan δ ditentukan maka langkah selanjutnya iterasi awal untuk mencari nilai PV dan PQ[5].

1) Persamaan daya aktif pada bus i, yaitu:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \dots\dots\dots (4)$$

2) Persamaan daya reaktif pada bus i, yaitu:

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \dots\dots\dots (5)$$

3) Apabila $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ belum mencapai nilai konvergensi pada iterasi awal maka dilanjutkan dengan membentuk elemen-elemen matriks *Jacobian*.

4) Hitung nilai baru dari sudut fasa $\delta^{(k+1)}$ dan tegangan $|V^{(k+1)}|$.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \dots\dots\dots (6)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \dots\dots\dots (7)$$

5) Apabila telah mendapatkan nilai baru sudut fasa dan tegangan maka kembali ke proses iterasi selanjutnya.

6) Proses iterasi akan berhenti jika nilai konvergen (ϵ) sudah terpenuhi:

Daya yang mengalir dari bus i ke bus j diperoleh dengan persamaan:

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots (8)$$

Sebaliknya, arus yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan :

$$I_{ji} = (V_j - V_i)Y_{ij} + V_j \frac{Y_{ji}^*}{2} \dots\dots\dots (9)$$

Sebaliknya juga, daya yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan :

$$S_{ji} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots (10)$$

sehingga persamaan rugi-rugi daya pada saluran i-j dituliskan:

$$SL_{ij} = S_{ij} + S_{ji} \dots\dots\dots (11)$$

dimana:

$|V_i^{(k+1)}|$ = Nilai magnitude tegangan baru.

$|V_i^{(k)}|$ = Nilai magnitude tegangan lama,

$\Delta |V_i^{(k)}|$ = Nilai koreksi tegangan,

$\Delta \delta_i^{(k+1)}$ = Sudut fasa tegangan baru,

$\delta_i^{(k)}$ = Sudut fasa tegangan lama

$\Delta Q_i^{(k)}$ = Nilai koreksi sudut fasa,

Prosedur penyelesaian Proses iterasi akan berhenti jika nilai konvergen (ϵ) sudah terpenuhi.

Gambar 4 ditunjukkan *flowchart* metodologi penelitian. Ada beberapa tahapan dalam penelitian ini yaitu;

1. Analisis aliran daya pada jaringan kondisi normal sebelum impementasi STATCOM.
2. Penentuan lokasi terpasang STATCOM pada gardu induk. Syarat lokasi yaitu bus yang mengalami *drop* tegangan tertinggi pada sistem 150 kV.
3. Penentuan daya kVar terpasang STATCOM dengan menghitung batasan daya reaktif kapasitif dan induktif. Pada tahapan ini parameter STATCOM ditentukan oleh batasan arus kapasitif maksimum dan minimum.
4. Analisis stabilitas tegangan kondisi dinamis. Pada tahap ini jaringan diuji dengan gangguan hubung singkat tiga phasa pada saluran transmisi 150 kV. Gangguan terjadi selama 60 millidetik atau selama 3 *cycles*.
5. Perbandingan hasil uji sebelum dan setelah implementasi STATCOM dilakukan untuk melihat hasil terbaik. Beberapa parameter yang digunakan yaitu profil tegangan, *losses* daya, dan stabilitas tegangan dalam kondisi dinamis. Tahap ini digunakan standar operasi jaringan sistem tenaga listrik 150 kV[6].

Parameter STATCOM

Penentuan parameter nilai kVar pada STATCOM ditentukan dengan rumus[1];

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{S_{sc}} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana ΔQ = kVar STATCOM; S_{sc} = kVA hubung singkat; ΔV = fluktuasi tegangan. Batasan daya reaktif kapasitif menggunakan maksimal 5% dan batasan daya reaktif induktif minimum 2%.

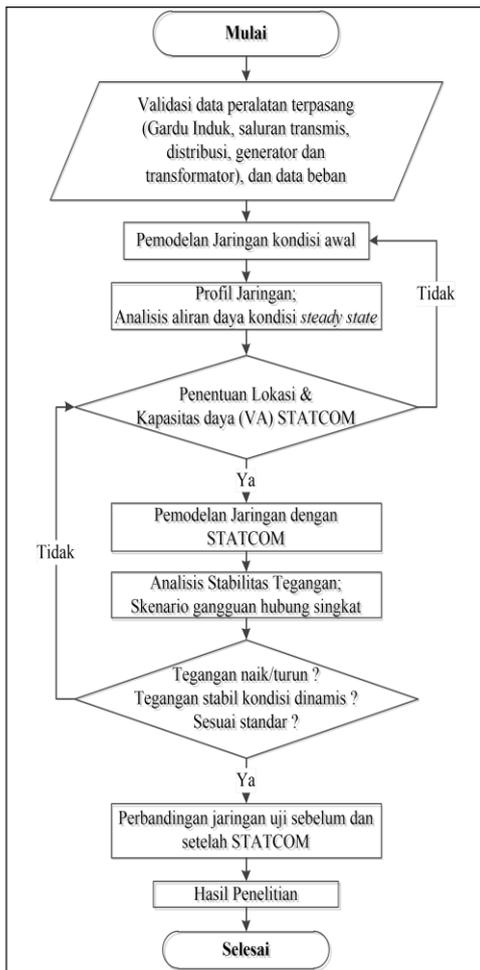
Hasil dan Pembahasan

Sistem tenaga listrik Gorontalo 150 kV dipasok dari beberapa pusat pembangkit yang tersebar di Provinsi Gorontalo, yang didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Tabel 1 ditunjukkan hasil analisis aliran daya kondisi awal jaringan.

Tabel 1. Aliran daya sistem kondisi awal

Bus	V p.u	(^o) deg	Pg MW	Qg MVar	Pb MW	Qb MW
Botup150 kV	0.931	9.24	0	0	19.86	6.525
Burok150 kV	0.935	8.50	0	0	1.254	0.412
Buroko20kV	0.999	8.92	0	0	0	0
Bus 0.38 kV	1	0.00	-22.6	15.896	0	0
Bus 0.4 kV	1	0.00	2.4	-0.627	0	0
Bus 0.4 kV	1	19.97	16	6.3476	0	0
Bus 0.4 kV	1	28.71	22.4	7.5556	0	0
Bus 0.4 kV	1	8.91	1	6.4779	0	0
Bus 10.5kV	1	19.97	12.12	5.418	0	0
Bus 6 kV	1	28.71	1	0.3373	0	0
Bus 6.3 kV	1	0.00	5	-1.306	0	0
Bus 6.3 kV	1	28.71	23.92	8.1353	0	0
Bus 8.3 kV	1	0.00	2.1	-0.477	0	0
Isimu 150 kV	0.930	8.59	0	0	13.43	4.422
Isimu20kV	1.000	19.97	0	0	0	0
Marisa150kV	0.919	5.75	0	0	26.82	8.973
Marisa20KV	1	0.00	0	0	0	0
Telaga20kV	0.999	28.70	0	0	0	0
Total Pembangkitan				63.31 + j 47.75 MVA		
Total Pembebanan				61.38 + j 20.32 MVA		
Total Rugi-rugi daya				1.93 + j 27.42 MVA		
% Rugi-rugi daya				P=3.05%; Q=57.43%		

Hasil analisis aliran daya sistem Gorontalo dalam kondisi awal beban maksimum 100% menunjukkan total rugi-rugi daya aktif sistem sebesar P = 1,93 MW (3,05%) dan daya reaktif sistem sebesar Q = 27,42 MVar (57,43%). Terdapat bus 150 kV mengalami penurunan tegangan tertinggi yaitu 0.91 p.u pada bus Marisa atau turun sebesar 8% dari tegangan nominalnya.



Gambar 4. Flowchart metodologi penelitian

Pemodelan Sistem dengan STATCOM

Pada perencanaan implementasi STATCOM pada jaringan transmisi 150 kV sistem Gorontalo, diperlukan penyesuaian lokasi STATCOM tersebut pada bus yang mengalami penurunan tegangan tertinggi pada sistem. Dari hasil analisis aliran daya pada sistem awal menunjukkan rugi-rugi daya terbesar terdapat pada bus Marisa 150 kV. Oleh karena itu, rujukan penempatan peralatan STATCOM yaitu pada bus Marisa. Parameter

STATCOM ditentukan berdasarkan hasil perhitungan persamaan (12) yaitu;

$$S_{sc} = 232,12 \text{ MVA}; \Delta Q = 232,12 \text{ MVar};$$

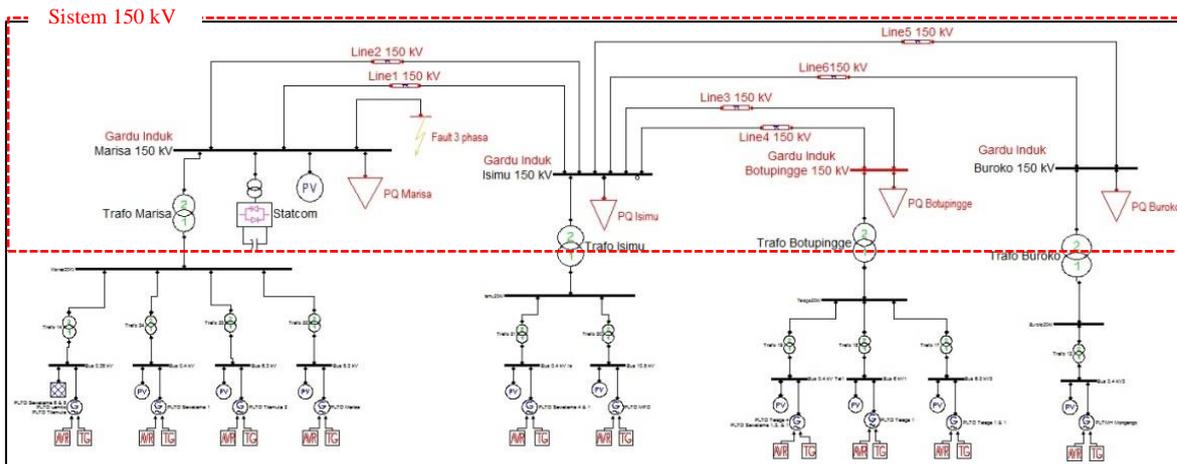
Batasan daya reaktif kapasitif $\Delta V = 5\%$

$$\Delta Q = 11,60 \text{ MVar};$$

Batasan daya reaktif induktif $\Delta V = 2\%$

$$\Delta Q = 2,321 \text{ MVar};$$

Gambar 5 ditampilkan pemodelan sistem uji dengan STATCOM.



Gambar 6. Pemodelan sistem dengan STATCOM

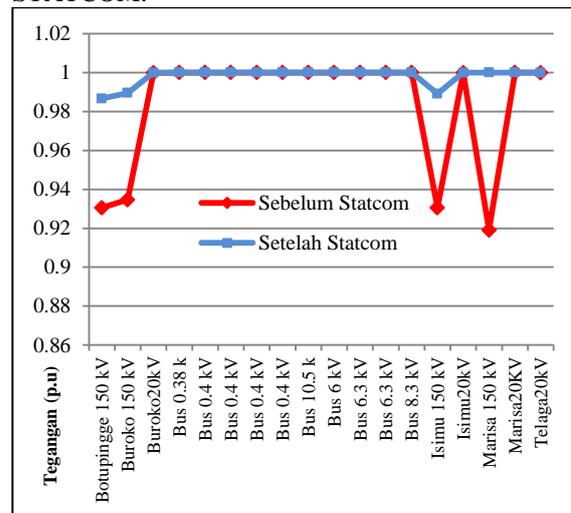
Pemodelan jaringan uji sistem Gorontalo menggunakan saluran transmisi 150 kV. Oleh karena itu beban (PQ) dihitung pada sisi 150 kV. Sistem yang diuji sebelum adanya penambahan pembangkit baru yaitu PLTU Anggrek. Analisis stabilitas dilakukan dengan memberikan skenario gangguan hubung (*fault*) singkat 3 fase pada bus lokasi pemasangan STATCOM.

Tabel 2 menunjukkan hasil aliran daya sistem setelah aplikasi STATCOM pada jaringan 150 kV.

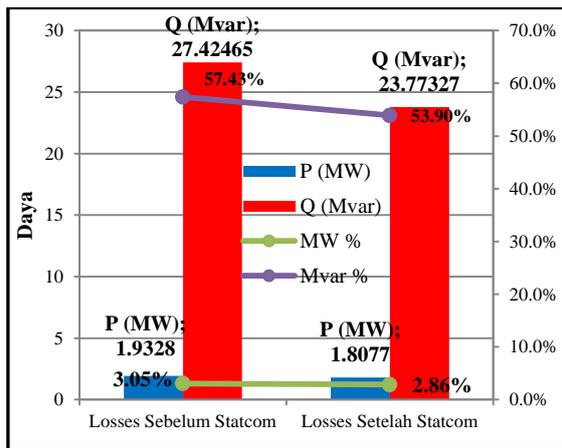
Tabel 2. Aliran daya sistem setelah STATCOM

Bus	V p.u	(°) deg	Pg MW	Qg MVar	Pb MW	Qb MW
Botup150 kV	0.98663	8.527	0	0	19.86	6.525
Burok150 kV	0.98952	7.886	0	0	1.254	0.412
Buroko20kV	0.99998	8.436	0	0	0	0
Bus 0.38 kV	1	0	-22.7	7.821	0	0
Bus 0.4 kV	1	0.002	2.4	-1.644	0	0
Bus 0.4 kV	1	18.77	16	1.416	0	0
Bus 0.4 kV	1	27.02	22.4	3.4242	0	0
Bus 0.4 kV	1	8.437	1	1.0003	0	0
Bus 10.5kV	1	18.77	12.12	1.4728	0	0
Bus 6 kV	1	27.02	1	0.1528	0	0
Bus 6.3 kV	1	0.002	5	-3.425	0	0
Bus 6.3 kV	1	27.02	23.92	3.7088	0	0
Bus 8.3 kV	1	0.002	2.1	-1.494	0	0
Isimu 150 kV	0.98911	7.904	0	0	13.43	4.422
Isimu20kV	0.99999	18.77	0	0	0	0
Marisa150kV	1	5.094	0	31.673	26.82	8.973
Marisa20kV	1	0.001	0	0	0	0
Telaga20kV	0.99999	27.02	0	0	0	0
Total Pembangkitan				63.18 + j 44.10	MVA	
Total Pembebanan				61.38 + j 20.32	MVA	
Total Rugi-rugi daya				1.80 + j 23.77	MVA	
% Rugi-rugi daya				P = 2.86% ; Q = 53.9%		

Dari tabel 2 hasil analisis aliran daya sistem Gorontalo dengan STATCOM dalam kondisi beban maksimum 100% menunjukkan total rugi-rugi daya aktif sistem sebesar $P = 1,80 \text{ MW}$ dan daya reaktif sistem sebesar $Q = 23,77 \text{ MVar}$. Sistem mengalami kenaikan tegangan pada bus 150 kV Botupingge, Buroko, Isimu dan Marisa yaitu mendekati nilai 1.0 p.u atau mengalami penurunan tegangan sebesar 1% dari tegangan nominalnya. Gambar 7 dan 8 ditunjukkan grafik perbandingan tegangan bus dan losses daya sebelum dan setelah implementasi STATCOM.



Gambar 7. Grafik perbandingan tegangan sebelum dan setelah STATCOM

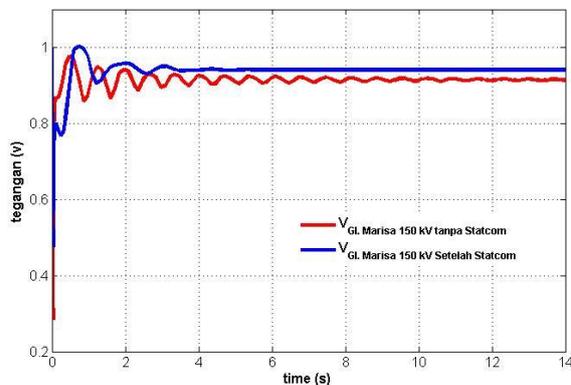


Gambar 7. Grafik perbandingan *losses* daya sebelum dan setelah STATCOM

Dari gambar 7 dan 8 diatas menunjukkan kondisi sistem lebih stabil setelah implementasi STATCOM pada jaringan. Nilai *losses* daya aktif pada system sebesar $P = 2,86\%$ dan *losses* daya reaktif sebesar $Q = 53,90\%$

Analisis Stabilitas Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat

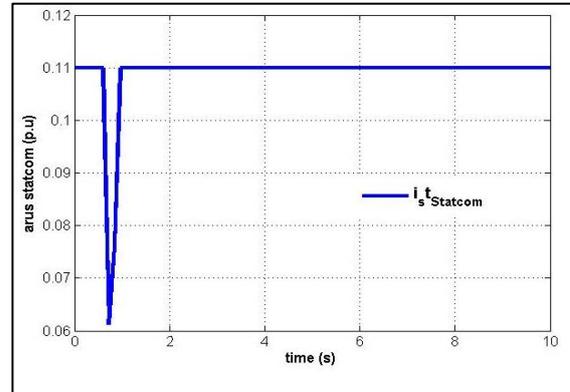
Stabilitas tegangan yang dibahas dalam penelitian ini yaitu stabilitas tegangan sistem pada bus 150 kV pada saat terjadi gangguan. Skenario bus hubung singkat pada bus Marisa. Gambar 8 ditunjukkan grafik kondisi tegangan bus GI saat terjadi gangguan dengan waktu pemulihan gangguan selama 0.112 detik.



Gambar 8. Grafik perbandingan stabilitas tegangan sebelum dan setelah STATCOM

Kondisi tegangan pada bus saat terjadi gangguan hubung singkat mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada lokasi gangguan. Pada saat gangguan dihilangkan tegangan berangsur naik kembali pada kondisi normalnya selama beberapa detik yang disertai osilasi tegangan. Apabila dibandingkan kondisi sistem sebelum dan setelah implementasi STATCOM dapat dilihat osilasi tegangan yang cukup lama terjadi pada bus sebelum implementasi STATCOM. Waktu pemulihan cukup

lama jika dibandingkan setelah implementasi STATCOM. Gambar 8 ditampilkan kondisi kompensasi arus STATCOM pada saat terjadi gangguan hubung singkat tersebut.



Gambar 9. Kondisi arus STATCOM pada saat terjadi gangguan hubung singkat

Gambar 9 kondisi kompensasi arus STATCOM pada saat terjadi gangguan hubung singkat menunjukkan kondisi arus mengalami penurunan minimum mencapai 0.062 p.u selama gangguan terjadi. Selama t detik gangguan terjadi kompensator bekerja mengkompensasi arus pembentukan daya reaktif ke jaringan sehingga sistem kembali berangsur normal pada saat t detik.

Kesimpulan

Dari hasil pemodelan sistem dan hasil analisis implementasi STATCOM pada sistem 150 kV Gorontalo menunjukkan Sistem Gorontalo dalam kondisi awal dengan beban maksimum 100% menunjukkan total rugi-rugi daya aktif sistem sebesar $P = 1,93$ MW (3,05%) dan daya reaktif sistem sebesar $Q = 27,42$ MVar (57,43%). Terjadi penurunan tegangan mencapai nilai 0.91 p.u pada bus 150 kV Marisa. Sistem Gorontalo setelah implementasi STATCOM dalam kondisi beban maksimum 100% menunjukkan total rugi-rugi daya aktif sistem sebesar $P = 1.80$ MW (2,86%) dan daya reaktif sistem sebesar $Q = 34,54$ MVar (53,90%). Terjadi kenaikan tegangan mencapai nilai 0.98-1.0 p.u pada bus 150 kV setelah kompensasi STATCOM. Stabilitas tegangan sistem 150 kV Gorontalo saat terjadi gangguan, dimana STATCOM bekerja mengkompensasi arus pembentukan daya reaktif yang berdampak pada stabilitas tegangan yang lebih baik dan lebih cepat kembali normal.

Daftar Pustaka

- [1] S.S.Wibowo, H.Suyono, dan R.Nurhasanah., Analisis Implementasi Fixed Capacitor, SVC, STATCOM untuk Perbaikan Performansi Tegangan pada Sistem Petrochina., Jurnal *EECCIS* Vol. 1 No. 1 Juni 2013, pp. 147-152.

- [2] Zhang Wen-Hao; Lee Seung-Jae; and Myeon-Song C., Setting Considerations of Distance Relay for Transmission Line with STATCOM, *JEET, Journal of Electrical Engineering & Technology* Vol. 5, No. 4, 2010, pp. 522-529.
- [3] Arvind P. and Nitin S., Transient Stability Improvement by Using Shunt FACTS Devices (STATCOM) with Reference Voltage Compensation (RVC) Control Scheme, *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering, IJEECE*, Vol 2, No. 1, 2013, pp. 7-12.
- [4] C. Cekdin.. *Sistem Tenaga Listrik; Contoh soal dan penyelesaian menggunakan Matlab.*, Andi, Yogyakarta, 2010.
- [5] H. Saadat., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc. USA. 1999.
- [6] Kementerian ESDM R.I. *Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali*, Peraturan Menteri (Permen) No. 03. Jakarta 2007.