

Simulasi Perbaikan Stabilitas Dinamis Sistem Tenaga 150 Kv Dengan Statcom Berbasis *Modular Multilevel Converter* (MMC)

Cut Raissa Shabira¹, Rahmad Syafutra Lubis², Syahrizal³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Banda Aceh, 23111, Indonesia

¹cur.raissa@mhs.unsyiah.ac.id

³syahrizal.ee@unsyiah.ac.id

²rakhmadslubis@unsyiah.ac.id

Abstrak— Gangguan pada sistem kelistrikan disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah perubahan kestabilan sistem. Kestabilan dinamis merupakan kestabilan sistem atas gangguan kecil akibat perubahan beban kecil dan bertingkat. Masalah dapat diatasi dengan penggunaan STATCOM (*Static Synchronous Compensator*) berbasis MMC (*Modular Multilevel Converter*) yakni salah satu dari kompensator daya reaktif pada sistem yang mana dapat menyerap dan menambah besar daya reaktif pada sistem menggunakan MMC. Pada penelitian ini dilakukan perancangan simulasi menggunakan matlab Simulink untuk melihat dampak dari penggunaan STATCOM untuk memperbaiki kestabilan dinamis dari sistem transmisi 150 kV. Simulasi pada skripsi ini dirancang menjadi dua yaitu sistem dengan penggunaan STATCOM dan sistem tanpa penggunaan STATCOM untuk melihat bagaimana sistem berhasil kembali ke keadaan stabilnya setelah terjadi perubahan beban. Kemudian, hasil kedua simulasi tersebut dibandingkan untuk mengetahui manfaat penggunaan STATCOM. Pada penelitian ini menunjukkan hasil bahwasanya penggunaan M-STATCOM pada sistem tenaga 150 kV lebih baik dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan M-STATCOM dalam perbaikan stabilitas dinamis. Nilai daya aktif yang terukur lebih besar yaitu sebesar 63,6 MW untuk sistem dengan penggunaan M-STATCOM dan 60,35 MW dengan sistem tanpa penggunaan M-STATCOM. Dan untuk daya reaktifnya lebih rendah yaitu 17,7 MVAR dibandingkan sistem tanpa M-STATCOM yaitu 18,01 MVAR.

Kata Kunci— STATCOM, kompensator daya reaktif, kestabilan dinamis.

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar pemadaman sistem tenaga listrik dikarenakan oleh tingginya permintaan pada sistem daya dengan besarnya permintaan pada daya aktif dan reaktif serta kondisi tegangan yang rendah. Jika tegangan fasa sistem rendah, maka menyebabkan meningkatnya kerugian oleh karenanya diperlukan pengembangan teknik khusus untuk meningkat kualitas tegangan dan meniadakan ketidakstabilan tegangan pada sistem tenaga listrik.

Stabilitas sistem tenaga merupakan suatu kemampuan dari sistem tenaga listrik yang mana dapat mempertahankan sinkronisasi apabila terjadi perubahan pada beban dan

gangguan gangguan lain yang menyebabkan kesetimbangan sistem berubah[1]. Stabilitas dinamis itu sendiri ialah stabilitas yang disebabkan oleh gangguan kecil, disebut juga stabilitas sinyal kecil. Kondisi stabilitas dinamis adalah kondisi sistem yang mempertahankan kestabilannya pada titik *steady-state* apabila terjadi gangguan kecil[2].

Daya reaktif mempengaruhi sistem yaitu dapat menurunkan jumlah daya nyata yang akan didistribusikan dan menyebabkan faktor daya memburuk. Besar kecilnya daya reaktif ini dapat diatur dengan menggunakan peralatan yang berfungsi sebagai beban tambahan pada sistem. Salah satunya dengan menggunakan kapasitor bank yang berfungsi menurunkan daya reaktif yang bersifat induktif. Namun hal ini agak kurang baik dilakukan karena mengingat bahwa listrik memiliki sifat dinamis. Bila sistem memiliki beban kapasitif yang besar dan menyebabkan nilai daya reaktif semakin besar, maka diperlukannya peralatan untuk menurunkan daya reaktif yang bersifat kapasitif.

Untuk mengatasi hal ini dapat digunakan kompensator daya reaktif. Kompensator daya reaktif ialah kompensator yang memiliki kemampuan untuk mengatur daya reaktif dan bekerja tergantung kondisi beban yang bekerja. Teknologi kompensator daya reaktif ini pada awalnya menerapkan teknik *Voltage Source Converter* (VSC) dan berkembang menjadi beberapa variasi dan konfigurasi yang berbeda, salah satunya adalah *Static Synchronous Compensator* (STATCOM).

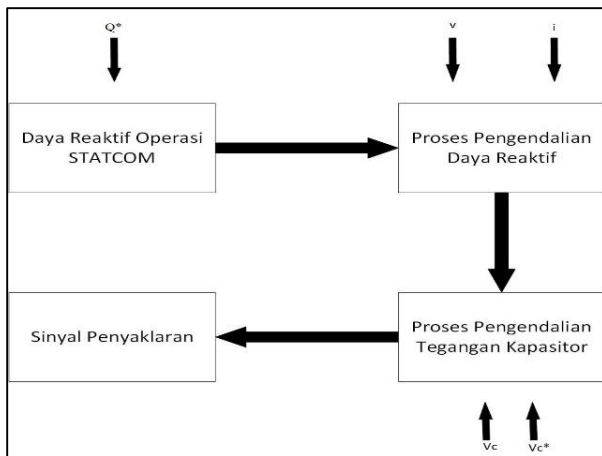
Pada penelitian ini membuat simulasi kompensator daya reaktif yang disebut dengan STATCOM yang berbasis *Modular Multilevel Converter* (MMC) pada sistem tenaga 150 kV untuk mengatur daya reaktif pada sistem jaringan transmisi sehingga dapat memperbaiki kestabilan dinamis. Bentuk alur sederhana dari pengendalian STATCOM ditunjukkan pada Gambar 1.

Nilai kompensasi pada STATCOM ditentukan dengan besar dari nilai reaktif yang beroperasi pada sistem dan digunakan sebagai masukan. Proses pengendalian pada daya reaktif tersebut dilakukan dengan memasukan nilai tegangan kapasitor pada sistem dan tegangan dari kapasitor yang telah ditentukan. Penggabungan pengendalian daya reaktif dan

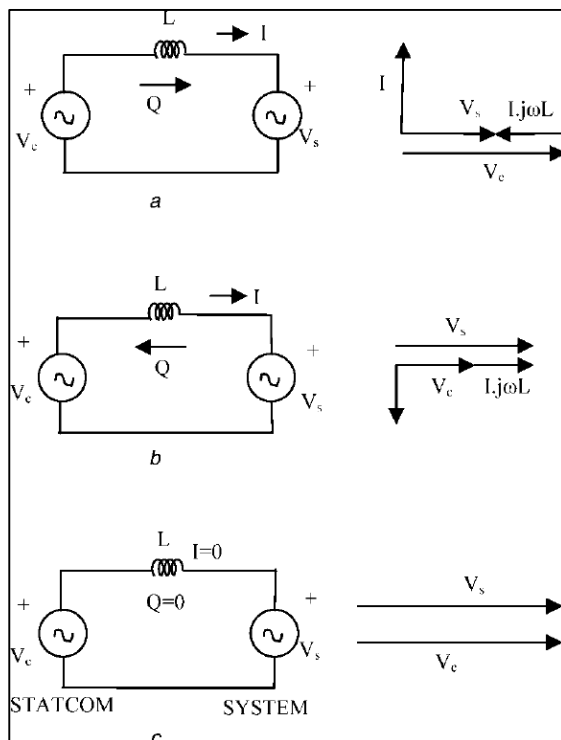
tegangan kapasitor akan digunakan sebagai sinyal penyaluran yang memiliki fungsi untuk menentukan besar tegangan STATCOM untuk pengaturan daya reaktif pada rangkaian konverter[3][4]. STATCOM memiliki 3 jenis operasi kerja sebagai berikut:

- Keadaan Kapasitif
- Keadaan Induktif
- Keadaan tanpa beban

Suatu keadaan dimana STATCOM tidak membangkitkan maupun menyerap daya reaktif dan nilai V_S sama dengan V_C merupakan hal yang disebut dengan keadaan tanpa beban.



Gambar 1. Proses pengendalian STATCOM



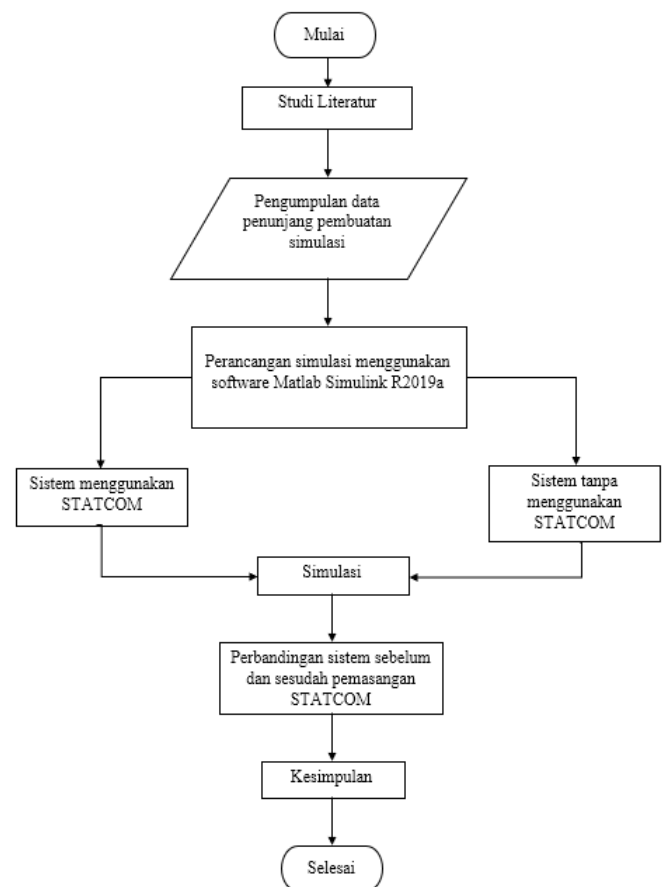
Gambar 2. Prinsip kerja STATCOM dimana a) keadaan operasi kapasitif, b) keadaan operasi induktif, c) keadaan operasi tanpa beban

Pada Gambar 2 menunjukkan prinsip kerja dari STATCOM. Apabila STATCOM berada pada keadaan kapasitif ($V_C > V_S$), STATCOM akan beranggapan bahwa ada reaktansi induktif pada sisi terminal dan mengakibatkan daya reaktif akan mengalir ke sistem dari STATCOM. Sebaliknya apabila STATCOM berada dalam kondisi mode induktif, nilai $V_S > V_C$ maka STATCOM akan mengidentifikasi sistem sebagai reaktansi kapasitif dan berakibat daya reaktif dari sistem mengalir menuju STATCOM[5].

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Pada Tahapan-tahapan dalam melakukan proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 dalam diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaturan Daya Reaktif Tanpa M-STATCOM

Dalam penelitian ini untuk melakukan pengaturan daya reaktif tanpa M-STATCOM dilakukan perancangan saluran transmisi terlebih dahulu. Rangkaian simulasi sistem tenaga tegangan tinggi 3 fasa 150 kV tanpa penggunaan STATCOM

yang telah dimodelkan pada Matlab Simulink ditunjukkan pada Gambar 4.

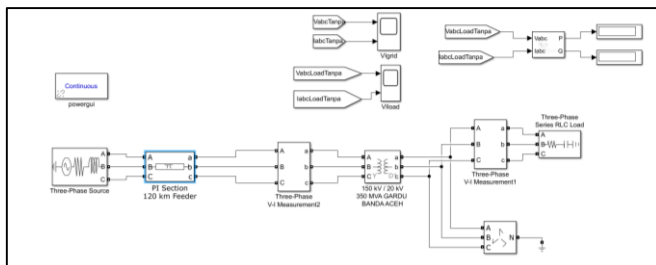
Gambar 4 merupakan rangkaian saluran transmisi tanpa STATCOM. Komponen-komponen yang digunakan pada saluran transmisi tanpa penggunaan STATCOM ialah:

- Sumber 3 fasa
- Alat Ukur
- Transformator 3 fasa step-down
- Kabel feeder
- Beban 3 fasa

Tabel 1 merupakan parameter yang digunakan pada rancangan sistem tenaga 150 kV tanpa penggunaan STATCOM. Pada Tabel 1 dapat dilihat daya yang dikirimkan sebesar 500 MVA. Frekuensi yang digunakan pada pemodelan sistem tenaga ialah 50 Hz. Tegangan Transmisi yang digunakan 150 kV. Panjang saluran transmisi yang dimodelkan adalah 120 KMS. Hasil simulasi sistem tenaga 150 kV sebelum pemasangan M-STATCOM dapat terlihat pada Gambar 5 menunjukkan gelombang-gelombang yang mewakili setiap fasa, R, S, dan T.

Grafik pada gambar 5 merupakan grafik tegangan dan arus yang terukur pada jaringan atau grid pada pemodelan sistem tenaga 150 kV tanpa digunakannya M-STATCOM pada sistem. Berdasarkan grafik, dapat dilihat tegangan yang terukur ialah sebesar 145 kV dan didapatkan tegangan yang stabil. Pada gambar diatas juga terlihat arus yang terukur pada grid ialah 80 A.

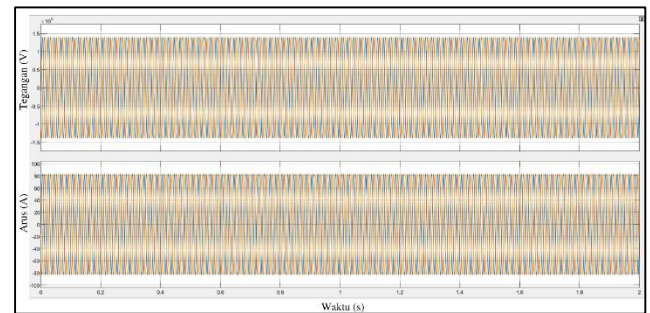
Grafik pada gambar 6 merupakan grafik tegangan dan arus yang terukur pada sisi beban atau penerima pada pemodelan sistem tenaga 150 kV tanpa digunakannya M-STATCOM pada sistem. Berdasarkan grafik, dapat dilihat tegangan yang terukur ialah sebesar 18 kV dan stabil. Berdasarkan Gambar di atas dapat dilihat juga besar arus yang terukur ialah 500 A.



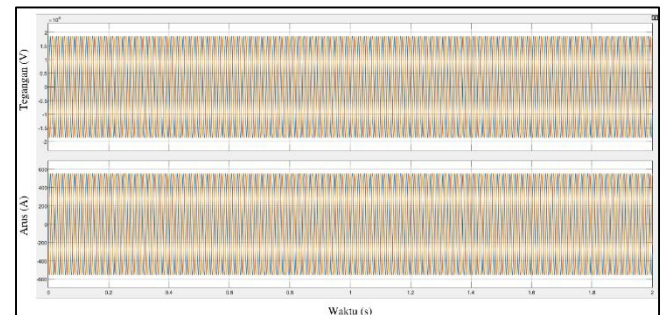
Gambar 4. Rancangan Saluran Transmisi Tanpa STATCOM

TABLE I
PARAMETER JARINGAN TRANSMISI TANPA M-STATCOM

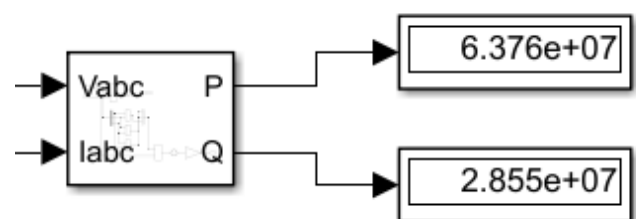
No.	Parameter	Nilai
1.	Sumber Daya 3 Fasa	500 MVA
2.	Frekuensi	50 Hz
4.	Tegangan Transmisi	150 kV
5.	Panjang Grid	120 KMS,
6.	Beban	67 MW
7.	Resistansi Kabel	0,1153 ohm/m
8.	Faktor Daya	0,8



Gambar 5. Grafik tegangan dan arus pada jaringan tanpa penggunaan STATCOM



Gambar 6. Grafik tegangan dan arus pada Beban tanpa penggunaan STATCOM

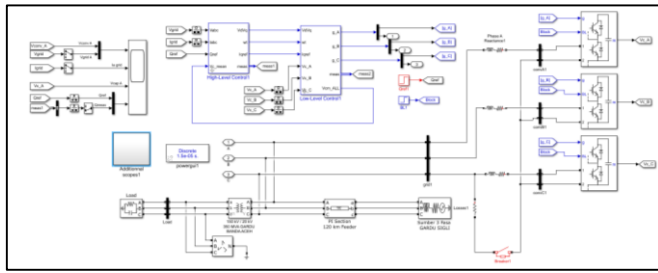


Gambar 7. Hasil pengukuran daya

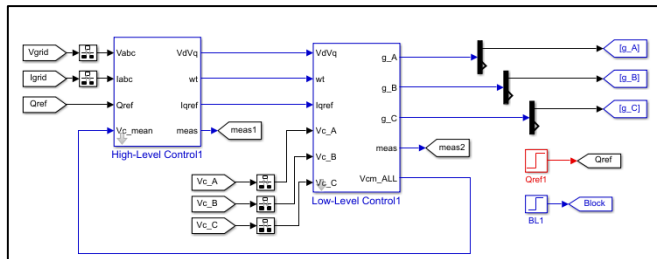
Sedangkan hasil pengukuran besar daya yang terukur di sisi penerima pada pemodelan sistem transmisi 150 kV adalah seperti yang terlihat pada Gambar 7. Pada rangkaian tanpa penggunaan STATCOM didapatkan hasil pengukuran daya aktif sebesar 63,7 MW dan daya reaktif sebesar 28 MVAR.

B. Pengaturan Daya Reaktif Dengan M-STATCOM

Dalam penelitian ini Gambar 8 berikut merupakan rangkaian simulasi sistem tenaga tegangan tinggi 3 fasa 150 kV tanpa penggunaan STATCOM yang telah dimodelkan pada Matlab Simulink. STATCOM dapat menyerap atau menghasilkan daya reaktif. Transfer daya reaktif dilakukan melalui reaktansi fasa. Konverter menghasilkan tegangan yang sefasa dengan tegangan pada Grid. Ketika amplitudo tegangan konverter lebih rendah dari tegangan jaringan, STATCOM bertindak menjadi induktif yang menyerap daya reaktif. Ketika amplitudo tegangan konverter lebih tinggi dari tegangan bus, STATCOM bertindak seperti kapasitor yang menghasilkan daya reaktif..



Gambar 8. Rancangan saluran transmisi menggunakan M-STATCOM



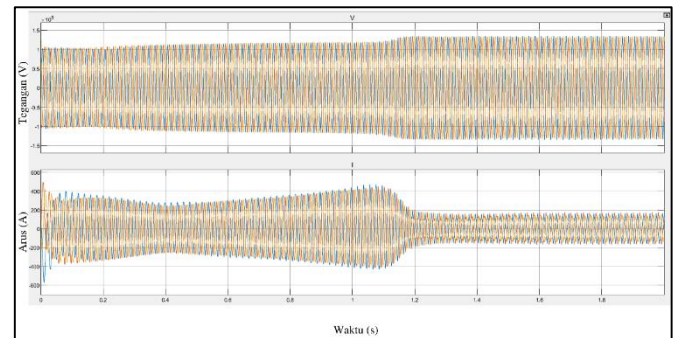
Gambar 9. Rangkaian pengontrolan M-STATCOM

Rangkaian yang terdapat pada Gambar 9 merupakan rangkaian kontrol untuk mengatur keluaran tegangan dan arus sehingga daya aktifnya dapat ditingkatkan. Pada *high level control*, tegangan dan arus pada grid yang telah diukur akan diinput ke sistem untuk mengetahui berapa daya aktif dan reaktifnya. Kemudian tegangan dan arus pada beban, dikonversi menjadi alpha dan beta dalam komponen dq. Kemudian pengontrol menentukan arus yang akan disubstitusi untuk mengimbangi perubahan atau fluktuasi arus dan tegangan. Sehingga, tegangan yang akan dihasilkan oleh MMC sesuai dari modul konverter dikarenakan sesuai dengan yang telah ditentukan oleh sistem kontrol konverter. Pada *low level control*, V_dV_q , wt dan I_{qref} yang berasal dari output *high level control* menjadi input sistem *low level control* setelah itu input dari tegangan kapasitor yang berasal MMC *full bridge* dari tiap-tiap fasa (V_{c_A} , V_{c_B} , V_{c_C}) akan di sinkronkan dengan input sebelumnya sehingga dapat menstabilkan tegangan pada grid sekaligus menyeimbangkan fasanya, apabila tegangan belum stabil, V_{c_A} , V_{c_B} dan V_{c_C} akan diukur nilai rata-ratanya dan dikirim kembali ke *high level control* sampai tegangannya stabil. Komponen-komponen yang digunakan pada saluran transmisi dengan penggunaan STATCOM ialah:

- Reaktansi
- Rangkaian Modular Multilevel Converter
- Sumber 3 fasa
- Alat Ukur
- Transformator 3 fasa (Transformator step-up dan Transformator step-down)
- Kabel feeder (Kabel feeder 100 km dan kabel feeder 20 km)
- Beban 3 Fasa

TABLE II
PARAMETER JARINGAN TRANSMISI DENGAN M- STATCOM

No.	Parameter	Nilai
1.	Sumber Daya 3 Fasa	500 MVA
2.	Frekuensi	50 Hz
4.	Tegangan Transmisi	150 kV
5.	Panjang Grid	120 KMS
6.	Beban	67 MW
7.	Jumlah MMC	3



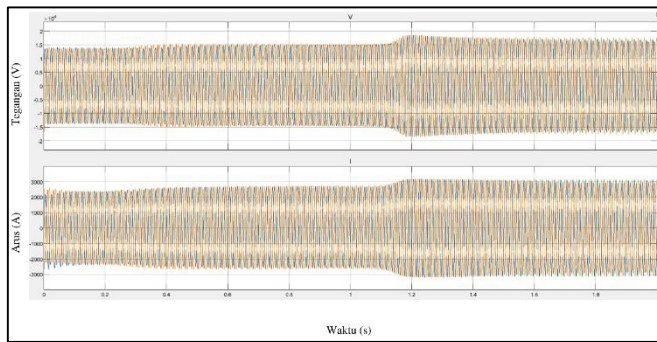
Gambar 10. Grafik tegangan dan arus pada jaringan dengan penggunaan STATCOM

Tabel 2 merupakan parameter yang digunakan pada rancangan sistem tenaga 150 kV dengan penggunaan STATCOM. Tabel tersebut menunjukkan daya yang dikirimkan sebesar 400 MVA. Frekuensi yang digunakan pada pemodelan sistem tenaga ialah 50 Hz. Tegangan Transmisi yang digunakan 150 kV. Panjang saluran transmisi yang dimodelkan adalah 120 KMS. Untuk besar daya reaktif pada sistem tranmsisi adalah 240 MVAR.

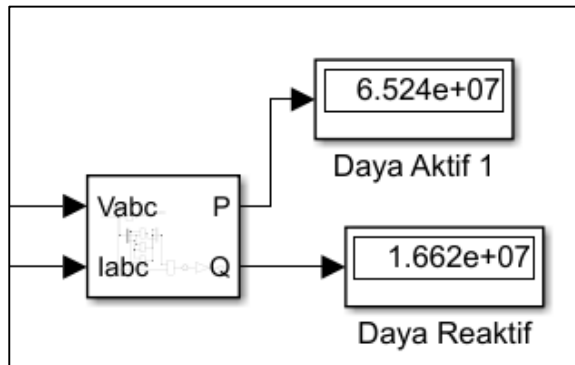
Pada Gambar 10 terdapat dua grafik, grafik tegangan grid (atas) memiliki dan grafik kedua (bawah) merupakan grafik arus pada grid/jaringan. Pada grafik di atas dapat dilihat memiliki amplitudo 105 kV sempat mengalami osilasi sebelum menuju pada kestabilannya pada $t=1,4s$ dengan tegangan pada grid terukur sebesar 145 kV. Sedangkan untuk arus bermula pada 300 A dan mengalami kenaikan serta stabil pada 150 A di titik $t=1,4s$.

Pada Gambar 11 merupakan grafik tegangan dan arus yang terukur pada sisi beban atau penerima pada pemodelan sistem tenaga 150 kV dengan digunakannya M-STATCOM pada sistem. Berdasarkan grafik, dapat dilihat tegangan yang terukur ialah sebesar 15 kV sebelum stabil pada $t = 1,2 s$ dan memiliki amplitudo sebesar 18,5 kV dan dapat dilihat juga besar arus yang terukur ialah 3000 A.

Gambar 12 merupakan hasil daya reaktif dan aktif yang terukur setelah ditempatkannya M-STATCOM pada pemodelan sistem tenaga 150 kV. Nilai dari reaktif yang terukur ialah sebesar 16,2 MVAR sedangkan daya aktifnya sebesar 65,2 MW.



Gambar 11. Grafik tegangan dan arus pada beban dengan penggunaan STATCOM



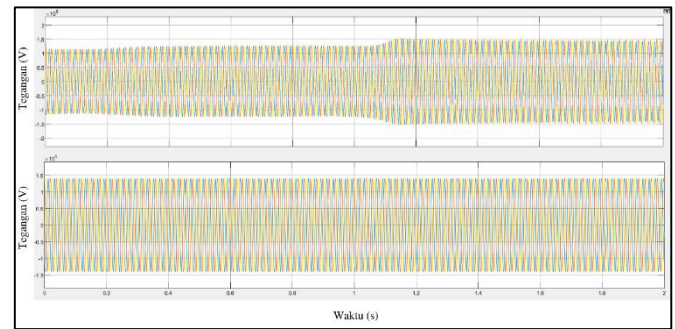
Gambar 12. Daya aktif dan reaktif ketika menggunakan STATCOM

C. Perbandingan Kinerja

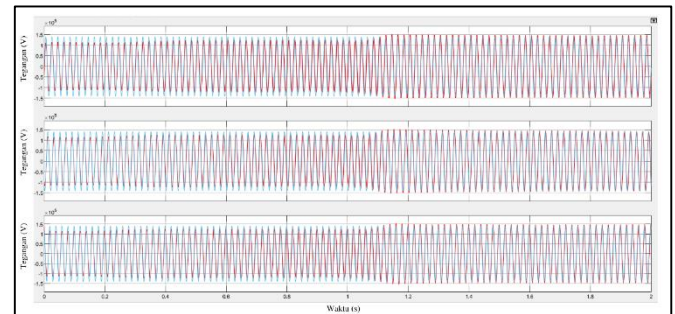
Setelah dilakukan pengujian pada pemodelan sistem tenaga 150 kV tanpa digunakannya M-STATCOM dan dengan penggunaan M-STATCOM, dilakukan pengujian kinerja dari kedua model sistem tenaga 150 kV apabila terjadi ketidakstabilan dinamis pada pemodelan sistem yang disebabkan oleh timbulnya arus kapasitif yang mengganggu kestabilan tegangan, maka perbandingan keduanya dapat dilihat pada gambar 13.

Berdasarkan Gambar 14 terlihat hasil untuk besar tegangan grid dari kedua pemodelan sistem. Grafik 13 (a) merupakan tegangan grid untuk sistem dengan penggunaa M-STATCOM dan dapat dilihat sistem amplitudo awalnya bernilai 115 kV sebelum perlahan stabil pada titik $t = 1,2$ s dengan amplitudo 150 kV. Sedangkan untuk sistem tanpa menggunakan M-STATCOM, grafik tegangan grid dapat dilihat pada Gambar 13 (b), yang mana dapat dilihat tegangan sistem stabil pada 146 kV. Grafik hasil perbandingan tegangan Grid perfasa kedua pemodelan sistem dapat dilihat pada Gambar 14.

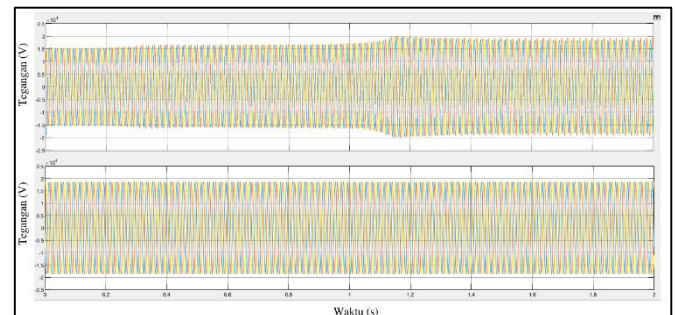
Selanjutnya, juga dapat dilihat nilai tegangan pada sisi beban atau penerima, pada pemodelan kedua sistem tenaga 150 kV dengan penggunaan M-STATCOM dan tanpa penggunaan M-STATCOM pada Gambar 15.



Gambar 13. Grafik perbandingan hasil tegangan grid kedua pemodelan sistem, (a) dengan M-STATCOM, (b) tanpa M-STATCOM

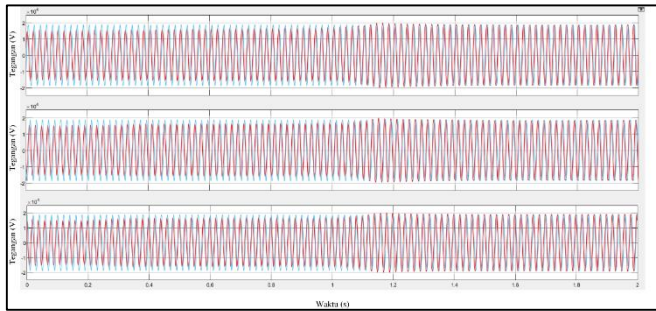


Gambar 14. Grafik Perbandingan Tegangan Grid perfasa. (a) Fasa R (b) Fasa S (c) Fasa T

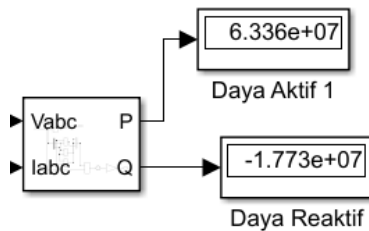


Gambar 15. Grafik perbandingan hasil Tegangan Beban kedua pemodelan sistem, (a) dengan M-STATCOM, (b) tanpa M-STATCOM

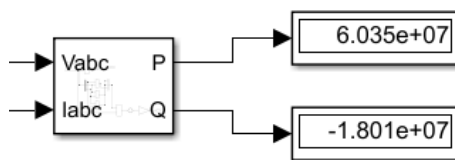
Berdasarkan Grafik pada Gambar 15 (a) merupakan hasil keluaran dari sistem dengan penggunaan M-STATCOM dan didapatkan besar tegangan sebesar 15 kV dan perlahan menuju kestabilannya yaitu 20 kV pada $t = 1,2$ s. Sedangkan, untuk sistem tanpa penggunaan M-STATCOM dapat dilihat pada Gambar 15 (b) stabil pada titik 18 kV. Kemudian, berikut grafik hasil perbandingan tegangan load perfasa kedua pemodelan sistem dapat dilihat pada Gambar 16. Sedangkan hasil pengukuran daya aktif dan reaktif kedua pemodelan sistem tenaga 150 kV terlihat pada gambar 17 dan 18.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Tegangan Load perfasa. (a) Fasa R (b) Fasa S (c) Fasa T



Gambar 17. Hasil Pengukuran daya sistem dengan M-STATCOM



Gambar 18. Hasil Pengukuran daya sistem tanpa M-STATCOM

Untuk sistem dengan M-STATCOM, pada Gambar 17 didapatkan nilai sebesar 63,36 MW untuk daya aktif dan daya reaktif sebesar 17,7 MVAR. Sedangkan hasil pengukuran daya untuk sistem yang tanpa menggunakan M-STATCOM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18 didapatkan pengukuran daya aktif sebesar 60,35 MW dan daya reaktif sebesar 18,01 MVAR. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa dengan penggunaan M-STATCOM didapatkan nilai daya aktif yang lebih baik daripada pada pemodelan sistem tenaga 150 kV tanpa penggunaan M-STATCOM.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa daya yang terukur pada beban/load untuk pemodelan sistem tanpa menggunakan M-STATCOM sebesar 63,7 MW untuk daya aktif dan 28,55 MVAR untuk daya reaktif. Daya yang terukur pada beban/load pemodelan sistem menggunakan M-STATCOM ialah nilai dari aktif yang terukur ialah sebesar 65,24 MW sedangkan daya reaktifnya sebesar 16,6 MVAR. Penggunaan M-STATCOM pada sistem tenaga 150 kV lebih baik dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan M-STATCOM dalam perbaikan stabilitas dinamis. Nilai daya aktif yang terukur lebih besar yaitu sebesar 63,6 MW untuk sistem dengan penggunaan M-STATCOM dan 60,35 MW dengan sistem tanpa penggunaan M-STATCOM. Dan untuk daya reaktifnya lebih rendah yaitu 17,7 MVAR dibandingkan sistem tanpa M-STATCOM yaitu 18,01 MVAR.

REFERENSI

- [1] H. Saadat, Power System Analysis. McGraw Hill, New York, 1999.
- [2] P. M. Anderson and A. A. Fouad, Power system control and stability, second edition. 2002.
- [3] S. A. Kamran and J. Muñoz, "Study of a state-of-the art M-STATCOM," pp. 2733–2738, 2015.
- [4] A. S. Hidayat, "Analisa dan Perancangan Sistem Pengendalian Multilevel STATCOM (Static Synchronous Compensator) Dalam Mengurangi Gangguan Tegangan Kedip," Universitas Indonesia, 2010.
- [5] B. Singh, R. Saha, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Static synchronous compensators (STATCOM): A review," IET Power Electron., vol. 2, no. 4, pp. 297–324, 2009, doi: 10.1049/iet-pel.2008.0034.