

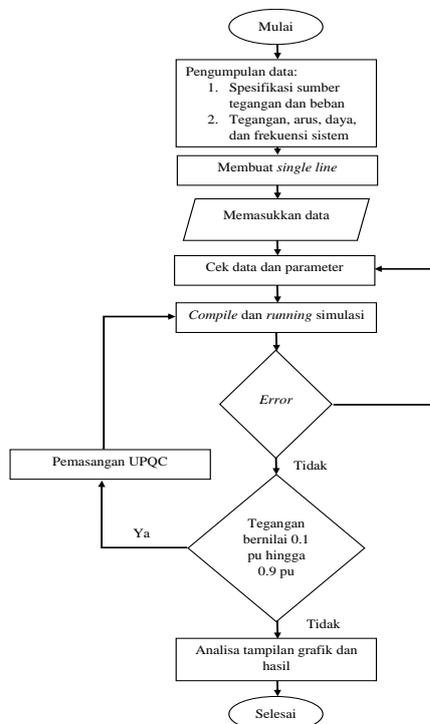
Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan D-STATCOM pada Sistem Distirbusi Tegangan RendahCeri Ahendyarti, Wahyuni Martiningsih, Anggoro Suryo
Pramudyo, Ilfi Diana TyrasJurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan
Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.**Informasi Artikel**

Naskah Diterima : 21 Juni 2021

Direvisi : 28 Juni 2021

Disetujui : 29 Juni 2021

doi:10.36055/setrum.v10i1.11920

***Korespondensi Penulis :**
ceri.ahend@untirta.ac.id**Graphical abstract****Abstract**

This study explains of disturbances in the low voltage distribution system. The disturbance that often occurs in such a system is a single phase to ground fault. One of the most common disturbances in the quality of electrical power is voltage sag. These disturbances can be minimized or corrected by using D-STATCOM compensation. In this study, D-STATCOM is used to compensate for the voltage drop (voltage sag) due to short circuit faults. The components of D-STATCOM used in this research are IGBT, DC battery, filter, and controller with the working principle according to Park transformation. The simulation results of this study showed that the voltage sag increased up to 96%. Based on the results obtained, it can be said that the performance of D-STATCOM is quite good in compensating for voltage drops due to interference.

Keywords: power quality, D-STATCOM, voltage sag,

Abstrak

Penelitian ini menjelaskan adanya gangguan pada system distribusi tegangan rendah. Gangguan yang sering terjadi pada suatu system tersebut adalah gangguan hubung satu fasa ke tanah.. Salah satu gangguan kualitas daya listrik yang sering dijumpai ialah voltage sag. Gangguan tersebut dapat diminimalisir atau diperbaiki agar tidak berdampak buruk dengan menggunakan kompensasi D-STATCOM. Pada penelitian ini, D-STATCOM digunakan untuk mengkompensasi tegangan yang turun (voltage sag) akibat gangguan hubung singkat. Komponen dari D-STATCOM yang digunakan pada penelitian ini berupa IGBT, baterai DC, filter, dan kontroler dengan prinsip kerja sesuai transformasi Park. Hasil simulasi penelitian ini diperoleh bahwa tegangan yang turun mengalami kenaikan hingga 96%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat dikatakan bahwa kinerja D-STATCOM cukup baik dalam mengkompensasi tegangan yang turun akibat gangguan

Kata kunci: Kualitas daya, D-STATCOM, voltage sag

©2021 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Sistem energi listrik harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam penyalurannya. Kualitas daya yang baik dari segi regulasi tegangan dan arus dapat menghindarkan sebuah industri atau perusahaan dari kerugian produksi (*loss of production*) yang secara finansial akan merugikan. Kenyataannya banyak permasalahan yang dihadapi oleh sistem tenaga listrik dalam penyediaan energi listrik yang kontinu karena beban yang terdapat pada sebuah industri saat ini tergantung pada proses elektronik dan kontrol yang sering kali peka terhadap perubahan kualitas daya [1].

Perusahaan yang menjadi objek dalam penelitian ini merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pembangkit listrik dengan beban industri berupa motor-motor. Permasalahan yang muncul pada instansi tersebut yaitu adanya gangguan satu fasa ke tanah yang mempengaruhi kinerja driver motor pada mills unit 6 yang berimbas pada kulaitas daya listrik berupa tegangan turun (*voltage*

sag). *Voltage sag* merupakan penurunan tegangan rms dari nilai nominalnya dengan durasi antara 0,5 sampai 30 detik [2]. *Voltage sag* dapat terjadi salah satunya karena adanya penyalan motor induksi berdaya besar [3]. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan *voltage sag* tersebut ialah dengan menggunakan *Distributed static compensator (D-STATCOM)*. *D-STATCOM* adalah perangkat yang dapat digunakan untuk memperbaiki sejumlah permasalahan kualitas daya, salah satunya adalah *voltage sag* [4]. *D-STATCOM* akan terhubung secara paralel ke jaringan distribusi melalui transformator dan bekerja dengan menginjeksikan arus dan tegangan kompensasi.

Pada penelitian ini akan dilakukan usaha perbaikan kualitas daya sebelum dan sesudah menggunakan *D-STATCOM* pada sistem distribusi 20 kV.

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi listrik merupakan sub sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen [5]. Sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan ke dalam dua tingkat, yaitu jaringan distribusi primer dan distribusi sekunder.

Keandalan sistem distribusi listrik merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem tenaga listrik yang memberikan hasil baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Tujuan dari keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak. Jika aliran listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar terganggu [6].

B. Kualitas Daya Listrik

Power quality atau kualitas daya listrik adalah tingkat kualitas jaringan listrik dalam efisiensi dari penggunaan energi listrik. Kualitas daya listrik juga merupakan syarat yang harus dipenuhi agar peralatan-peralatan listrik yang sensitif terhadap variasi tegangan dapat berfungsi dengan benar [7]. Monitoring kualitas daya listrik merupakan pemantauan kualitas daya listrik melalui suatu proses pengambilan data berupa variabel atau besaran listrik yaitu tegangan, arus, faktor daya, daya nyata, daya semu, daya reaktif, dan harmonisa listrik. Dari data tersebut, dapat dilakukan proses analisa data dan mengambil kesimpulan untuk memberikan informasi tentang semua variabel tersebut, kemudian dapat melakukan tindakan memperbaiki atau meningkatkan kualitas daya tersebut [7]. Permasalahan yang terjadi pada kualitas daya listrik yaitu;

1. Harmonisa

Harmonisa terjadi karena adanya beban listrik *nonlinear* yang mengakibatkan bentuk gelombang arus maupun tegangan yang awalnya sinusoidal menjadi rusak akibat distorsi harmonisa karena pembentukan gelombang- gelombang sinus dengan frekuensi kelipatan (integer) dari frekuensi sumber, gelombang sinus ini apabila digabung dengan frekuensi sumber akan menghasilkan gelombang yang terdistorsi (non sinusoida) [8].

2. *Voltage sag*

Voltage sag adalah penurunan tegangan dari nilai nominalnya sebesar 0,1 sampai 0,9 pu pada waktu 0,01 detik sampai 1 menit [9]. *Voltage sag* dapat terjadi karena adanya kegagalan (fault) dalam sistem penyalan motor induksi berdaya besar [2].

3. *Voltage swell*

Voltage swell merupakan kenaikan atau penambahan pada tegangan rms sebesar 110-180% selama 0,07 sampai 0,5 detik. *Voltage swell* dapat diakibatkan karena adanya pelepasan beban besar secara mendadak yang dapat merusak peralatan elektronika dan yang lainnya [10]

4. *Flicker*

Flicker atau bisa juga disebut fluktuasi tegangan berulang yang merupakan tegangan sesaat dalam waktu singkat. *Flicker* dapat mempengaruhi kualitas pelayanan listrik terhadap konsumen. *Flicker* dapat terjadinya karena adanya perubahan beban sistem tenaga listrik secara mendadak [11].

C. *D-STATCOM*

D-STATCOM merupakan sebuah alat yang dapat memperbaiki permasalahan pada kualitas daya dan melindungi beban sensitif. *D-STATCOM* dihubungkan secara paralel (*shunt*) melalui trafo terhadap sistem distribusi listrik. Cara kerja *D-STATCOM* adalah mendeteksi tegangan atau arus yang turun dan memperbaikinya dengan memberikan tegangan dan arus kompensasi [12].

D. Active Power Filter (APF)

Prinsip dasar filter aktif adalah menghasilkan komponen arus yang bertujuan untuk mengurangi harmonisa yang dihasilkan oleh beban *nonlinear*. Filter aktif tidak menyebabkan resonansi yang berbahaya pada sistem distribusi [13].

E. Passive Power Filter

Filter pasif dirancang untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Filter pasif banyak digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonisa pada sistem [13]

F. Beban Non Linear

Beban *nonlinear* merupakan beban yang arusnya tidak sesuai terhadap komponen tegangannya sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sama dengan tegangan. Beban *nonlinear* akan menyerap arus non sinusoidal dan harmoniks meskipun disuplai oleh tegangan sinusoidal [13].

G. Penyimpanan Energi DC

Pada pemodelan sistem menggunakan sumber DC yang dihubungkan dengan VSI. Sumber DC yang digunakan adalah baterai untuk menyediakan kebutuhan daya aktif agar memperoleh tegangan AC ke jaringan selama gangguan terjadi. Tegangan pada baterai dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1.

$$V_{dc} = \frac{2\sqrt{2}V_{LL}}{\sqrt{3}m} \tag{1}$$

Voltage source inverter merupakan pengubah tegangan dc menjadi tegangan ac. Pada *D-STATCOM*, fungsi dari VSI ialah untuk mengubah tegangan DC pada baterai menjadi tegangan AC untuk diinjeksikan ke sistem distribusi. Pada penelitian ini, inverter terbentuk dari IGBT. IGBT adalah komponen semikonduktor gabungan BJT dan MOSFET. Kontroler pada *D-STATCOM* sangat dibutuhkan untuk mendeteksi gangguan sinyal dengan akurasi yang tinggi untuk dapat mengkompensasi tegangan [14]. Sebelum melakukan transformasi Park (dq0), sistem tiga fasa akan ditransformasikan menggunakan transformasi Clarke seperti pada persamaan 2 :

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Setelah melakukan transformasi *Clarke*, maka akan didapatkan nilai V_{α} dan V_{β} yang akan dilanjutkan dengan transformasi *Park* seperti pada persamaan 3. Dari persamaan tersebut akan mendapat nilai dq yang berbentuk linier untuk mempermudah pengontrolan. Selanjutnya nilai dq akan dibandingkan dengan tegangan hasil ukur yaitu V_a , V_b , dan V_c .

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & -\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\omega t & \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\omega t & -\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{4}$$

Setelah disederhanakan, maka nilai tersebut akan kembali ke bentuk abc dengan persamaan 5 :



$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & -\sin \omega t & 1 \\ \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \\ \cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam melakukan penelitian:

- a) Pengumpulan data, yaitu data spesifikasi sumber tegangan dan beban, arus, daya dan frekuensi sistem
- b) Dari data-data yang diperoleh, dibuatlah *single line diagram* dari system distribusi 20 kV
- c) Pembuatan model simulasi system distribusi sesuai dengan parameter yang diperoleh, termasuk pemodelan beban dari perusahaan yang menjadi objek penelitian.
- d) Perancangan D-STATCOM yang sesuai dengan system distribusi.
- e) Pengujian system secara keseluruhan.

2.2 Perancangan Penelitian

Tabel 1. Data Sumber Tegangan

Parameter	Nilai
Tegangan	20 kV
Daya Hubung Singkat	44 MVA

Tabel 2. Data Transformator

Parameter	Nilai
Konfigurasi	dY
Daya Transformator	0,05 MVA
Tegangan Primer	20 kV
Tegangan Sekunder	380 V

Tabel 3. Data Beban

Parameter	Nilai
Daya Aktif	20 kW
Daya Reaktif	40 VAR

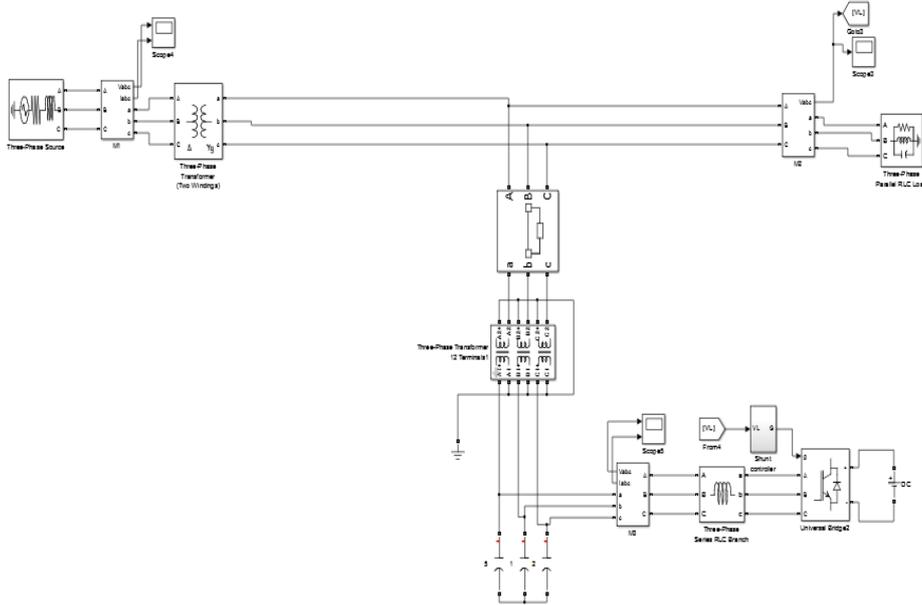


Gambar 1. Perancangan Sistem Distribusi

Setelah rancangan sistem distribusi dimodelkan, selanjutnya rangkaian tersebut diberikan gangguan pada jaringan 380 V yang mengakibatkan tegangan turun pada beban sensitif sehingga dapat

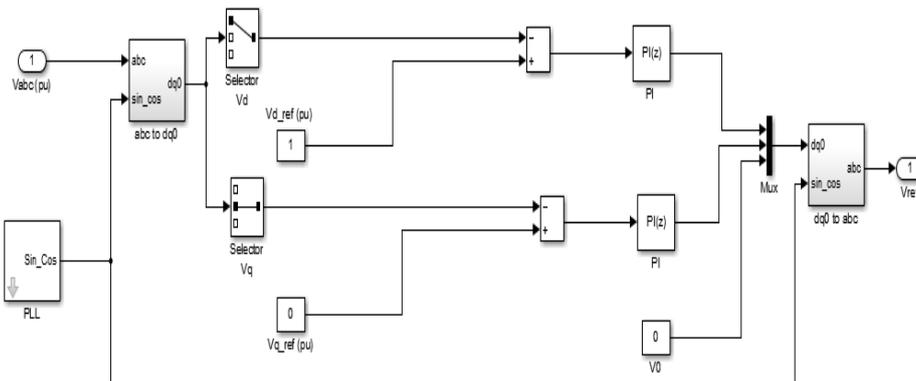


dilanjutkan dengan memodelkan D-STATCOM pada sistem distribusi untuk membuat tegangan kembali menjadi 1 pu atau mendekati 1 pu. D-STATCOM akan dihubungkan secara paralel pada sistem distribusi melalui tranformator. Cara kerja dari D-STATCOM adalah mendeteksi tegangan yang turun dan memperbaikinya dengan memberikan tegangan kompensasi. Gambar 2 merupakan rancangan sistem distribusi yang telah dipasang dengan D-STATCOM.



Gambar 2. Sistem Distribusi terhubung D-STATCOM

Simulasi ini menggunakan *phase locked loop* (PLL) dan metode transformasi *park* yang difungsikan untuk mendeteksi adanya *voltage sag*. Pada sistem dengan beban non linear, harmonisa, dan reaktif pada beban ditentukan oleh algoritma pada PLL. Setelah itu, tegangan dengan besar yang sama dan fasa yang terbalik dihasilkan dan diinjeksikan ke sistem sebagai kompensasinya. Kontroler pada D-STATCOM berfungsi untuk membandingkan tegangan beban dengan tegangan referensi dan mengkompensasi daya reaktif. Kontroler ini menggunakan tegangan sumber, arus sumber, dan tegangan DC link.



Gambar 3. Kontroler D-STATCOM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah rangkaian sistem distribusi dan D-STATCOM dibuat, selanjutnya memasukkan parameter yang diperoleh sebagai berikut :

Tabel 4. Parameter Pengujian

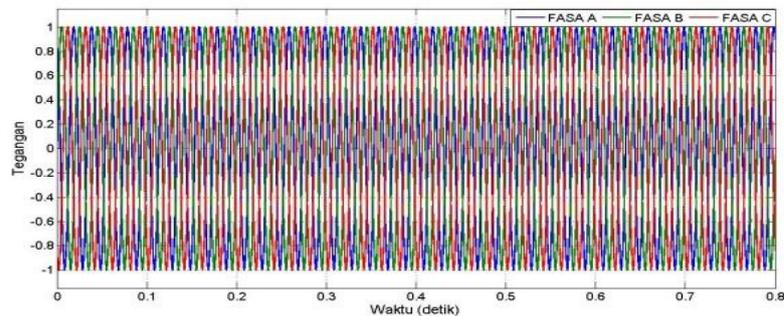
Parameter	Nilai
Tegangan Sumber	20 kV
Frekuensi Sistem	50 Hz
Tegangan Lilitan Primer Transformator	20 kV
Induktansi Lilitan Primer Transformator	8,6 Mh
Tegangan Lilitan Sekunder Transformator	380 V
Induktansi Lilitan Sekunder Transformator	0,08 Mh
Daya Aktif Beban	280 kW
Daya Reaktif Induktif Beban	40 VAR
Daya Reaktif Kapasitif Beban	10 VAR

Pengujian dilakukan dalam scenario yang berbeda-beda, yaitu;

1. Pengujian tanpa gangguan tanpa D-STATCOM
2. Pengujian system distribusi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah tanpa D-STATCOM
3. Pengujian system distribusi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan D-STATCOM

3.1 Pengujian Sistem Distribusi Normal

Pengujian ini dilakukan pada sistem distribusi yang tidak mengalami gangguan. Sistem ini merupakan sistem 380 V yang sebelumnya telah diturunkan nilainya oleh transformator *stepdown* dari 20 KV. Hasil pengujian saat sistem distribusi normal menunjukkan nilai tegangan yang sesuai nominalnya, dapat terlihat pada Gambar 4.

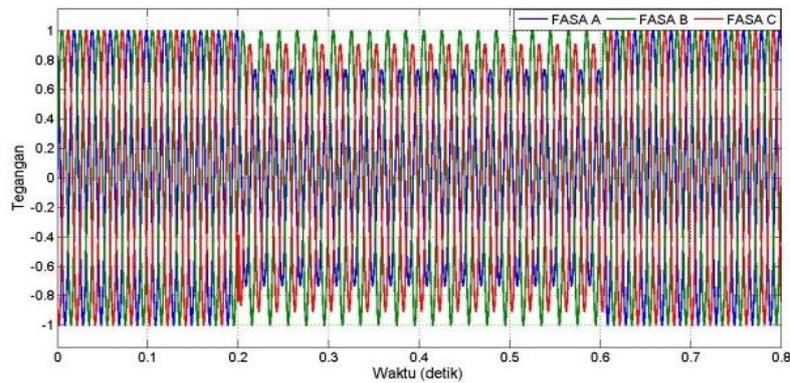


Gambar 4. Tegangan saat Kondisi Normal

Hasil pengujian menunjukkan tidak adanya gangguan pada system distribusi tegangan rendah, dan masih belum dipasang D-STATCOM.

3.2 Pengujian Sistem Distribusi dengan Gangguan Hubung Singkat tanpa D-STATCOM

Pada pengujian ini dilakukan dengan mensimulasikan. gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Hasil simulasi terlihat terjadi gangguan pada 2 fasa yang lainnya.



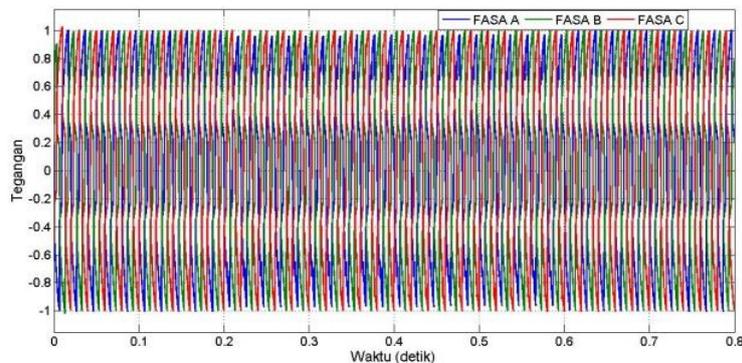
Gambar 5. Tegangan saat terjadi hubung singkat tanpa D-STATCOM

Penentuan nilai tegangan yang akan diinjeksikan pada sistem, maka harus melihat nilai tegangan saat terjadi gangguan hubung singkat. Perhitungan transformasi dq0 merupakan transformasi yang bergantung pada waktu (t). Sehingga jika ditentukan t sembarang yaitu t = 0,4 detik, maka didapat nilai nilai $V_a = 0,6613$ pu, $I_b = -0,0570$ pu, dan $I_c = -0,6042$ pu.

3.3 Pengujian Sistem Distribusi dengan Gangguan Hubung Singkat dengan D-STATCOM

Pada pengujian ini sistem distribusi yang mengalami hubung singkat satu fasa ke tanah akan dipasang D-STATCOM agar melindungi beban sensitif. Gangguan yang diberikan mengakibatkan sistem mengalami penurunan tegangan, maka fungsi D-STATCOM yang dipasang akan menyuplai arus injeksi sesuai kebutuhan sistem. Cara kerja D-STATCOM yang pertama harus bisa mendeteksi tegangan pada sistem.

Nilai yang terdeteksi kemudian dikonversi sinyalnya ke dalam koordinat dq0 dan dibandingkan dengan nilai referensi. Hasil selisih dari perbandingan tersebut kemudian akan diinjeksikan ke dalam sistem listrik sehingga tegangan beban akan naik seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Tegangan saat terjadi hubung singkat dengan D-STATCOM

Besar tegangan yang disuplai D-STATCOM dari baterai ditentukan oleh kontroler yang dipasang paralel dengan perhitungan :

$$\frac{180^\circ}{\omega t} = \frac{3,14}{2\pi f t}$$

$$\frac{180^\circ}{\omega t} = \frac{3,14}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,4}$$

$$\frac{180^\circ}{\omega t} = \frac{3,14}{125,6}$$

$$\omega t = \frac{125,6 \times 180}{3,14} = 7200^\circ$$

$$\begin{bmatrix} Vd \\ Vq \\ Vo \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos 7200 & \cos 7080 & \cos 7320 \\ -\sin 7200 & -\sin 7080 & -\sin 7320 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,6613 \\ -0,0570 \\ -0,6042 \end{bmatrix}$$

$$Vd = \frac{2}{3} [(1) \times (0,6613) + (-0,5) \times (-0,0570) + (-0,5) \times (-0,6042)] = 0,6606 \text{ pu}$$

$$Vq = \frac{2}{3} [(0) \times (0,6613) + (0,866) \times (-0,0570) + (-0,866) \times (-0,6042)] = 0,2126 \text{ pu}$$

$$Vo = \frac{2}{3} \left[\left(\frac{1}{2}\right) \times (0,6613) + \left(\frac{1}{2}\right) \times (-0,0570) + \left(\frac{1}{2}\right) \times (-0,6042) \right] = 0,0033 \text{ pu}$$

Setelah nilai sinyal tegangan dikonversikan ke dq0, maka selanjutnya Vd dibandingkan dengan Vd-ref yang bernilai 1 pu dan nilai Vq dibandingkan dengan Vq-ref yang bernilai 0

$$Vd = 1 - 0,6606 = 0,3394 \text{ pu}$$

$$Vq = 0 - 0,2126 = -0,2126 \text{ pu}$$

Kemudian nilai yang diperoleh ini dikonversikan kembali ke bentuk abc agar mendapat nilai Vr sebagai nilai referensi PWM.

$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 7200 & -\sin 7200 & 1 \\ \cos 7080 & -\sin 7080 & 1 \\ \cos 7320 & -\sin 7320 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,3394 \\ -0,2126 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Va(r) = [1 \times (0,3394) + 0 \times (-0,2126) + 1 \times 0] = 0,3394 \text{ pu}$$

$$Vb(r) = [(-0,5) \times (0,3394) + (0,866) \times (-0,2126) + 1 \times 0] = -0,3538 \text{ pu}$$

$$Vc(r) = [(-0,5) \times (0,3394) + (-0,866) \times (-0,2126) + 1 \times 0] = 0,0144 \text{ pu}$$

Setelah didapatkan nilai Vr, maka selanjutnya mencari modulasi amplitudo untuk mencari nilai keluaran VSI dengan menghitung perbandingan Vr dan Vc (*carrier*).

$$Ma = \frac{0,3394}{1,25} = 0,271$$

Nilai DC pada simulasi ini adalah sebesar 3750 V, sehingga keluaran tegangan pada VSI didapatkan dari perhitungan dibawah ini :

$$V_{LL}(rms) = 0,707 \times V_{dc} \times Ma$$

$$V_{LL}(rms) = 0,707 \times 3750 \times 0,271 = 718,48 \text{ V}$$

$$V_{LL}(max) = 718,48\sqrt{2} = 1.016 \text{ V}$$

Setelah nilai tegangan didapat, maka tegangan akan diinjeksikan pada sistem yang mengalami gangguan melalui transformator.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa D-STATCOM yang dipasang pada sistem distribusi PT. Dian Swastatika Sentosa dapat bekerja dengan baik karena mampu menaikkan tegangan yang turun menjadi mendekati 1 pu atau sebesar 96%. Hanya saja tegangan yang dihasilkan pada grafik setelah pemasangan D-STATCOM tidak begitu baik seperti saat sebelum pemasangan D-STATCOM.

4.2 Saran

Perlu adanya perbaikan ulang seperti pengembangan pemodelan agar dapat memperbaiki tegangan dengan sangat baik karena D-STATCOM merupakan alat yang memiliki investasi mahal sehingga harus diperhitungkan kelayakannya.

REFERENSI

- [1] Pawawoi, A. *Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sag) Akibat Pengasutan Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan Studi Kasus di PT. Abasiat Raya*. Prosiding Tugas Akhir. 2016. Vol.1, No.32.
- [2] Hartono, B. P., Soleh, C., & Hidayat, T. *Implementasi Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Voltage Sags Unbalance Menggunakan DVR di Gardu Induk Gresik*. Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri. 2016. ISSN : 2085-4218. No. 1–6.
- [3] Venkata, R., Dr. Narasimha Rao, K. *Power Quality Improvement Using Repetitive Controlled Dynamic Voltage Restorer for Varius Faults*. 2012. IJERA, ISSN: 2248-9622. Vol.2, Issue. 1
- [4] Singh, R., & Singh, D. K. *Simulation of D-STATCOM for voltage fluctuation*. 2012. Second
- [5] Rochman, C., Penangsang, O., and Aryani, N. K. *Manajemen Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV Kota Surabaya berbasis Geographic Information System (GIS) menggunakan Metode Algoritma Genetika*. 2017. Jurnal Teknik Elktro ITS. Vol. 6. No. 1. pp. 51–56.
- [6] Erhaneli. *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan Saidi Dan Saifi Pada PT.PLN (Persero) Rayon Bagan Batu Tahun 2015*. 2016. Jurnal. Tek. Elektro ITP. Vol. 5. No. 2. pp. 120–129.
- [7] Ronilaya, F. *Penilaian Kualitas Daya Sistem Kelistrikan PT. SAI-Pasuruan*. 2007. Jurnal Teknik Industri. Vol. 8. No. 2.
- [8] Prasetyadi, W., Wibowo, R. S., and Penangsang, O. *Evaluasi Harmonisa dan Perencanaan Filter Pasif pada Sisi Tegangan 20 kV Akibat Penambahan Beban pada Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Tuban*. 2012. Jurnal. Tek. ITS. Vol. 1. No. 1. pp. 1–6.
- [9] Winarso. *Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan Dynamic Voltage Restorer (DVR)*. 2013. Jurnal Ilmu Foristek. Vol. 3. No. 1. pp. 1–6.
- [10] Siregar, R. T., Penangsang, O., & Priyadi, A. *Analisis dan Proteksi Voltage Sag and Swell akibat Pengoperasian Motor dengan Kapasitas diatas 5000 kW Pada Sistem Kelistrikan P T Semen Gresik Pabrik Tuban IV*. 2009. pp. 1–6.
- [11] Siahaan, L. D., & Darma, U. *Studi pengaruh flicker pada industri*. 2019. Vol. vii. No. 21. pp. 40–54.
- [12] Putra, A. M. N., and Mirzazoni. *Desain Kendali pada D-STATCOM Menggunakan Sistem Kendali Hybrid*. 2018. Jurnal. Momentum. Vol. 20. No. 2.
- [13] Rinas, I. W. *Analisis Perbandingan Penggunaan Filter Pasif Dan Filter Aktif Untuk Menanggulangi Thd Pada Sistem Kelistrikan Di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana*. 2013. *Maj. Ilm. Tek. Elektro*. Vol. 10. No. 1.
- [14] Sunitha, J., and Ramesh, M. *UPQC Implements The 3-Phase Shunt And Series Active Power Filter To Compensate Current And Voltage Harmonics*. 2015. *Int. J. Sci. Eng. Adv. Technol*. Vol. 3. No. 5. pp. 181–186.