

SIMULASI PEMULIHAN KEDIP TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN ARUS HUBUNG SINGKAT MENGGUNAKAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)

Nizamul Muluk^{*)}, Agung Warsito, and Juningtyastuti

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail: nizam.muluk@gmail.com}

Abstrak

Masalah kualitas daya listrik merupakan masalah utama pada sistem tenaga listrik yang harus diatasi, salah satu permasalahan kualitas daya listrik adalah kedip tegangan, yang dapat disebabkan salah satunya oleh gangguan arus hubung singkat. Kedip tegangan dapat menyebabkan tegangan turun dalam waktu singkat dan menyebabkan daya aktif dan daya reaktif mengalami perubahan nilai. Untuk mengatasi terjadinya kedip tegangan, diperlukan alat yang dapat memulihkan kedip tegangan salah satunya adalah *Dynamic Voltage Restorer* (DVR). DVR ini posisinya dipasang secara seri antara sumber dan beban, DVR memiliki beberapa metode pengkompensasian kedip tegangan antara lain metode *pre-sag*, metode *in-phase* dan metode *in-phase advance compensation*. Pada penelitian ini simulasi DVR didesain dengan kontrol histerisis tegangan metode kompensasi *pre-sag* yang diterapkan pada sistem dengan dua feeder (feeder A dan B), DVR pada simulasi ini dirancang untuk melindungi beban di feeder B dari kedip tegangan. Kedip tegangan yang disimulasikan akibat gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah, dua fasa, dua fasa ketanah dan tiga fasa yang terjadi di feeder A pada detik 0,1 sampai detik 0,2 didekat beban. Hasil dari penelitian ini adalah DVR dapat mengkompensasi kedip tegangan yang terjadi menjadi stabil ($\pm 433,2$ V).

Kata kunci: kualitas daya listrik, kedip tegangan, *dynamic voltage restorer*, kontrol histerisis tegangan.

Abstract

Problem of electric power quality is a major problem in electric power system that must be solve, one of problems of electrical power quality is voltage sag, which can be caused either by interruption of short circuit current. Voltage sag causes voltage drops in a short time and causes active power and reactive power to change value. To overcome occurrence of voltage sag, needed tools that can recover voltage sag one of them is Dynamic Voltage Restorer (DVR). DVR is positioned in series between source and load, DVR has several voltage compensating methods such as pre-sag method, in-phase method and in-phase advance compensation. In this research DVR simulation is designed with hysteresis control of pre-sag compensation voltage applied to system with two feeders (feeder A and B), DVR in this simulation is designed to protect load in feeder B from voltage sag. Simulated voltage sag in this final project due to short circuit current interference one phase to ground, two phase, two phase to ground and three phase that occur in feeder A at 0.1 to 0.2 seconds near load. Result of this research is DVR can compensate voltage sag that happened to be stable ($\pm 433,2$ V).

Keyword: electric power quality, voltage sag, dynamic voltage restorer, hysteresis voltage control.

1. Pendahuluan

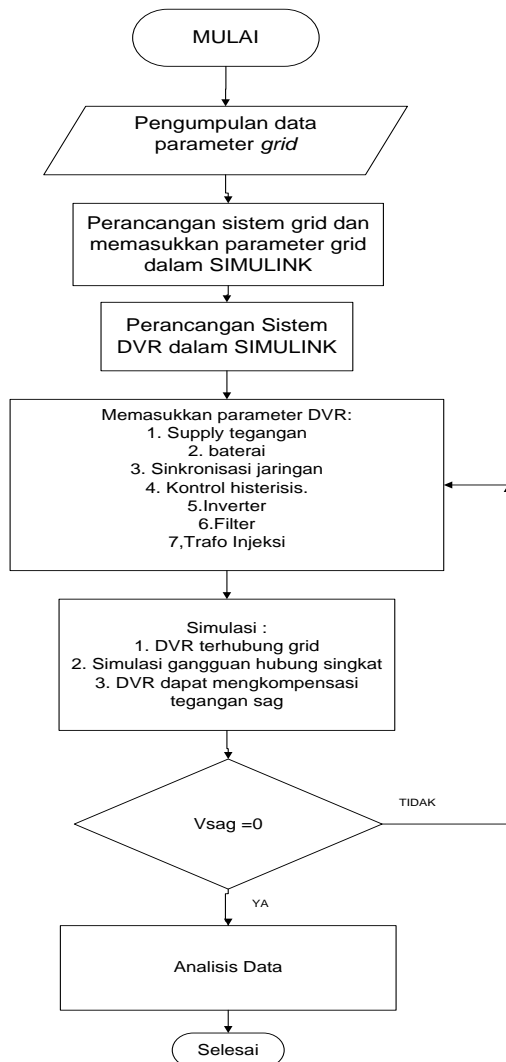
Indonesia merupakan negara berkembang, yang saat ini membutuhkan peningkatan produktifitas dalam industri, untuk mencapai produktifitas yang tinggi, industri membutuhkan komponen elektronika daya, dimana komponen elektronika daya tersebut merupakan peralatan yang sensitif yang harus *disupply* oleh tegangan yang mempunyai frekuensi maupun *magnitude* dalam kondisi

konstan [1]. Komponen elektronika daya tersebut membutuhkan penyediaan daya yang berkualitas tinggi [2],[3], karena komponen elektronika daya sangat sensitif terhadap gangguan-gangguan elektromagnetik [4]. Adanya gangguan dapat mengakibatkan penurunan atau masalah kualitas daya sistem tenaga listrik, kegagalan dalam menyediakan kualitas daya yang tinggi dapat mengakibatkan kegagalan beroperasinya peralatan atau

bahkan *shutdown* pada suatu sistem, masalah kualitas daya antara lain: *voltage sag* (kedip tegangan), *flicker*, ketidakseimbangan tegangan, pemutusan dan masalah harmonisa. Kedip tegangan didefinisikan sebagai penurunan nilai *root mean square* (RMS) tegangan yang dapat terjadi dari 10 ms sampai ke 1 menit dengan kedalaman jatuhnya tegangan sebesar 0,9 pu sampai 0,1 pu dari 1 pu nominal berdasarkan standar IEEE 1159-1995 [5]. Kedip tegangan merupakan salah satu faktor penyebab berkurangnya kualitas daya listrik, salah satu penyebab terjadinya kedip tegangan karena adanya arus hubung singkat. Oleh sebab itu dilakukan antisipasi apabila terjadi tegangan kedip pada sisi sistem tidak akan mengakibatkan terganggunya tegangan pada sisi beban. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) [6],[7].

2. Metode

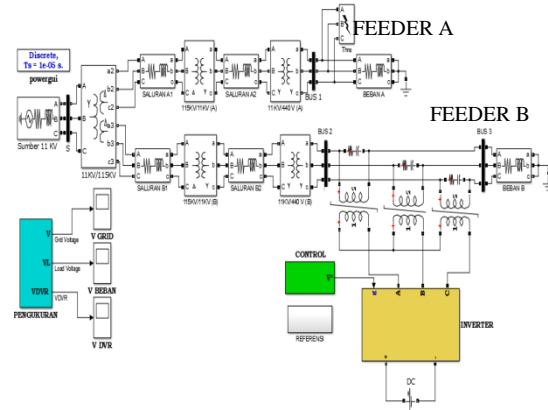
2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.2. Desain Sistem

Desain sistem DVR terhubung *grid* yang ditunjukkan oleh Gambar 2

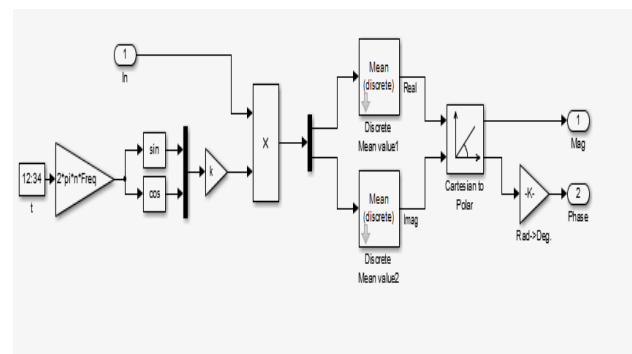


Gambar 2 Desain sistem.

Rangkaian DVR terdiri dari baterai, inverter, kontrol histerisis dan trafo injeksi yang terhubung ke *grid*.

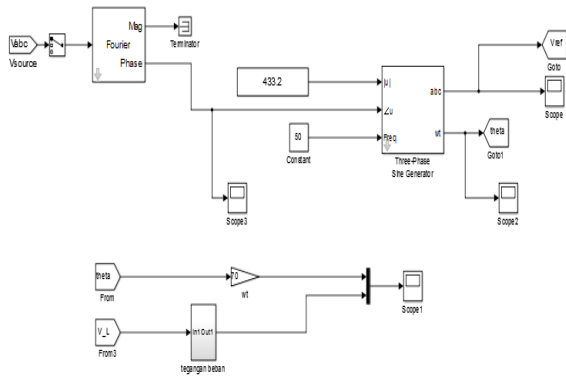
Tabel 1. Data Sistem *grid* [6]

No	Parameter	Standar
1	Supply 3 fasa	11KV, 50 Hz
2	Trafo step up	Y/Δ/Δ, 11/115/115 KV
3	Impedansi saluran	R=0.001Ω L=1.33 μH
4	Trafo step down	Δ/Y 115/11 KV
5	Beban	Y/Y 11 KV/440 V R=14 Ω, L=1mH



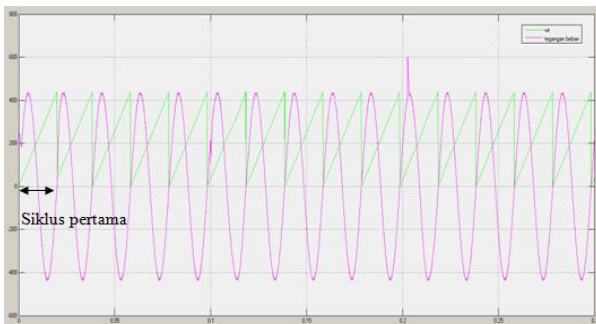
Gambar 3. Rangkaian pendeteksian fasa

Proses pertama dalam pengkompensasian kedip tegangan adalah pendeteksian fasa tegangan *grid* dengan menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang ditunjukkan pada gambar 3, pendeteksian fasa ini bertujuan agar tegangan yang diinjeksikan akan sama dengan tegangan di sistim (*grid*) atau bisa disebut sinkronisasi dan sebagai pembanding di rangkaian kontrol histerisis.



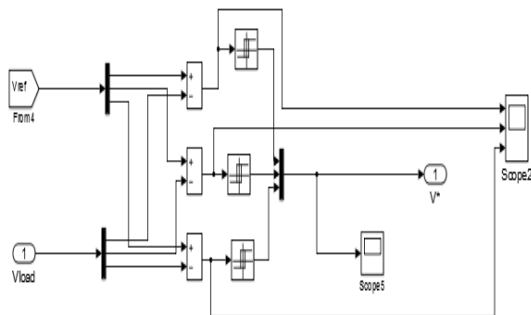
Gambar 4. Rangkaian pembuat tegangan referensi

Setelah pendeteksian fasa, maka langkah selanjutnya adalah membuat tegangan referensi yang ditunjukkan gambar 4, tegangan referensi ini berguna untuk pembandingan tegangan *actual* yang mengalami kedip tegangan di rangkaian kontrol histerisis.



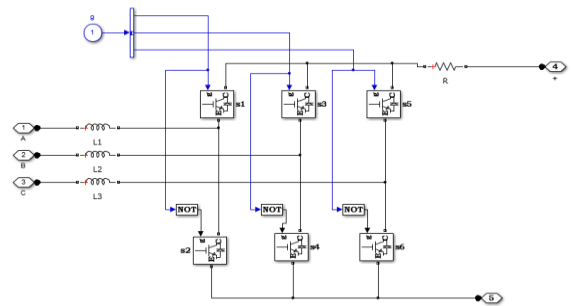
Gambar 5. Tegangan referensi

Gambar 5 menunjukkan tegangan referensi yang dihasilkan dari rangkaian pembuat tegangan, dapat dilihat bahwa pada satu siklus pertama (360°) antara gelombang tegangan referensi dan *wt* (fasa) *grid* belum sinkron, namun setelah satu siklus tersebut, gelombang tegangan dan *wt* sudah sinkron hal ini yang disebut dengan proses sinkronisasi. Tegangan referensi ini akan masuk kedalam rangkaian kontrol histerisis untuk dibandingkan dengan tegangan *actual*.



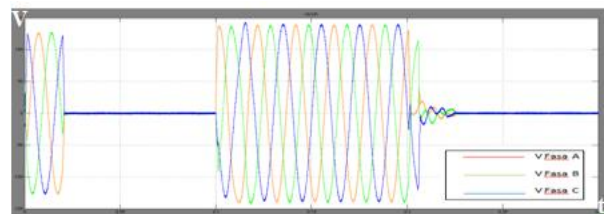
Gambar 6. Rangkaian kontrol histerisis

Kemudian setelah didapatkan tegangan referensi, dilakukan pembandingan antara tegangan referensi dengan tegangan *actual* dengan menggunakan rangkaian kontrol histerisis yang ditunjukkan pada gambar 6, hasil dari perbandingan tegangan referensi dan tegangan *actual* akan menghasilkan tegangan selisih atau bisa disebut tegangan *error*, tegangan *error* ini akan masuk ke *hysteresis switching pattern*, dan akan mengeluarkan output berupa sinyal *switching inverter*.



Gambar 7. Rangkaian Inverter.

Sinyal *switching* yang dihasilkan oleh kontrol histerisis akan digunakan untuk pemicuan *inverter* tiga fasa. Tagangan outputan *inverter* tiga fasa ini akan diinjeksikan ke *grid* menggunakan trafo injeksi.



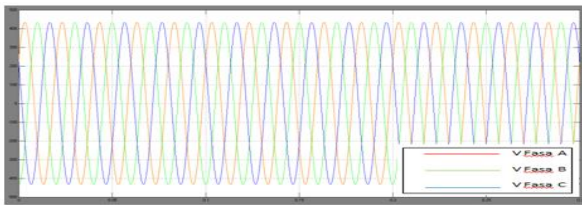
Gambar 8. Tegangan keluaran trafo injeksi

Gambar 8 menunjukkan tegangan keluaran trafo injeksi, dapat dilihat bahwa pada satu siklus pertama DVR menginjeksi tegangan, hal ini dikarenakan proses sinkronisasi.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Simulasi Kedip Tegangan

Langkah awal pada penelitian ini adalah dengan mensimulasikan sistem yang sudah terpasang DVR tanpa gangguan arus hubung singkat untuk mengetahui nilai tegangan *actual* akibat rugi-rugi saluran, berikut merupakan tegangan sistem tanpa pengaruh gangguan arus hubung singkat.



Gambar 9. Tegangan *actual* tanpa gangguan arus hubung singkat

Gambar 9. menunjukkan tegangan *actual* sistem yaitu mempunyai besar tegangan 433,2 Volt, langkah selanjutnya dengan mensimulasikan terjadinya kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah, dua fasa, dua fasa ketanah dan tiga fasa.

Tabel 2. Hasil simulasi arus hubung singkat

Parameter arus hubung singkat	Hasil Simulasi (A)
Satu fasa ketanah	46,933
Dua fasa	28542
Dua fasa ketanah	28576
Tiga fasa	33005

Dari variasi gangguan arus hubung singkat pada tabel 2, mengakibatkan kedip tegangan di bus 2 *feeder B*.

Tabel 3. Hasil simulasi kedip tegangan *feeder B* bus 2

Parameter Gangguan	Tegangan BUS 2 (V)		
	FASA A	FASA B	FASA C
Satu fasa ketanah	433,09	433,2	433,2
Dua fasa	192,15	379,3	394,9
Dua fasa ketanah	192,134	376,125	393,15
Tiga fasa	192	192	192

Tabel 4. Respon daya aktif dan daya reaktif *feeder B* bus 2

GANGGUAN HUBUNG SINGKAT	DAYA AKTIF	DAYA REAKTIF
Satu fasa ketanah	Tidak terjadi respon	Tidak terjadi respon
Dua fasa	Terjadi Osilasi	Terjadi Osilasi
Dua fasa ketanah	Terjadi Osilasi	Terjadi Osilasi
Tiga fasa	Terjadi Penurunan	Terjadi Penurunan

Tabel 3 menunjukkan kedip tegangan yang terjadi pada *feeder B* bus 2 akibat arus hubung singkat yang terjadi, besarnya kedip tegangan dipengaruhi oleh jenis gangguan arus hubung singkat. Pada gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah menyebabkan terjadinya kedip tegangan yang relative kecil (0,11 V), yang menyebabkan fasa A mengalami penurunan tegangan dari nilai 433,2 V menjadi 433,09 V. Pada gangguan arus hubung singkat dua fasa menyebabkan tegangan bus 2 mengalami penurunan nilai tegangan pada masing-masing fasa dari tegangan normal (433,2 V) menjadi 192,15 untuk fasa A, 379,3 V untuk fasa B, dan 394,9 V untuk fasa C. Pada gangguan arus hubung singkat dua fasa ketanah menyebabkan tegangan bus 2 mengalami penurunan nilai tegangan pada masing-masing fasa dari tegangan normal (433,2 V) menjadi 192,13 untuk fasa A, 376,125 V untuk fasa B, dan 393,15 V untuk fasa C. Pada gangguan arus hubung singkat tiga fasa menyebabkan tegangan pada

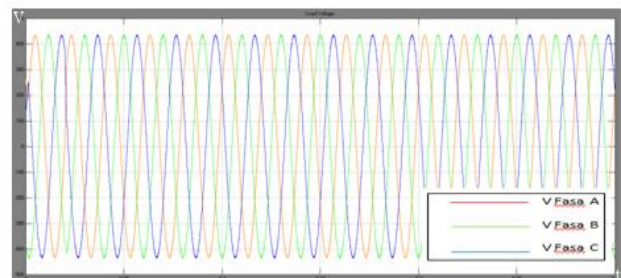
setiap fasa mengalami penurunan nilai dari tegangan normal (433,2 V) menjadi 192 V. Kedip tegangan ini akan mempengaruhi nilai dari daya aktif dan daya reaktif seperti pada tabel 3.

Tabel 4 menunjukkan respon daya aktif dan daya reaktif beban terhadap terjadinya kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat. Pada saat terjadi gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah, pada detik 0,1 sampai detik 0,2 nilai daya aktif dan daya reaktif masih stabil tidak mengalami osilasi maupun penurunan nilai, hal ini dikarenakan arus hubung singkat satu fasa ketanah yang kecil yaitu sebesar 46,933 Ampere, pada saat terjadi gangguan dua fasa dan dua fasa ketanah didapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif beresilasi, daya aktif beresilasi dari nilai 10.000 Watt ke 3630 Watt pada detik 0,1 sampai detik 0,2 dan daya reaktif beresilasi dari nilai 8000 VAR ke 1500 VAR, daya aktif dan daya reaktif gangguan arus hubung singkat dua fasa dan dua fasa ketanah mempunyai nilai yang sama, dikarenakan antara gangguan arus hubung singkat dua fasa dan dua fasa ketanah mempunyai nilai terpaud sedikit yaitu 28542 Ampere dan 28576 Ampere. Saat terjadi gangguan arus hubung singkat tiga fasa, daya aktif dan daya reaktif mengalami penurunan nilai, penurunan daya aktif dari nilai 9900 Watt menjadi 4400 Watt dan penurunan daya reaktif dari nilai 6040 VAR menjadi 2650 VAR.

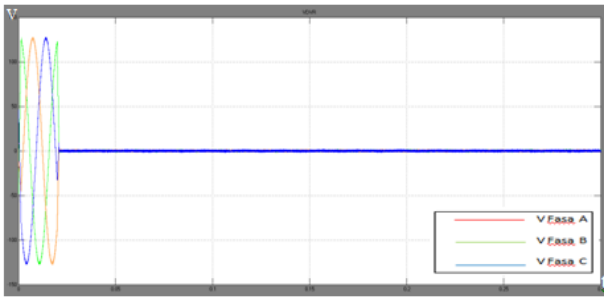
3.2. Simulasi kompensasi kedip tegangan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai kompensasi kedip tegangan yang terjadi di *feeder B* bus 2 akibat arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada *feeder A* didekat beban.

3.2.1. Kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah



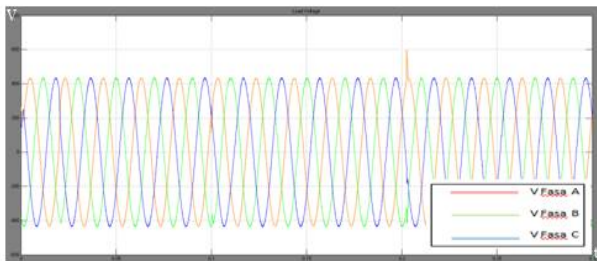
Gambar 10. Tegangan *feeder B* bus 3 saat sudah dikompensasi oleh DVR



Gambar 11. Tegangan injeksi DVR, saat proses pengkompensasian kedip tegangan akibat arus hubung singkat satu fasa ketanah

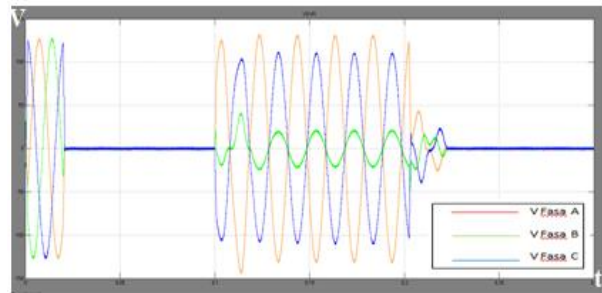
Gambar 11 menunjukkan tegangan injeksi DVR pada saat kompensasi kedip tegangan, dapat dilihat bahwa DVR tidak menginjeksi tegangan pada saat terjadi gangguan arus hubung singkat satu fasa ketanah pada detik 0,1 sampai detik 0,2, hal ini disebabkan karena kedip tegangan yang terjadi bernilai kecil yaitu sebesar 0,11 V yang menyebabkan DVR tidak mendeteksi adanya kedip tegangan. Pada siklus pertama (360^0) merupakan proses sinkronisasi DVR sehingga DVR menginjeksi tegangan *line to neutral* sebesar 130 V.

3.2.2. Kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat dua fasa



Gambar 12. Tegangan *feeder* B bus 3 saat sudah dikompensasi oleh DVR dari kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat dua fasa

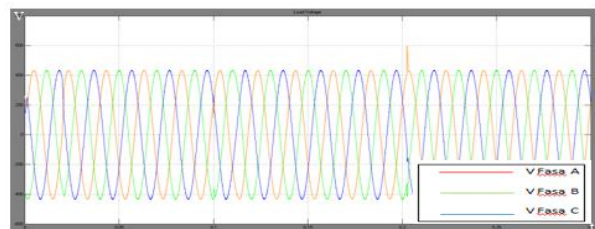
Gambar 12 menunjukkan tegangan di bus 3 yang sudah dikompensasi oleh DVR yang bernilai konstan pada kondisi normal (433,2 V), tegangan di bus 3 dapat dilihat bahwa tidak terjadi kedip tegangan yang dialami di bus 2 (tabel 2) karena gangguan arus hubung singkat dua fasa, hal ini dikarenakan bus 3 terletak disebelah kanan (setelah) DVR.



Gambar 13. Tegangan injeksi DVR saat proses pengkompensasian kedip tegangan akibat arus hubung singkat dua fasa

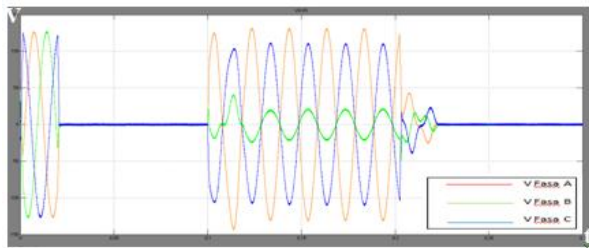
Gambar 13 menunjukkan tegangan injeksi DVR saat proses kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat dua fasa, dapat dilihat bahwa pada 0-0,02 detik (1 siklus), DVR menginjeksi tegangan *line to neutral* sebesar 130 V karena pada waktu ini merupakan waktu sinkronisasi DVR yang bertujuan untuk menyamakan fasa tegangan DVR dengan fasa *grid*. Pada detik 0,1 sampai detik 0,2 DVR menginjeksi tegangan untuk mengkompensasi kedip tegangan akibat gangguan dua fasa, pada saat kompensasi DVR menginjeksikan tegangan *line to neutral* untuk fasa A sebesar 131,63 V, fasa B sebesar 111,18 V, fasa C sebesar 22 V.

3.2.3. Kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat dua fasa ketanah



Gambar 14. Tegangan *feeder* B bus 3 saat sudah dikompensasi oleh DVR dari kedip tegangan akibat gangguan dua fasa ketanah

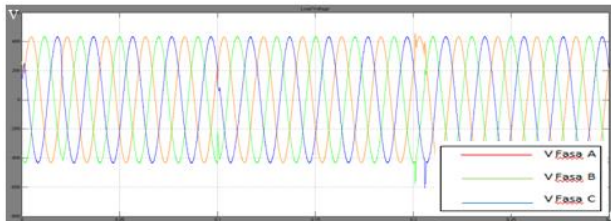
Gambar 14 menunjukkan tegangan di bus 3 yang sudah dikompensasi oleh DVR yang bernilai konstan pada kondisi normal (433,2 V), tegangan di bus 3 dapat dilihat bahwa tidak terjadi kedip tegangan seperti pada bus 2 (tabel 2) karena arus hubung singkat dua fasa ketanah, hal ini dikarenakan bus 3 terletak disebelah kanan (setelah) DVR, sehingga tegangan bus 3 terkompensasi oleh tegangan DVR.



Gambar 15. Tegangan injeksi DVR saat proses pengkompensasian kedip tegangan akibat arus hubung singkat dua fasa ketanah

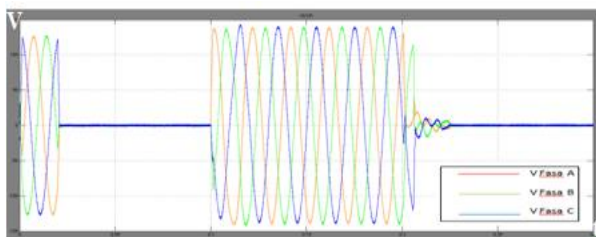
Gambar 15 menunjukkan tegangan injeksi DVR saat proses kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat dua fasa ketanah, dapat dilihat bahwa pada detik 0-0,02 detik (1 siklus), DVR menginjeksi tegangan karena pada aktu ini merupakan waktu sinkronisasi DVR yang bertujuan untuk menyamakan fasa tegangan DVR dengan fasa *grid*, DVR menginjeksi tegangan *line to neutral* untuk fasa A sebesar 131,5 V, fasa B sebesar 111 V, dan fasa C sebesar 22 V.

3.2.4. Kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat tiga fasa



Gambar 16. Tegangan feeder B bus 3 saat sudah dikompensasi oleh DVR dari kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat tiga fasa

Gambar 16 menunjukan tegangan di bus 3 yang sudah dikompensasi oleh tegangan DVR (gambar 17) sehingga bernilai konstan pada kondisi normal, tegangan di bus 3 dapat dilihat bahwa tidak terjadi kedip tegangan seperti pada bus 2 (tabel 2) karena arus hubung singkat tiga fasa, hal ini dikarenakan bus 3 terletak disebelah kanan (setelah) DVR.



Gambar 17. Tegangan injeksi DVR saat proses pengkompensasian kedip tegangan akibat arus hubung singkat tiga fasa

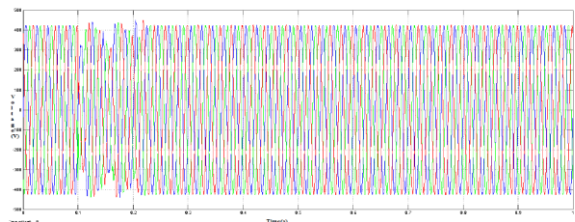
Gambar 17 menunjukkan tegangan injeksi DVR saat proses kompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat tiga fasa, dapat dilihat bahwa pada 0-0,02 detik (1 siklus), DVR menginjeksi tegangan *line to neutral* sebesar 130 V, karena pada waktu ini merupakan waktu sinkronisasi DVR yang bertujuan untuk menyamakan fasa tegangan DVR dengan fasa *grid*. Pada detik 0,1 sampai detik 0,2 DVR menginjeksi tegangan untuk mengkompensasi kedip tegangan akibat gangguan tiga fasa, DVR menginjeksikan tegangan *line to neutral* sebesar 140 V.

Tabel 5. Perbandingan tegangan bus 2 dan bus 3

Parameter Gangguan	Tegangan BUS 2 (V)			Tegangan BUS 3 (V)		
	FASA A	FASA B	FASA C	FASA A	FASA B	FASA C
Satu fasa ketanah	433,09	433,2	433,2	433,2	433,2	433,2
Dua fasa	192,15	379,3	394,9	433,2	433,2	433,2
Dua fasa ketanah	192,13	376,1	393,15	433,2	433,2	433,2
Tiga fasa	192	192	192	433,2	433,2	433,2

Tabel 5 menunjukan perbandingan antara tegangan bus 2 dan bus 3, dapai dilihat bahwa nilai tegangan bus 2 masih mengalami kedip tegangan dan bus 3 sudah pada nilai stabil yaitu 433,2 Volt. Hal ini terjadi karena DVR mengkompensasi tegangan menuju kearah beban, sehingga bus 3 yang terkompensasi. Dengan stabilnya nilai tegangan pada beban, maka nilai daya aktif dan daya reaktif pada beban juga tetap stabil, yaitu daya aktif tetap stabil pada nilai 9900 Watt, dan daya reaktif tetap stabil pada nilai 6040 VAR.

3.2.5. Perbandingan dengan metode terdahulu



Gambar 18. tegangan beban setelah dikompensasi dengan DVR metode kontrol PI[6]

Pada gambar 18 menunjukan bahwa metode kompensasi tegangan dengan menggunakan kontroler PI hasil kompensasinya belum sempurna, karena masih terdapat kedip tegangan, sedangkan metode kontrol histerisis tegangan dengan pendeteksian fasa pada gambar 16 sudah menunjukan bahwa kompensasi terhadap gangguan arus hubung singkat tiga fasa sudah dikompensasi dengan baik.

4. Kesimpulan

Dari pembahasan penelitian ini yaitu simulasi kompensasi kedip tegangan akibat gangguan satu fasa ketanah, dua fasa, dua fasa ketanah dan tiga fasa dengan menggunakan DVR kontrol histerisis tegangan metode kompensasi *in-phase*, didapatkan nilai tegangan bus 3 yang sudah terkompensasi dan stabil ($\pm 433,2$ V) untuk semua jenis gangguan arus hubung singkat, pada kedip tegangan akibat arus hubung singkat satu fasa ketanah tidak terlihat terjadi injeksi tegangan oleh DVR menggunakan scope karena kedip tegangan yang terjadi relatif kecil yaitu sebesar 0,11 V, untuk kedip tegangan akibat arus hubung singkat dua fasa DVR menginjeksikan tegangan *line to neutral* untuk fasa A sebesar 131,63 V, fasa B sebesar 111,18 V, fasa C sebesar 22 V. Pada kompensasi kedip tegangan akibat arus hubung singkat dua fasa ketanah, DVR menginjeksikan tegangan *line to neutral* untuk fasa A sebesar 131,5 V, fasa B 111 V, dan fasa C 22 V, sedangkan untuk kompensasi kedip tegangan akibat arus hubung singkat tiga fasa, DVR menginjeksikan tegangan *line to neutral* sebesar 140 V untuk setiap fasa. Dengan stabilnya tegangan maka nilai daya aktif dan daya reaktif juga bernilai stabil.

Perbandingan metode menggunakan PI dengan metode kontrol histerisis tegangan didapatkan hasil, bahwa metode kontrol menggunakan PI belum sempurna dalam mengkompensasi kedip tegangan akibat gangguan arus hubung singkat tiga fasa, sedangkan metode kontrol histerisis dengan pendeteksian fasa sudah berhasil dalam mengkompensasi kedip tegangan akibat arus gangguan tiga fasa dan juga dapat mengkompensasi kedip tegangan akibat arus hubung singkat satu fasa ketanah, dua fasa dan dua fasa ketanah.

Referensi

- [1]. Sankran C, "Power Quality" ISBN 0-8493-1040-7, 2001
- [2]. Dugan, and others, "Electrical Power System Quality", Mc. Graw Hill, 2002.
- [3]. N. R. Patne and K. L. Thakre, "Factor Affecting Characteristic of Voltage Sag Due to Fault in Power System," vol. 5, no. 1, pp. 171–182, 2008.
- [4]. M. Mcgranaghan and D. Mueller, "PLANT VOLTAGE DURING SINGLE LINE- TO-GROUND FAULTS ON UTILITY," no. Figure 3, pp. 1–8.
- [5]. IEEE Std 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality". 1995.
- [6]. S. Saravanan, M. Solaimanigandan, T. Tharaneetharan, V. Varunraj, and S. Parthasarathy, "Dynamic Voltage Restorer for Distribution System," vol. 7, no. 1, pp. 14–24, 2013.
- [7]. K.Swaroop, and others "MITIGATION OF VOLTAGE SAG USING DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) WITH HYSTERESIS VOLTAGE CONTROL," pp. 9605–9610, 2015.