

SIMULASI *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER* UNTUK KOMPENSASI TEGANGAN DIP PADA DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Ezwarsyah¹, Salahuddin²

^{1,2} Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh
Jln. Batam No. 16 Kampus Bukit Indah Muara Satu - Lhokseumawe.
Email: ezwarsyah@yahoo.com

Abstrak— Pada penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengkompensasi tegangan dip dengan kompensasi seri menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) pada saluran distribusi sistem tenaga listrik untuk mengamankan beban-beban sensitif dari tegangan dip. Metode kendali yang diajukan adalah *closed loop control proporsional integral*. Simulasi DVR akan dilakukan pada feeder level tegangan menengah 20 kV untuk beban linier dan nonlinier. Model jaringan distribusi yang digunakan adalah penyulang LG 10 Lhokseumawe. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Dynamic Voltage Restorer* mampu mengkompensasi gangguan tegangan dip 50% dan 70% untuk melindungi beban sensitif di sisi konsumen. DVR dengan menggunakan kendali PI controller dan P+resonant controller mampu menghasilkan tegangan output yang sesuai mengkompensasi gangguan tegangan dip pada beban linier maupun pada beban non linier. Pada kondisi tegangan dip 50%, *Total Harmonics Distortion* (THD) tegangan DVR menjadi naik dari 12, % pada beban linier menjadi 25, % pada kondisi beban non-linier. Selanjutnya pada kondisi tegangan dip 70%, *Total Harmonics Distortion* (THD) tegangan DVR menjadi naik dari 12, % pada beban linier menjadi 25, % untuk beban non-linier.

Keywords— DVR, tegangan dip, distribusi tenaga listrik.

I. PENDAHULUAN

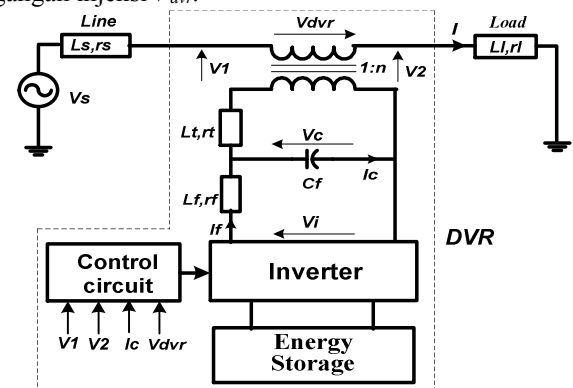
Dynamic Voltage Restorer (DVR) adalah dipasang pada saluran distribusi sistem tenaga listrik untuk mengamankan beban-beban sensitif dari tegangan dip (*voltage sag*). Sistem DVR terdiri dari beberapa bagian yaitu: inverter, filter output inverter, sumber tegangan dc dari *energy storage*, transformator injeksi tegangan dan rangkaian kendali.

Rangkaian filter pada sistem DVR dipasang untuk tujuan menghilangkan *noise swiching* frekuensi tinggi yang disebabkan oleh *swiching* rangkaian inverter. Rangkaian filter terdiri dari induktor, resistansi induktor dan kapasitor. Rangkaian filter yang dipasang tersebut akan menyebabkan timbul resonansi frekuensi tinggi disekitar frekuensi cutoff filter. Pada beban nonlinier yang menimbulkan arus harmonisa frekuensi tinggi disekitar frekuensi cutoff filter akan menyebabkan juga resonansi frekuensi tinggi secara kontinyu pada tegangan DVR.

II. DASAR TEORI

Prinsip dasar operasi kerja DVR adalah menginjeksikan tegangan V_{dvr} secara seri melalui transformator injeksi ketika terdeteksi gangguan tegangan dip pada sisi sumber V_1 , sehingga tegangan sisi beban V_2 akan tetap kondisi normal walaupun ada gangguan tegangan dip di sisi sumber.

Pada gambar 1. memperlihatkan diagram representasi satu fasa DVR yang terhubung pada sistem distribusi tenaga listrik. Tegangan sisi beban V_2 dikontrol oleh DVR melalui tegangan injeksi V_{dvr} .



Gambar 1. Topologi sistem DVR representasi satu fasa

$$V_i = V_c + I_f r_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$I_f = I_c + nI_l \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$I_c = C_f \frac{dV_c}{dt} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{dvr} = n \left(V_c - n(r_l I_l + L_l \frac{dI_l}{dt}) \right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$V_2 = V_1 + V_{dvr} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- V_i = Tegangan Inverter
- V_c = Tegangan Kapasitor
- I_f = Arus Filter
- I_c = Arus Kapasitor
- I_l = Arus Beban
- V_1 = Tegangan sisi sumber
- V_2 = Tegangan sisi beban
- V_{dvr} = Tegangan injeksi DVR
- C_f = Kapasitansi filter
- L_f, r_f = Induktansi filter, resistansi filter
- L_l, r_l = Induktansi beban, resistansi beban
- L_t, r_t = Induktansi dan resistansi trafo

Berdasarkan persamaan (1) sampai dengan persamaan (5) akan dipakai sebagai dasar untuk rangkaian kendali DVR, pada penelitian ini memakai model *closed loop*. Pertimbangan utama dari rangkaian kendali DVR meliputi: deteksi tegangan dip yaitu V_1 sisi sumber dan V_2 sisi beban untuk input sinyal kendali, deteksi tegangan output DVR V_{dvr} dan arus I_c filter output inverter untuk sinyal feedback ke rangkaian kendali.

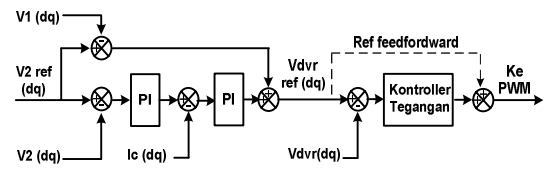
Secara umum model kontroller klasik *Proportional Integral (PI)* kontroller masih banyak dipakai pada rangkaian kontrol DVR, karena kontroller ini dapat menghemat peralatan-peralatan sensor pada sistem DVR untuk model implementasinya. Model rangkaian kontrol yang digunakan pada simulasi ini yaitu model *closed loop control*. Kekurangan model kkendali ini adalah tidak dapat meredam pengaruh resonansi frekuensi tinggi yang terjadi pada saat *starting* dan *recovery* tegangan injeksi DVR.

Pada model kontroller *PI*, jika gain kontroller terlalu besar untuk mendapatkan *steady state* yang baik maka respon transien tegangan injeksi DVR akan kurang baik, akan tetapi sebaliknya jika gain terlalu kecil maka performansi *steady state* akan kurang baik. Dengan alasan tersebut maka diajukan penggunaan *P+resonant* kontroller bentuk stationeri dari bentuk sinkronous *PI* kontroller untuk *voltage controller* pada sinyal feedback V_{dvr} [1,2]. Persamaan *P+resonant* kontroller dapat di tulis:

$$G_{pr}(s) = k_p + \frac{2k_i \omega_{cut} s}{s^2 + 2\omega_{cut} s + \omega_o^2} \quad \dots\dots (6)$$

Keterangan:

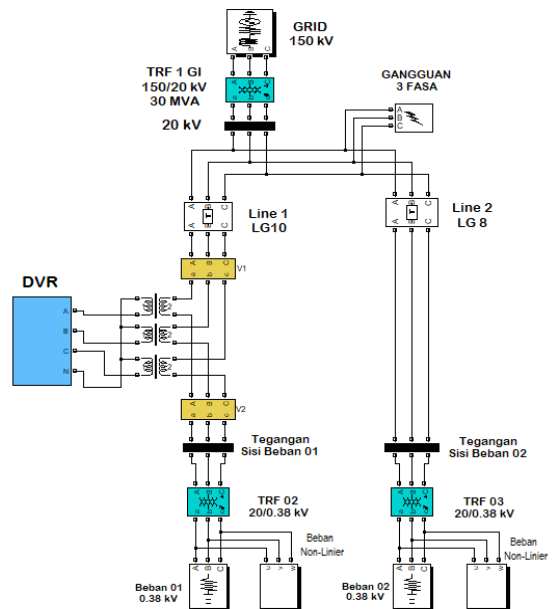
- k_p = Proporsional gain.
- k_i = Integral gain.
- ω_{cut} = Cutoff bandwidth
- ω_o = $2\pi f$



Gambar 2. Rangkaian kendali DVR.

Konfigurasi rangkaian kontrol DVR yang dipergunakan pada simulasi ini seperti pada gambar 2. Pada model ini sinyal kendali sudah ditransformasikan dari V_{abc} ke V_{dq0} sebelum diinputkan ke rangkaian kendali DVR.

Simulasi dilakukan untuk kompensasi gangguan tegangan dip 50% dan 70% untuk beban linier dan beban non-linier. Beban non-linier terdiri dari *dioda rectifier*, resistor 53Ω . Permodelan dan simulasi menggunakan *Matlab Simulink*. Konfigurasi sistem simulasi ini berupa model sistem distribusi Penyulang LG 10 Lhokseumawe, seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Model rangkaian simulasi DVR

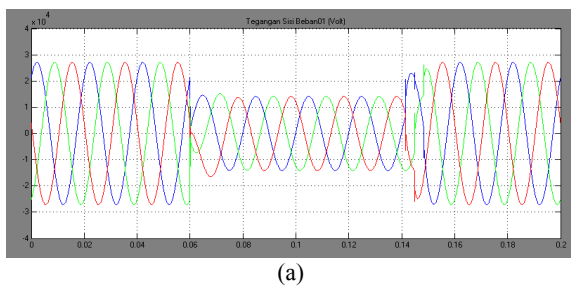
Parameter simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagiannya meliputi sebagai berikut:

- Tegangan Grid 150kV, 1500 MVA_{sc}
- Trafo 01 Δ / Y 1500/20kV, 60 MVA
- Trafo 02 Δ / Y 20/0.38kV, 315 kVA
- Trafo 03 Δ / Y 20/0.38kV, 315 kVA
- Trafo Injeksi 70 kVA, 2/20kV
- Beban 01 = 300 kVA, Beban 02 = 300 kVA
- Filter, $L = 240 \mu H$, $r = 0.025 \Omega$, $C = 106 \mu F$
- Vdc 2 x 1800Volt dan swicthing frekuensi 5 kHz

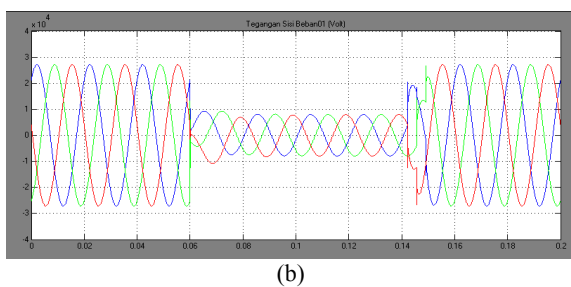
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan untuk model beban linier dan nonlinier dengan persentase tegangan dip 50% dan 70% dari tegangan sistem 20kV, jenis gangguan hubung singkat tiga fasa pada feeder 2.

Menggunakan model gangguan tiga fasa pada pada penyulang lain dalam satu gardu hubung maka dihasilkan tegangan dip 50% dan 70% seperti pada gambar 4. Pada gambar 5 tegangan injeksi DVR saat kompensasi tegangan dip. Dari hasil simulasi didapat profile tegangan injeksi DVR untuk beban linier dengan tegangan dip 50% dan 70%, dan kondisi beban 01 yang dikompensasi dan beban 02 yang tidak dikompensasi oleh DVR berturut-turut seperti yang terlihat pada gambar 5 dan 6.

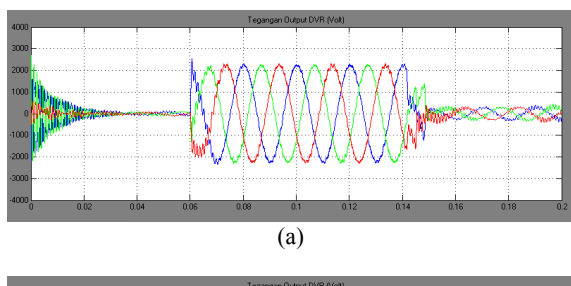


(a)

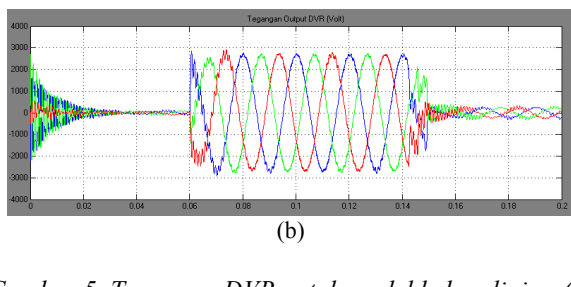


(b)

Gambar 4. Tegangan dip (a) dip 50% dan (b) dip 70% pada sisi sumber.

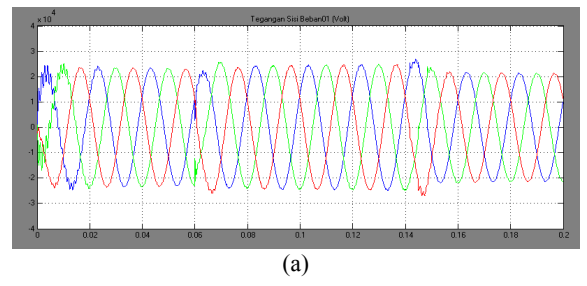


(a)

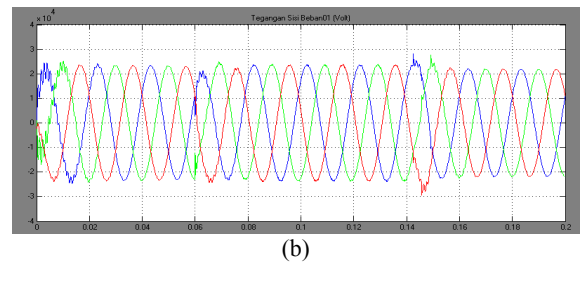


(b)

Gambar 5. Tegangan DVR untuk model beban linier, (a) tegangan DVR untuk dip 50% dan (b) tegangan DVR untuk dip 70%



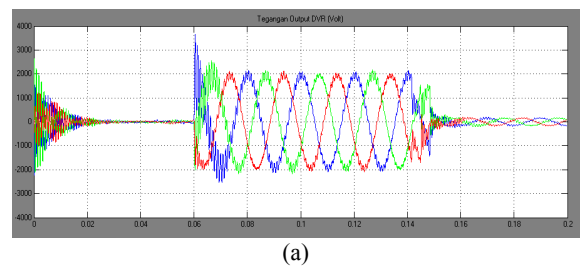
(a)



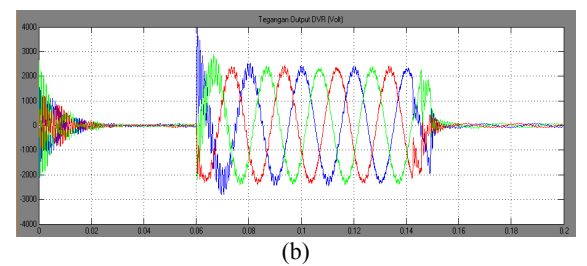
(b)

Gambar 6. Tegangan pada beban 01 yang dikompensasi (a) kompensasi 50% dip dan (b) kompensasi 70% dip.

Model beban non-linier dengan persentase tegangan dip 50% dan 70% dari tegangan sistem 20kV, dan untuk jenis gangguan hubung singkat tiga fasa pada feeder 2, dapat dilihat hasilnya seperti gambar berikut.

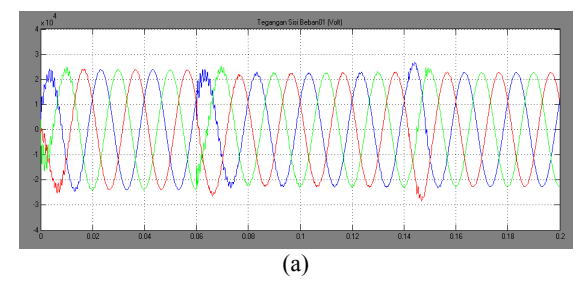


(a)

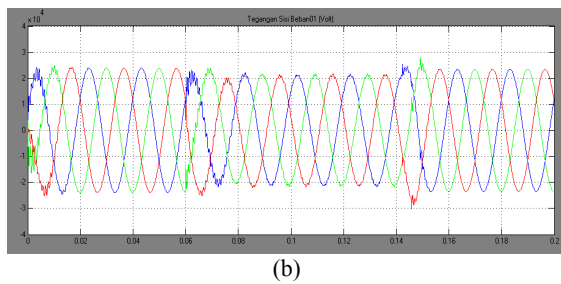


(b)

Gambar 7. Tegangan DVR untuk model beban non-linier, (a) tegangan DVR untuk dip 50% dan (b) tegangan DVR untuk dip 70%.



(a)



Gambar 8. Tegangan pada beban 01 non-linier yang dikompensasi (a) kompensasi 50% dip dan (b) kompensasi 705 dip.

Pada gambar 7, dengan jenis beban non-linier maka terlihat bahwa tegangan injeksi DVR pada strating injeksi terdapat osilasi transien yang lebih tinggi dibandingkan dengan gambar 5, pada jenis beban linier. Sedangkan pada gambar 8, a dan b, memperlihatkan bahwa tegangan sisi beban 01 sudah tidak terjadi tegangan dip karena adanya pemasangan DVR.

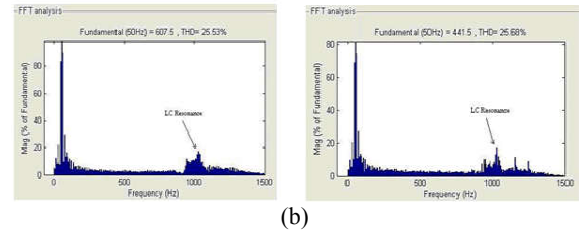
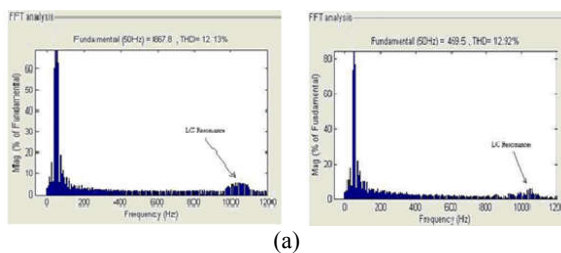
Simulasi kompensasi tegangan dip menunjukkan DVR mampu mengkompensasi tegangan dip baik 50% maupun dip 70% sehingga pada sisi beban V_2 tegangan masih pada keadaan normal meskipun terjadi gangguan pada sisi sumber. Hal ini menunjukkan bahwa beban 01 dapat terlindungi dari gangguan tegangan dip.

Dari Tabel 1. Adalah tabulasikan hasil pengukuran tegangan sisi suplai saat keadaan normal (sebelum gangguan) dalam per unit dari base 20 KV, tegangan saat gangguan tegangan dip 50%, dan tegangan DVR pada sisi sistem.

Tabel 1. Hasil pengukuran pada simulasi kompensasi tegangan dip, jenis gangguan hubung singkat tiga fasa.

V	V1 (pu)	V dip 50% (pu)	V (pu)	V dip 70% (pu)	V Dvr (pu)
Vab	1.18	0.56	0.54	0.82	0.28
Vbc	1.18	0.56	0.54	0.82	0.28
Vca	1.18	0.56	0.54	0.82	0.28

Sumber: Hasil pengukuran simulasi pada tegangan base 20kV



Gambar 9. Grafik persentase THD tegangan DVR (a). Tegangan dip 50% dan 70% untuk beban linier, (b) Tegangan dip untuk beban non-linier.

Tabel 2. Persentase THD tegangan DVR.

Beban	Total Harmonics Distortion (THD)	
	Tegangan dip 50%	Tegangan dip 70%
Beban Linier	12.13%	12.92%
Beban Non-Linier	25.53%	25.68%

Pada gambar 9. adalah grafik spektrum frekuensi untuk tegangan DVR pada sisi output filter DVR, dari gambar grafik tersebut dapat dilihat THD tegangan DVR 12.13% pada beban linier dan 25,53% pada beban non-linier. Tabel 4.4 memperlihatkan tabulasi Total Harmonics Distortion (THD) tegangan DVR pada kondisi beban linier dan THD pada beban non-linier.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan:

1. DVR mampu mengkompensasi gangguan tegangan dip 50% dan 70% pada rating tegangan menengah 20kV.
2. DVR dengan menggunakan kendali PI controller dan P+resonant controller mampu menghasilkan tegangan output yang sesuai mengkompensasi gangguan tegangan dip pada beban linier maupun pada beban non linier.
3. Kondisi tegangan dip 50%, Total Harmonics Distortion (THD) tegangan DVR menjadi naik dari 12, % pada beban linier menjadi 25, % pada kondisi beban non-linier.
4. Kondisi tegangan dip 70%, Total Harmonics Distortion (THD) tegangan DVR menjadi naik dari 12, % pada beban linier menjadi 25, % untuk beban non-linier.

V. REFERENSI

- [1] Yun Wei Li, Poh Chiang Loh, Frede Blaabjerg, D Mahinda Vilathgamuwa (2006), " Investigation and Improvement of Transient Response of DVR at Medium Voltage Level", *IEEE Transaction on Power System*.
- [2] J.G. Nielsen, M. Newman, H. Nielsen, F. Blaabjerg (2004)," Control and Testing of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) at Medium Voltage Level," *IEEE Transc on Power Electronics*, Vol. 19, No. 3.
- [3] P.C. Loh, D.M. Vilathgamuwa, S.K.Tang, H. Lih Long (2004)," Multilevel Dynamic Voltage Restorer," *IEEE Power Electronics Letters*, Vol.2 No.4.
- [4] Pirjo Heine, Matti lehtonen (2003), " Voltage Sag Distribution Caused by Power System Faults, " *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 18, No. 4.
- [5] C. Zhan, A. Arulampalam, N. Jenkins (2003),"Four-Wire Dynamic Voltage restorer Based on a Three-Dimensional Voltage Space Vector PWM Algorithm," *IEEE Transc on Power Electronics*, Vol. 18, No. 4.
- [6] M. Vilthgamuwa, A.A.D. Ranjith Perera, S.S. Choi (2002)," Performance Improvement of the Dynamic Voltage Restorer with Closed-Loop Voltage and Current-Mode Control", *IEEE Applied Power Electronics*, Vol. 17.
- [7] J.G. Nielsen, F. Blaabjerg (2001), " Control Strategies for Dynamic Voltage Restorer Compensating Voltage Sags with Phase Jump", *IEEE Applied Power Electronics*.
- [8] S.U. Ahn, J.A. Jardini, M. Matsuda, F.A.T. Silva, S.Copeliovitich, L.Matakas, W.Komatsu, M.G.F. Ortiz, J Camargo, E.R.Zanetti, (2004)," Mini DVR- Dynamic Voltage RestorerWith Active Harmonic Filter (Test of Prototype)", *International Conference of Harmonics and Power Quality, 11th*
- [9] P. Daehler, R. Affolter (2000)," Requirement and Solution for Dynamic Voltage Restorer, A Case Study, " *Singapore 2000 Panel Voltage Sag Mitigation*.
- [10] Shairul Wizmar Wahab, Alias Mohd Yusof, (2006)," Voltage Sag and Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer (DVR) System", *Elektrika, Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia, Vol. 8, No. 2*