

## PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN MENGUNAKAN *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER* (DVR)

Winarso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
Jln. Raya Dukuh Waluh-Purwokerto  
Email : ewinarso@gmail.com

**Abstract - Dynamic Voltage Restorer is one of quality solution methods of electric power that is used to recover drop voltage (sag) by injecting voltage to the network. Injection of minimum power method is minimum active power supplied to the load as compensation of sag. Thus, it can stabilize load voltage. The aim of this research is to maintain voltage magnitude constantly in the sensitive load location, when fault occur. In tackling sag and swell problems, DVR can solve balance and unbalance conditions by injecting appropriate voltage component. Therefore, the normal condition at source voltage can be achieved as soon as possible. DVR Control produces fast and accurate response that lead to an accurate solution increasing quality of electric power system caused by sag. Sag can disturb performance of sensitive equipments. MATLAB-SIMULINK with toolbox of electric power system will be utilized in simulation process.**

**Kata kunci : power quality, sag voltage, dynamic voltage restorer series.**

### I. Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga, idealnya, harus menyediakan tenaga listrik ke pelanggan secara kontinu dengan tegangan sinusoidal halus pada level dan frekuensi yang tetap. Akan tetapi, dalam prakteknya sistem tenaga banyak terdapat beban tidak linier, yang berpengaruh secara signifikan pada kualitas daya dari suplai. Akibat adanya beban non linier ini, bentuk gelombang dari suplai menjadi tidak murni sinusoidal. Ini menghasilkan masalah kualitas daya. Disamping beban non linier, beberapa kejadian pada sistem (misal: switching kapasitor, starting motor) atau adanya

gangguan juga dapat menimbulkan masalah kualitas tenaga listrik. Isu Kualitas tenaga menjadi semakin penting bagi konsumen daya listrik pada semua tingkat pemakaian. Peralatan sensitif dan beban non linear sekarang menjadi umum digunakan baik pada sektor industri dan lingkungan domestik. Oleh Karena itu kesadaran tentang kualitas tenaga terus berkembang diantara penggunaan tenaga listrik.

Gangguan pada saluran transmisi atau distribusi dapat menyebabkan tegangan transient, sag atau swell pada sistem. Hal yang sama pada kondisi beban berat, penurunan tegangan yang signifikan dapat terjadi pada sistem. Tegangan sag dapat terjadi setiap saat dengan rentang amplitudo 10–90% dan durasi antara setengah siklus hingga satu menit. Disisi lain kenaikan tegangan (swell), didefinisikan sebagai kenaikan tiba-tiba nilai tegangan listrik pada pada rentang amplitudo 110%-180% dengan durasi dari 10 ms hingga 1 menit. *Sag* dan *Swell* dapat menyebabkan peralatan sensitif menjadi gagal beroperasi atau berhenti. Akibat yang ditimbulkan dapat menjadi mulai dari berhenti produksi hingga kerusakan peralatan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjaga nilai konstan magnitude tegangan pada titik beban sensitive pada kondisi system mengalami gangguan.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi sag dan swell. Penggunaan *custom Power devices* (CPD) dianggap sebagai metode yang paling efisien. Terdapat banyak jenis CPD antara lain filter daya aktif / Active Power Filters (APF), sistem penyimpanan daya batere / Battery Energy Storage Systems (BESS), Distribution Static synchronous

COMPensators (DSTATCOM), Kapasitor seri / Distribution Series Capacitors (DSC), Pemulih tegangan listrik dinamis / Dynamic Voltage Restorer (DVR), Uninterruptible Power Supplies (UPS) dan lain-lain.

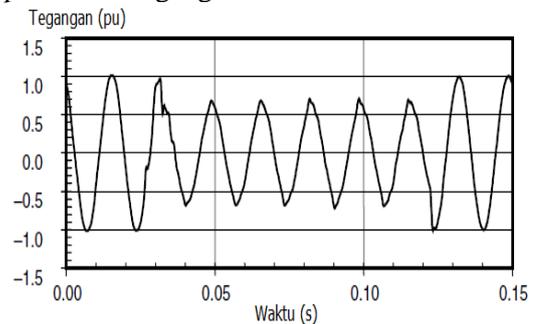
Masing-masing peralatan CPD mempunyai kelebihan dan keterbatasan. Jenis peralatan yang dianggap paling efektif adalah pemulih tegangan listrik dinamis (DVR). Ada beberapa alasan mengapa DVR lebih disukai daripada peralatan yang lain. Beberapa alasan-alasan ini disajikan sebagai berikut. Piranti SVC lebih awal dari DVR, tetapi DVR lebih disukai karena SVC tidak mempunyai kemampuan untuk mengontrol aliran daya aktif. Alasan lain adalah DVR lebih murah dibandingkan dengan UPS.

UPS tidak hanya mahal, tetapi juga memerlukan pemeliharaan yang intensif karena baterai mengalami kebocoran dan mempunyai usia pakai tertentu, sehingga harus diganti setiap lima tahun. Alasan-alasan lain adalah DVR mempunyai suatu kapasitas daya lebih tinggi dan murah dibandingkan Peralatan SMES. Selain itu, ukuran DVR lebih kecil dan lebih murah dibandingkan dengan DSTATCOM.

Berlandaskan alasan-alasan ini, tidak mengherankan bila DVR secara luas dipertimbangkan sebagai suatu piranti daya yang efektif dalam mitigasi tegangan sag. Sebagai tambahan, selain mengkompensasi sag dan swell, DVR juga memiliki fitur tambahan lain seperti filter harmonik dan koreksi faktor daya. Dibandingkan peralatan lain, DVR menyediakan solusi ekonomi terbaik untuk ukuran dan kemampuan yang dimiliki.

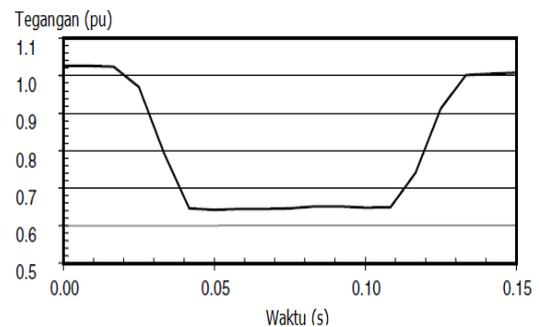
Menurut standar IEEE 1159-1995, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, definisi *sag* adalah penurunan nilai rms tegangan atau arus pada frekuensi daya selama durasi waktu dari 0,5 cycles (0,01detik) sampai 1 menit. Dan rentang perubahan dari 0,1 sampai 0,9 pu pada harga rms besaran tegangan atau arus. Hal ini menyebabkan lepasnya (*trip*)

peralatan-peralatan yang peka terhadap perubahan tegangan.



Gambar 1. Tegangan Sag [9]

Gambar 2 menunjukkan tipe tegangan sag yang diakibatkan oleh gangguan satu fasa ke tanah pada feeder lain dari substasion yang sama. Sekitar 80% tegangan sag akan muncul selama tiga cycle sampai circuit breaker substasion mampu memutuskan arus gangguan. Waktu waktu pemutusan (*clearing times*) berkisar antara 3 – 30 cycle tergantung dari besar arus gangguan dan tipe proteksi arus lebih.



Gambar 2. Tegangan Sag akibat gangguan satu fasa ke tanah [9]

### 1.1 Batasan Nilai Sag Tegangan

Nilai dari penurunan tegangan (*voltage sag*) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol dalam suatu pabrik/industri.

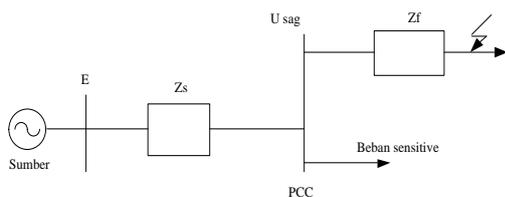
Tabel 1. Tipikal rentang kualitas daya input dan parameter beban pada sebuah komputer

Parameter	Rentang
Batasan tegangan ( <i>steady state</i> )	+6 %, -13 %

Gangguan tegangan	<i>Surge</i> +15 % - maks 0,5 s
	<i>Sag</i> -18 % - maks 0,5 detik
	<i>Transient overvoltage</i> 150-200 % - 0,2 s
Harmonik	Maks 5% (peralatan beroperasi)
Kompatibilitas elektromagnetik	Maks 1 V/m
Batasan frekuensi	60 Hz ± 0,5
Perubahan frekuensi	1 Hz/s
Tegangan tiga-fasa tak imbang	2,5 %
Beban tiga-fasa tak imbang	5 – 20 %
Faktor daya	0,8 – 0,9
<i>Load demand</i>	0,75 – 0,85 (dari beban tersambung)

Sumber : IEEE std 446-1995, *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power System for Industrial and Commercial Application*.

Untuk menghitung besar tegangan sag pada titik *Point of Common Coupling* (PCC) dalam sistem paralel, biasanya menggunakan model pembagi tegangan dimana besar tegangan pada PCC dapat dihitung dengan persamaan 1 [1].



Gambar 3. Gangguan pada feeder paralel yang menyebabkan sag voltage

$$U_{sag} = \frac{Z_f}{Z_f + Z_s} E \quad (1)$$

Dimana :

Zs: impedansi sumber termasuk impedansi trafo

Zf: impedansi antara PCC dan gangguan termasuk gangguan dan impedansi jaringan

Sag juga biasa diasosiasikan dengan perubahan sudut fasa tegangan. Perubahan ini dikenal dengan lompatan sudut fasa (*phase angle jump*) antara sag dan pre-sag [2].

Tabel 2. Sensitivitas peralatan terhadap *temporary low-voltage*

Lokasi <i>drop</i> tegangan	Tegangan minimum yang diperbolehkan (% <i>rating</i> peralatan)
Terminal motor yang diasut	80 %
Terminal motor lain yang memerlukan re-akselerasi	71 %
Kontaktor AC <i>trip</i> (menurut standar)	85 %
Kontaktor DC <i>trip</i> (menurut standar)	80 %
Kontaktor <i>hold-in</i>	60 – 70 %
Piranti kontrol <i>solid-state</i>	90 %
Tipikal peralatan elektronik	80 %
Ballast lampu Metal halide atau HP sodium	90 %

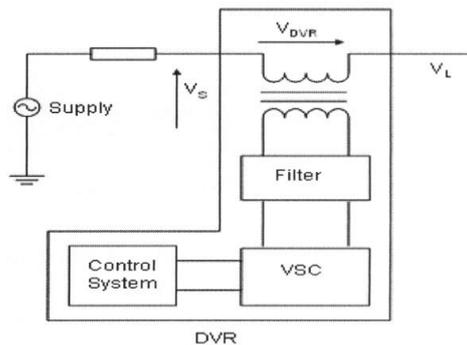
Sumber : PacifiCorp, *Engineering Handbook*

## 1.2 Konfigurasi Dynamic Voltage Restorer

Pemulih Tegangan Listrik Dinamis (DVR) piranti solid state yang menginjeksi tegangan ke dalam sistem untuk mengatur tegangan disisi beban. DVR pertama kali dipasang pada tahun 1996. Normalnya DVR dipasang pada sistem distribusi diantara suplai dan feder beban kritis. Fungsi utama DVR ini adalah untuk menaikkan tegangan listrik dengan cepat di sisi beban saat terjadi gangguan. Disamping berfungsi untuk mengkompensasi sag dan swell, DVR juga memiliki fitur tambahan lain seperti: mengkompensasi tegangan harmonic pada

jaringan, mereduksi tegangan transien dan membatasi arus gangguan.

Secara umum DVR mengontrol tegangan suplai yang ditempatkan diantara sumber dan beban sensitive. DVR menginjeksi tegangan pada system dengan tujuan untuk mengkompensasi setiap gangguan yang mempengaruhi tegangan beban [3]



**Gambar 4.** Topologi DVR Terkoneksi Seri

Trafo injeksi (trafo booster) merupakan trafo yang didesain secara khusus untuk membatasi kopling noise dan energi transien dari sisi primer ke sisi sekunder. Fungsi utama trafo booster adalah [4]:

- ✓ Menghubungkan DVR ke jaringan distribusi melalui belitan HV
- ✓ Mentransformasi dan mengkopel tegangan kompensasi injeksi yang dibangkitkan oleh VSC ke tegangan suplai sisi masukan (incoming)
- ✓ Menyediakan isolasi beban dari sistem (VSC dan mekanisme).

Fungsi utama dari filter harmonik adalah untuk mempertahankan konten harmonik yang dihasilkan oleh voltage source converter pada level yang diizinkan. Filter harmonic ini memiliki rating kecil kira-kira 2% dari MVA beban yang terhubung ke kumparan tersier dari trafo injeksi.

VSC adalah sebuah sistem elektronik daya yang terdiri dari peralatan penyimpanan dan peralatan pensaklaran, yang dapat membangkitkan tegangan listrik sinusoidal pada frekuensi, besar dan sudut fasa yang diperlukan. Pada aplikasi DVR, VSC dipergunakan untuk menggantikan sementara tegangan listrik suplai atau untuk membangkitkan bagian tegangan suplai yang hilang.

Terdapat banyak topologi rangkaian VSC. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah konverter tiga fasa dua level atau multilevel yang memfungsikan sebuah kapasitor dc diantara fase. Kapasitor ini berfungsi untuk menyerap ripple harmonik dan ini merupakan suatu cara untuk menyimpan kebutuhan energi yang relatif kecil. Ukuran dari kapasitor ini harus dinaikkan jika dibutuhkan dukungan tegangan untuk kondisi tidak seimbang. Kapasitor juga memiliki fungsi sharing muatan antar fasa. over voltage pada fasa tunggal mungkin menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang arus injeksi pada phase yang lain.

Topologi konverter lain yang terkenal adalah *Inverter Cascade H-Bridge*. Konverter dengan topologi ini cocok digunakan pada tegangan tinggi dan aplikasi sistem tenaga oleh karena kemampuannya mensintesis bentuk tegangan dengan spectrum harmonik yang lebih baik.

Penelitian ini pembangkit membangkitkan daya ke transmisi melalui trafo step up. Dua skenario simulasi yaitu :

- a. sistem bekerja pada keadaan gangguan 3-Ø, tanpa DVR
- b. sistem bekerja pada keadaan gangguan 3- Ø dengan DVR.

## II. Metodologi

### 2.1 Metode Injeksi Tegangan DVR

Metode kompensasi atau injeksi tegangan menggunakan DVR tergantung pada factor-faktor yang membatasi seperti: rating daya DVR, variasi kondisi beban dan tipe tegangan sag. Beberapa beban sangat sensitip terhadap lonjakan sudut fase, beberapa beban sensitive terhadap lonjakan magnitude tegangan, sementara beban lain justru toleran terhadap lonjakan ini. Oleh sebab itu, strategi kontrol bergantung kepada jenis dan karakteristik beban. Ada tiga metode berbeda untuk injeksi tegangan DVR yaitu :

1. Metode Kompoensasi Pre-Dip / Pre-Dip Compensation (PDC). Metode PDC melacak tegangan suplai secara terus-menerus dan ketika mendeteksi gangguan maka akan menginjeksi perbedaan tegangan antara tegangan pada PCC (sag) dan kondisi pra gangguan, sehingga tegangan beban di-restore ke kondisi sebelum gangguan. Dalam metode ini tegangan beban idealnya dapat dipulihkan tetapi daya aktif injeksi tidak dapat dikontrol dan nilainya ditentukan oleh kondisi eksternal seperti tipe gangguan dan kondisi beban. Metode ini dicapai dengan mempergunakan suatu detektor gangguan untuk mengambil keluaran dari rangkaian Phase Locked Loop (PLL), ketika gangguan terjadi.
2. Metode Kompensasi In-Phase / In-Phase Compensation (IPC). Dalam metode ini tegangan injeksi adalah sefasa dengan tegangan sisi suplai tanpa memperhatikan arus beban dan tegangan sebelum gangguan. Sudut fasa tegangan sebelum terjadi sag dan tegangan beban adalah berbeda akan tetapi criteria yang paling penting untuk kualitas daya adalah terpenuhinya nilai magnitude tegangan beban yang konstan. Metode ini dapat dicapai dengan dua cara yang berbeda. Yang pertama dengan mempergunakan sebuah *Synchronized PLL* dengan *post-fault voltage* dan yang kedua dengan metode komponen simetris. Metode IPC cocok digunakan untuk strategi operasi tegangan atau daya minimum. Dengan kata lain, pendekatan ini memerlukan banyak daya nyata untuk memitigasi sag tegangan. Salah satu kelebihan metode ini adalah nilai amplitud tegangan injeksi DVR minimum untuk tegangan sag tertentu dibandingkan dengan metode yang lain.
3. Metode In Phase Advance Compensation (IPAC). Pada metode ini daya aktif yang digunakan DVR dikurangi dengan meminimalkan sudut fasa antara tegangan sag dan arus beban. Pada kasus kompensasi pre-sag

dan in-phase daya aktif diinjeksi ke dalam sistem selama terjadi gangguan. Suplai daya aktif membatasi energy yang tersimpan dalam link DC dan ini merupakan salah satu bagian yang paling mahal pada DVR. Minimisasi energy injeksi didapatkan dengan membuat komponen daya aktif menjadi nol dengan membuat fasor tegangan injeksi tegak lurus dengan fasor arus. Pada metode ini nilai arus beban dan tegangan dibuat tetap dalam sistem sehingga hanya merubah fasa tegangan sag. Metode IPAC hanya menggunakan daya reaktif dan sayangnya, tidak semua sag dapat dimitigasi tanpa daya aktif. Sebagai konsekuensinya, metode ini hanya cocok untuk jangkauan sag yang terbatas.

## 2.2 Simulasi

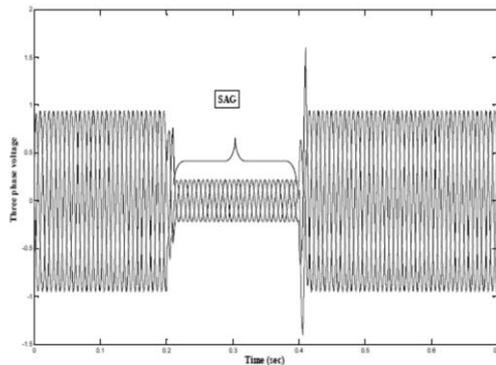
Untuk simulasi kompensasi tegangan pada aplikasi praktis, diterapkan DVR dengan skema kontrol PWM diskrit. Tujuan dari skema kontrol yang dibuat adalah untuk menjaga nilai konstan magnitude tegangan pada titik beban sensitif pada kondisi sistem mengalami gangguan.

Gambar 7 sebagai rangkaian simulasi menunjukkan diagram satu garis sistem pengujian. Sistem tersusun dari sistem pembangkit 13 kV 50Hz menyuplai dua saluran transmisi. Saluran transmisi tersebut menyuplai dua jaringan distribusi melalui dua trafo dalam hubungan Y/ $\Delta$ . Untuk menguji kerja kompensasi DVR, sebuah gangguan diterapkan pada titik X selama durasi 200ms. DVR disimulasikan beroperasi hanya selama durasi gangguan.

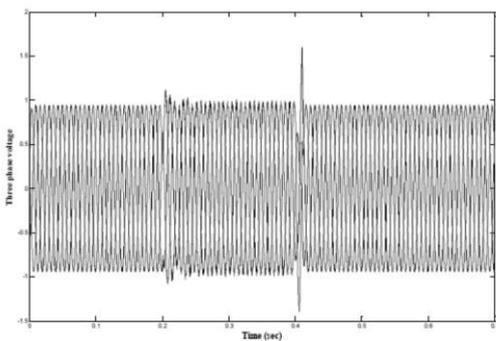
## III. Hasil dan Pembahasan

Simulasi pertama dilakukan dengan tanpa gangguan. Kemudian simulasi yang kedua, dengan scenario yang sama, memasukkan DVR untuk mengkompensasi sag tegangan akibat adanya gangguan 3 fasa yang terjadi. Gambar 5 menunjukkan nilai tegangan RMS pada titik gangguan ketika sistem beroperasi tanpa DVR dan gangguan 3 fasa diterapkan pada sistem. Ketika DVR

dioperasikan interupsi tegangan dikompensasikan dan tegangan RMS pada titik beban tetap terjaga pada kondisi normal seperti gambar 6.



Gambar 5. Tegangan pada titik beban, gangguan 3-Ø fault, tanpa DVR

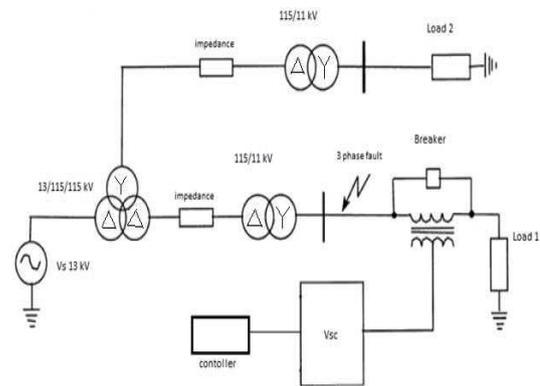


Gambar 6. Tegangan pada titik beban, gangguan 3-Ø fault, dengan DVR

#### IV. Kesimpulan

Permasalahan sag dan swell dan dampaknya pada beban-beban sensitif telah banyak diketahui. Untuk menyelesaikan masalah ini, digunakan piranti tenaga tertentu (Custom Power Devices / CPD). Salah satu peralatan tersebut adalah Pemulih Tegangan Listrik Dinamis (Dynamic Voltage Restorer / DVR).

Hasil simulasi memperlihatkan dengan jelas kinerja dari sebuah DVR di dalam menyelesaikan masalah sag dan swell. DVR menangani kedua situasi tersebut pada keadaan seimbang dan tidak seimbang dengan menginjeksi komponen tegangan listrik yang sesuai untuk mengoreksi dengan cepat kondisi ketidaknormalan pada tegangan suplai.



Gambar 7. Rangkaian simulasi

#### Daftar Pustaka

- [1] M. Bollen, 1996. Fast Assesment Methods for Voltage Sags in Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Delivery, vo. 12, no. 4, pp. 1666 – 1667, October 1997.
- [2] S.Z. Djokic and J.V Milanovic. Advanced Voltage Sag Characterisation I: Phase Shift. IEE Proceedings C – Generation, Transmission and Distribution. 2006. August; 153(4); 423 – 430.
- [3] M.R. Banaei, Seyed Hossein Hosseini, Sohrab Khamohammadi, Gevorg B. Gharehpetion. Loss Reduction of Distribution System Using APLC. Simulation Modelling Practice and Theory 13(2): 169 – 178 (2005).
- [4] Ezoji, H. Sheikholeslami, A. Saeednia, M.M. dan Tabasi, M. 2009. Simulation of Dynamic Voltage Restorer Using Hysteresis Voltage Control. European Journal of Scientific Research, Vol 27 No 1 pp 152-166.