

Implementasi Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Voltage Sags Unbalance Menggunakan DVR di Gardu Induk Gresik

Bambang Prio Hartono^{1,*}, Choirul Soleh¹, Taufik Hidayat¹

¹ Teknik Elektro ITN Malang

* E-mail : bambang_prio@ymail.com

Abstrak. Sistem tenaga listrik yang andal mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat modern termasuk juga bagi dunia industri. Pada kenyataannya, sering sekali terjadi gangguan-gangguan di sistem kelistrikan yang dapat mengganggu suatu kegiatan proses produksi. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan voltage sag yang disebabkan oleh akibat gangguan hubung singkat pada sistem kelistrikan PLN, gangguan satu fasa ke tanah *Single Line Ground Fault (SLGF)* dan gangguan antar fasa ke tanah *Line line to ground fault (LLGF)*. Dalam sistem distribusi tenaga listrik 95% gangguan *sag* adalah dari type tak seimbang. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan dari pemasangan *Dynamic Voltage Restore(DVR)* dalam memperbaiki *voltage sag unbalanced*, untuk memperbaiki daya pada sistem, merancang sistem kendali DVR dalam mengatasi permasalahan kualitas tegangan dan menganalisa pengaruh-pengaruh hasil implementasi sistem tenaga listrik di Gardu Induk Gresik. Setelah kompensasi, diambil dari voltage sag tak seimbang *Single Line Ground Fault*, hasil Prosentase V_{optimasi} berada pada sekitar 15.8 %. Setelah kompensasi, diambil dari voltage sag tak seimbang *Line to Line Ground Fault*. Hasil Prosentase V_{optimasi} berada pada sekitar 16.1 %, Penggunaan perangkat *DVR (Dynamic Voltage Restorer)* dapat meningkatkan performansi sistem jaringan distribusi primer 20 kV pada G.I Gresik.

Kata Kunci: Beban Tak Seimbng, DVR SLGP, LLGP

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Suatu sistem tenaga listrik dikatakan memiliki tingkat keandalan yang tinggi apabila sistem tersebut mampu menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen secara kontinyu dan dengan kualitas daya yang baik dari segi regulasi tegangan maupun regulasi frekuensinya ^[1]. Tersedianya penyaluran energi listrik yang kontinyu pada suatu kawasan industri akan menghindarkan perusahaan tersebut dari kerugian produksi atau "*loss of production*" yang secara finansial akan sangat merugikan perusahaan. Pada kenyataannya permasalahan kualitas daya listrik bagi suatu industri yang dihadapi oleh suatu sistem tenaga listrik dalam penyediaan energi listrik secara kontinyu. merupakan permasalahan yang sangat rumit dan melibatkan berbagai peralatan listrik yang berbeda pada sistem kelistrikannya. Pada saat yang bersamaan, beban-beban yang terdapat pada sebuah industri tergantung pada proses elektronik dan kontrol. Beban-beban seperti itu, sering kali peka terhadap perubahan kualitas daya listrik daripada beban-beban elektro-mekanik tradisional beberapa dekade yang lalu^[3]. Beberapa gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah tegangan kedip (*voltage sags*), Dengan adanya tegangan kedip akan berpengaruh pada peralatan-peralatan yang sensitif terhadap penurunan tegangan. Untuk itu diperlukan evaluasi terhadap sistem kelistrikannya guna mengurangi dampak akibat penambahan kapasitas produksi.

^[4]Di dalam jaringan distribusi tegangan *sag* tidak seimbang lebih sering terjadi daripada tegangan *sag* seimbang. ^[7]Walaupun tegangan *sag* tiga fasa dianggap sebagai kesalahan terburuk namun pada prakteknya hal itu jarang terjadi. Yang paling sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah *Single Line Ground Fault (SLGF)* dan gangguan antar fasa ke tanah *Line line to ground fault (LLGF)*. Dalam sistem distribusi tenaga listrik 95% gangguan *sag* adalah dari type tak seimbang. Pada sistem distribusi G.I Gresik, sering terjadi penurunan tegangan sesaat karena pada daerah tersebut banyak pabrik-pabrik besar yang menggunakan motor-motor listrik berkapasitas besar dan hal tersebut membutuhkan suplai daya dan tegangan listrik yang sangat besar. Pada sistem distribusi di G.I Gresik terdiri dari beberapa penyulang/feeder dengan sistem jaring radial dimana antara penyulang yang satu

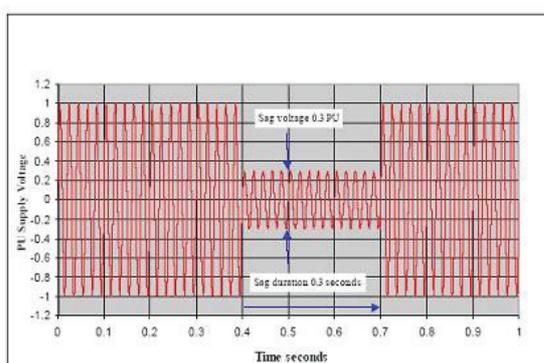
dengan yang lainnya dapat dihubungkan dengan mengoperasikan *sectionalizing switches*. Oleh karena itu G.I Gresik layak untuk menjadi objek penelitian dan diharapkan dapat ditemukan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

⁸⁾Salah satu cara untuk me-**reduksi** atau mengurangi tegangan *sags* adalah dengan menggunakan suatu alat kompensator yaitu *Dynamic Voltage Restore (DVR)*. Masalah yang seringkali muncul pada jaringan distribusi tenaga listrik diantaranya adalah rugi-rugi saluran yang tinggi dan jatuh tegangan yang terjadi akibat adanya gangguan serta menurunnya kemampuan suatu sistem distribusi. Banyak hal yang harus diperhatikan dalam pemasangan DVR agar dapat beroperasi dengan optimal dalam sistem tenaga listrik. Beberapa diantaranya dimanakah lokasi dari DVR dan berapakah kapasitas yang optimal dari DVR agar dapat memberikan keuntungan seperti memperbaiki profil tegangan, mengurangi rugi saluran, dan meningkatkan *reliability* dalam system. Tujuan untuk mengetahui kapasitas dan lokasi yang optimal dari *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* pada Saluran Tegangan Menengah 20 kV G.I Gresik, Meningkatkan kualitas daya dengan cara meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi saluran pada sistem tenaga listrik.

2. Landasan Teori

2.1. Tegangan Sag (Voltage Sag)

¹³⁾**Voltage sag** atau yang sering juga disebut sebagai **voltage dip** merupakan suatu fenomena penurunan tegangan rms dari nilai nominalnya yang terjadi dalam waktu yang singkat, sekitar 10 ms sampai beberapa detik. **IEC 61000-4-30** mendefinisikan *voltage sag (dip)* sebagai penurunan besar tegangan sementara pada titik di bawah nilai *threshold*-nya. ¹²⁾¹³⁾**IEEE Standard 1159-1995** mendefinisikan *voltage sag* sebagai variasi tegangan rms dengan besar antara 10% sampai 90% dari tegangan nominal dan berlangsung selama 0,5 siklus sampai satu menit. Penyebab dari tegangan *sag* adalah akibat dari gangguan hubung singkat, pengasutan motor berkapasitas besar, perubahan beban yang berlebihan / diluar batas dari kemampuan sistem daya. Tegangan *sag* adalah penurunan besaran tegangan efektif (rms) atau arus pada frekuensi daya dengan durasi waktu antara 0,5 sampai 30 *cycle* (durasi pendek). Tegangan *sag* pada sistem yang mengalami gangguan biasanya dengan waktu berkisar 5 sampai 6 *cycle*, dimana merupakan total waktu untuk mendeteksi gangguan dan CB akan bekerja untuk menghilangkan gangguan. Sedangkan waktu penghilangan gangguan berkisar antara 3 sampai 30 *cycle* tergantung magnitude arus gangguan dan jenis peralatan proteksi arus lebih. Penyebab dari voltage sag antara lain adalah gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah maupun satu fasa ke tanah, starting/pengasutan motor beban yang besar dan peralatan listrik didalamnya mengandung unsur beban induktif .

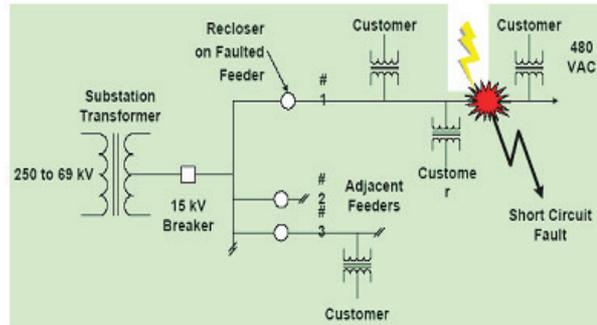


Gambar 1. Contoh Bentuk Gelombang Saat Terjadi **Voltage sag**

2.2. Faktor Penyebab Munculnya Voltage sag

¹⁾Secara umum, ada dua penyebab terjadinya **sag tegangan**, yaitu yang dikarenakan oleh adanya **kegagalan (fault) dalam sistem dan penyalan motor induksi berdaya besar** Motor induksi umumnya mengkonsumsi 5 sampai 6 kali arus ratingnya pada saat *start* dan arus ini akan menurun secara bertahap seiring dengan pertambahan kecepatan motor sampai pada kecepatan ratingnya. Durasi dari *sag* bergantung pada dinamika motor dan dinamika motor tersebut ditentukan oleh parameternya, khususnya inersia motor. Pada kasus *voltage sag* karena penyalan motor yang besar, *sag* yang terjadi biasanya tidak terlalu signifikan tapi berlangsung dalam waktu yang relatif lama.

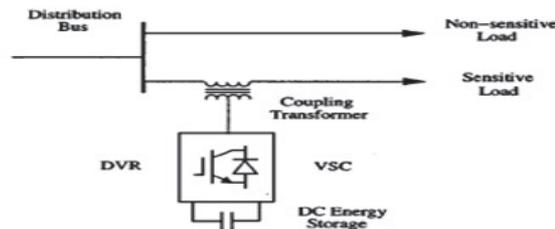
^[9]Kegagalan yang terjadi pada saluran transmisi dan distribusi yang biasanya menjadi sumber terjadinya *sag* adalah *single-line-to-ground (SLG)* dan *line-to-line (L-L) fault*. *SLG fault* sering disebabkan karena kondisi cuaca yang buruk seperti karena petir, salju/es dan angin. Aktivitas binatang dan juga manusia seperti konstruksi juga dapat menyebabkan *SLG fault*. *L-L fault* dapat terjadi akibat cuaca buruk, ranting pohon maupun karena binatang. *Fault* pada *feeder* paralel menyebabkan tegangan jatuh pada *bus substation* yang akan mempengaruhi semua *feeder* lainnya sampai *fault* dihilangkan.



Gambar 2. Terjadinya *Voltage Sag* akibat *Fault*

2.4 *Dynamic Voltage Restore (DVR)*^[6]

Dynamic Voltage Restorer merupakan pengontrol yang dapat digunakan untuk meminimalisasikan *Voltage Sag*. *DVR* biasanya bekerja pada bagian yang sama dengan *D-STATCOM* dimana trafo penghubung dihubungkan secara seri dengan system arus bolak balik seperti yang terlihat pada gambar 3.^[1]



Gambar 3 Diagram blok fungsional untuk *DVR*

3. Metode

Analisa perhitungan besar tegangan yang diinjeksikan pada saluran pada kasus ini diambil contoh pada trafo 6, dimana rumus yang digunakan untuk persamaan ⁽¹⁾ V_{optimasi} dan persamaan ⁽²⁾ $\% V_{\text{optimasi}}$ Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar :^[4]

$$V_{\text{optimasi}} = V_{\text{with DVR}} - V_{\text{without DVR}} \quad (1)$$

$$V_{\text{ref}} = 20 \text{ kV},$$

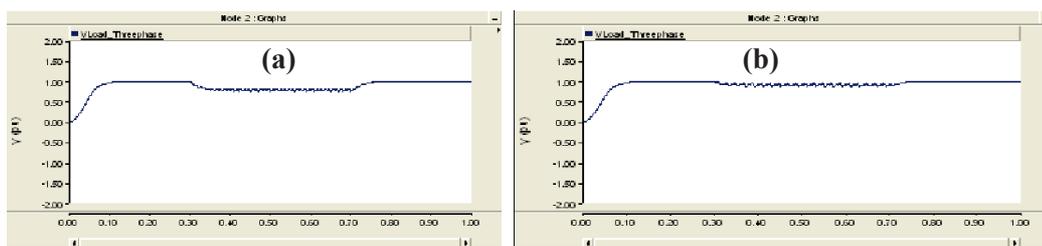
Prosentase besar V_{optimasi} yang diperoleh :

$$\% V_{\text{optimasi}} = \frac{V_{\text{with DVR}} - V_{\text{without DVR}}}{V_{\text{with DVR}}} \times 100 \% \quad (2)$$

4. Analisis dan Pembahasan

4.1. Pada saat gangguan *Voltage Sag Unbalanced Single Line Ground Fault (SLGF)*

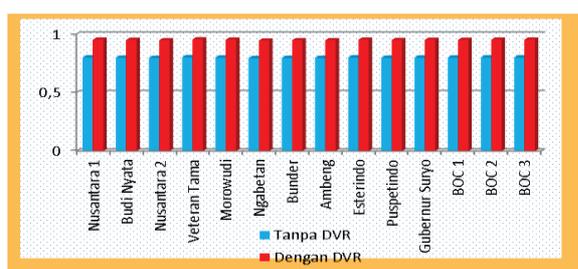
Kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan *DVR* dalam hal mereduksi tegangan *sag* tak seimbang.



Gambar 4. Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage sag (SLGF)* sebelum (a) dan sesudah (b) Kompensasi DVR

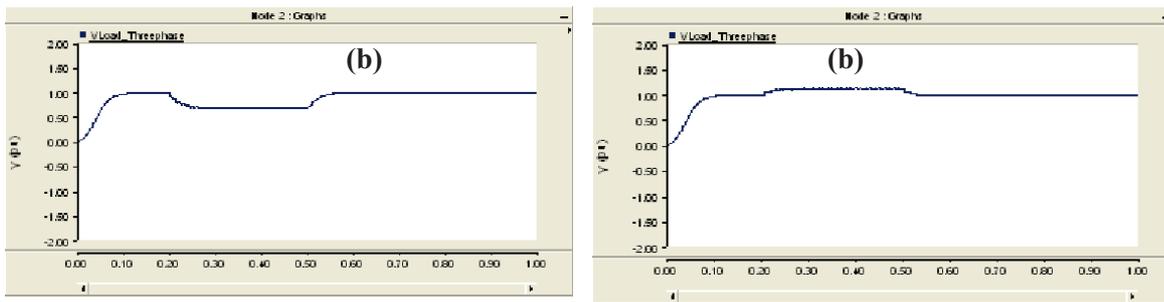
Tabel 1. Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalanced Single Line to Ground Fault (SLGF)* dengan Kompensasi DVR

No	Nama Trafo	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
		Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan	
		Tegangan (pu)	Tegangan (pu)	V _{optimasi} (Kvolt)	%V _{optimasi}
1	Nusantara 1	0.800464	0.951546	3.022	15.877
2	Budi Nyata	0.798877	0.949624	3.015	15.874
3	Nusantara 2	0.797291	0.9477	3.008	15.871
4	Veteran Tama	0.803019	0.954656	3.033	15.884
5	Morowudi	0.800077	0.951084	3.020	15.877
6	Ngabetan	0.794563	0.944397	2.997	15.866
7	Bunder	0.796863	0.947188	3.007	15.871
8	Ambeng	0.797157	0.947545	3.008	15.871
9	Esterindo	0.800819	0.951998	3.024	15.880
10	Puspetindo	0.798178	0.948789	3.012	15.874
11	Gubernur Suryo	0.799847	0.95081	3.019	15.877
12	BOC 1	0.800086	0.950305	3.004	15.807
13	BOC 2	0.801178	0.952436	3.025	15.881
14	BOC 3	0.801178	0.952436	3.025	15.881



Gambar 5. Tegangan Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi Akibat *Voltage Sag Unbalanced Single Line to Ground Fault (SLGF)*

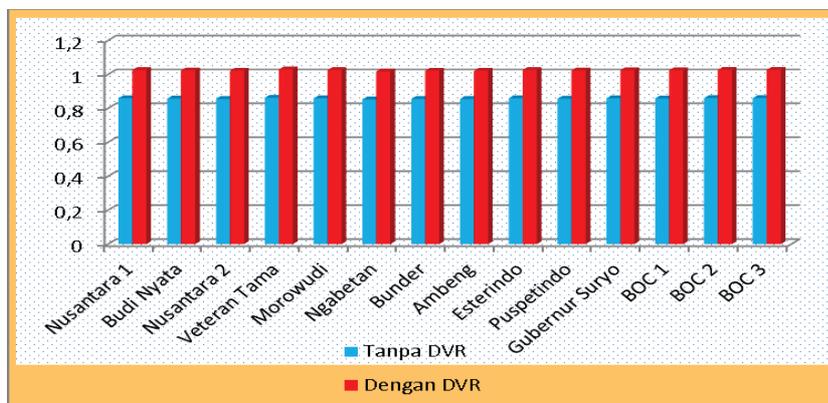
4.2. Pada saat gangguan *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault (LLGF)* Kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan *DVR* dalam hal mereduksi tegangan sag tak seimbang.



Gambar 6. Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault (LLGF)* sebelum (a) dan sesudah (b) kompensasi DVR

Tabel 2. Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault*

NO	Nama Trao	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
		Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan	
		Tegangan (pu)	Tegangan (pu)	$V_{optimasi}$ (Kvolt)	$\%V_{optimasi}$
1	Nusantara 1	0.859404	1.025379	3.320	16.187
2	Budi Nyata	0.857604	1.023338	3.315	16.195
3	Nusantara 2	0.855811	1.021293	3.310	16.203
4	Veteran Tama	0.862296	1.028671	3.328	16.174
5	Morowudi	0.858971	1.024865	3.318	16.187
6	Ngabetan	0.852726	1.01777	3.301	16.216
7	Bunder	0.855332	1.020727	3.308	16.204
8	Ambeng	0.855665	1.021106	3.309	16.202
9	Esterindo	0.859817	1.025815	3.320	16.182
10	Puspertino	0.856823	1.022417	3.312	16.196
11	Gubernur Suryo	0.858714	1.024561	3.317	16.187
12	BOC 1	0.858244	1.024028	3.316	16.189
13	BOC 2	0.860223	1.026277	3.321	16.180
14	BOC 3	0.860223	1.026277	3.321	16.180



Gambar 7. Tegangan Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi Akibat *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault (LLG)*

Menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam melindungi beban kritis terhadap penurunan tegangan seimbang. Kemudian, DVR juga mampu melakukan kinerja yang sangat baik terhadap bukan hanya penurunan tegangan seimbang tetapi juga penurunan tegangan tak seimbang yang dihasilkan dari gangguan kawat tunggal maupun kawat ke kawat.

5. Kesimpulan

DVR (Dynamic Voltage Restorer) dapat memperbaiki profile tegangan hingga mencapai kisaran 0.95 pu pada setiap type gangguan, Besar nilai kapasitas perbaikan dalam tegangan rms setelah kompensasi tergantung pada nilai sumber tegangan DC, Pada saat terjadi gangguan penurunan tegangan rms sesaat pada sistem, dengan dipasangnya DVR maka tegangan pada sistem dapat dikompensasi dengan kenaikan tegangan yang cukup bagus meskipun tegangan tidak sebagus seperti sebelum gangguan, Setelah kompensasi, diambil dari voltage sag tak seimbang Single Line Ground Fault, hasil Prosentase V_{optimasi} berada pada sekitar 15.8 %. Setelah kompensasi, diambil dari voltage sag tak seimbang Line to Line Ground Fault. Hasil Prosentase V_{optimasi} berada pada sekitar 16.1 %, Penggunaan perangkat *DVR (Dynamic Voltage Restorer)* dapat meningkatkan performansi sistem jaringan distribusi primer 20 kV pada G.I Gresik.

6. Daftar Referensi

- [1] Venkata Rajesh, Dr. K. Narasimha Rao, 2012, " Power Quality Improvement Using Repetitive Controlled Dynamic Voltage Restorer for Varius Faults" ., IJERA, ISSN: 2248-9622, Vol 2, Issue 1, Jan-Feb
- [2] Hingorani,N.G., and Gyugyi,L., S. 2000. "Understanding FACTS concepts and technology of Flexible AC Transmission Systems": IEEE press.
- [3] IEEE Standards Board (1995), "IEEE Std. 1159-1995", IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality". IEEE Inc. New York.
- [4] P. Anitha Rani, 2014, " *Improvement of Power Quality using DVR in Distribution Systems*", IJRSET, ISSN: 2319-8753, Volume 3, Spesial Issue 1 January.
- [5] Reshmi V., Mabel Ebenezer, M.S. Jayasree, 2009, " *Mitigation of Voltage Sag , Harmonics and Voltage Unbalances Using Dynamic Voltage Restorer*", 10th National Conference on Technological Trends (NCTT09) A.Ghosh and G.Ledwich, 2002, " *Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices*", Kluwer Academic Publishers.
- [6] Swapnali Hazarika, Swagata Singa Roy, Rahul Baisya, 2013, " Application of Dynamic Voltage Restorer in Electrical Distribution System for Voltage Sag Compensation", IJES ISSN: 2319-1813, Volume 2, Issue 7.
- [7] S.F. Torabi 1 D. Nazarpour 1 Y. Shayestehfard 2, 2012, " Compensation Of Sags And Swells Voltage Using Dynamic Voltage Restorer (Dvr) During Single Line To Ground And Three-Phase Faults", IJTPE Journal, ISSN 2077-3528.
- [8] P.T Nguyen and K Tapan Saha, 2004 " Dynamic Voltage Restore Against Balanced And Balanced Voltage Sags : Modelling and Simulation, IEEE Trans. Power Delivery.
- [9] Nakhoda I.Y and Abraham Lomi, 2012, " *Implementation of Dynamic Voltage Restorer(DVR) and Distribution Static Compensator(D-STATCOM) for Power Quality Improvement*" ,Cyber Journals : Multidisciplinary Journals in Science and Technology,Journal of Selected Areas in Renewable and Sustainable Energy (JRSE), May.