

Analisis Perbaikan Tegangan Sag Akibat Arus Asut Motor Induksi dengan Dynamic Voltage Restor (DVR)

Alexandrinho M. Dos Santos dan Taufik Hidayat
Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang
E-mail: taufik@fti.itn.ac.id

Abstrak—Tegangan Sag merupakan peristiwa penurunan tegangan, diikuti dengan pemulihan kondisi normal dalam beberapa saat. Tegangan Sag dapat menyebabkan motor induksi dalam kontinuitas proses industri bisa terganggu. *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* adalah perangkat listrik yang berbasis elektronika daya yang digunakan untuk meningkatkan tegangan suplai ke beban selama terjadinya tegangan Sag.

Studi kasus penelitian ini dilakukan di PT. Sopianusa Tissue dan akan dilakukan pemodelan dan simulasi sistem daya menggunakan *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* untuk memperbaiki profil tegangan terhadap penurunan tegangan sesaat (*Sag Voltage*) yang di timbulkan oleh masalah starting motor pada industri. Diambil dari referensi beban pada panel trafindo 1 yang mengalami penurunan yang paling signifikan untuk tegangan Sag. Perbandingan 0.8584 p.u 326,1 volt menjadi 0.9872 p.u atau 375,1 volt.

Kata kunci—Tegangan Sag, Dynamic Voltage Restorer (DVR).

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik yang terus meningkat setiap tahunnya membutuhkan suatu kontinuitas pelayanan oleh pihak penyedia listrik terutama yang terkait dengan kualitas daya listrik yang disalurkan ke pihak pengguna atau konsumen (perumahan, komersial dan industri), hal ini dikarenakan semakin buruk kualitas daya listrik dari suatu sistem kelistrikan, biaya yang harus dikeluarkan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang ditimbulkan juga semakin besar.

Penggunaan motor listrik dengan kapasitas besar sudah menjadi pendukung dalam suatu industri untuk menjalankan suatu produksi, akan tetapi penggunaan motor listrik berdaya besar dapat menimbulkan beberapa kerugian, salah satu contoh yaitu menimbulkan penurunan tegangan dengan durasi singkat (*tegangan Sag*) saat melakukan starting karena pada saat starting, menarik arus start tegangan penuh sebesar 6 sampai 10 kali arus nominal beban penuh untuk memperoleh torsi starting yang cukup untuk memulai berputar [1].

Dalam standar IEEE 1159-1995 dinyatakan bahwa penurunan tegangan dengan durasi singkat (*Tegangan Sag*) berlangsung antara 0,5 cycle sampai 1 menit dengan penurunan frekuensi daya), 0,1 pu sampai 0,9 pu dalam tegangan rms [2].

Tegangan Sag adalah penurunan tegangan dengan durasi singkat yang disebabkan oleh gangguan pada sistem dan starting motor dengan kapasitas besar yang sangat

berpengaruh terhadap kontinuitas operasioanal industri karena dapat merusak dan mengganggu kinerja dari peralatan-peralatan yang sensitif (*relay*, kontaktor, *PLC*) terhadap perubahan tegangan [3]. Penelitian ini dilakukan di PT. Sopianusa Tissue.

PT. Sopianusa Tissue merupakan salah satu industri yang bergerak dalam bidang pembuatan industri pembuatan tissue yang dijadikan sebagai tempat untuk melakukan studi kasus dalam penelitian ini. PT Sopianusa Tissue menggunakan sumber listrik dari PLN dan merupakan beban industri. Pabrik ini dapat suplai khusus dari dua buah gardu masing-masing sebesar 20 KV yang kemudian diturunkan tegangannya menjadi 380 volt. Dengan kapsitas trafo dari keduanya sebesar 2500 KVA. *Tegangan Sag* sering terjadi pada kawasan industri karena di pabrik terdapat beban-beban motor untuk menjalankan suatu proses industri.

Penelitian ini akan dilakukan pemodelan dan simulasi sistem daya menggunakan kompensasi *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* yang merupakan bagian dari *Flexibel AC Transmission System (FACTS)* untuk memperbaiki profil tegangan terhadap penurunan tegangan sesaat (*tegangan Sag*) yang di timbulkan oleh masalah pengasutan motor pada industry. Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah PSCAD/EMTP.

II. KAJIAN PUSTAKA

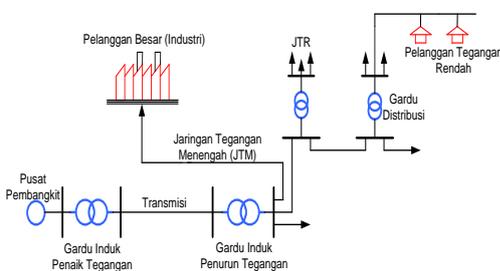
Menurut [Hatami, Shahia, Pashei], penggunaan simulasi dengan software PSCAD/EMTDC menunjukkan bahwa *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* memberikan kemampuan yang sangat baik dalam hal regulasi tegangan. Juga diamati bahwa kapasitasnya untuk kompensasi daya dan regulasi tegangan tergantung pada dua faktor yaitu nilai dari perangkat penyimpanan DC dan karakteristik transformator kopling. Kedua faktor inilah yang menentukan nilai maksimum dari kualitas daya dan DVR mempunyai kemampuan untuk itu.

Penelitian yang dilakukan oleh Zakaria, Chen dan Hasan pada tahun (2008) bahwa penggunaan program komputer dalam simulasi pengendalian daya adalah sangat penting untuk pengembangan dan pemahaman teknologi yang berbasis elektronika daya. *PSCAD* dapat menunjukkan perubahan grafik dari pemodelan untuk melakukan suatu simulasi sistem. Contoh peralatan *Flexibel AC Transmission System (FACTS)* yang dimodelkan itu adalah *DVR*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja sistem *DVR* dapat mengembalikan 19% dari harga nominalnya.

Pawawoi dalam jurnalnya menyatakan bahwa *Tegangan Sag* dapat disebabkan oleh pengasutan motor kapasitas besar. Perlunya diterapkan suatu metode starting motor untuk mereduksi arus yang besar, arus starting motor besar mencapai 6 sampai 10 kali harga nominalnya. Metode pengasutan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode *autotransformer*, metode *Star-Delta*, metode *Direct On Line* dan metode Resistor Seri. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode Resistor Seri dapat mereduksi *tegangan Sag* sebesar 8,94% dari kondisi *real Tegangan Sag* rata-rata yaitu 14,4 %.

A. Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat-pusat pembangkit seperti PLTA, PLTU, PLTG dan PLTD yang dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang berada di pusat listrik kemudian disalurkan melalui saluran transmisi, saluran distribusi, seperti Sagerlihatkan Gambar 2.1



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dibangkitkan dalam level tegangan tertentu akan dinaikkan level tegangannya oleh transformator penaik tegangan pada Gardu Induk. Tegangan ini akan disalurkan melalui saluran transmisi yang selanjutnya melalui gardu induk penurun tegangan tegangannya akan diturunkan ke level tegangan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan pelanggan.

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung dari jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV, sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu sistem distribusi primer (jaringan tegangan menengah) dan sistem distribusi sekunder (jaringan tegangan rendah).

B. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor, yaitu gangguan yang berasal dari sistem dan gangguan yang berasal dari luar sistem.

C. Penyebab Gangguan

Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa gangguan tegangan dan arus yang berada diluar ketentuan nilai yang ditetapkan, disebabkan karena pemasangan atau penyambungan yang kurang benar, adanya gangguan mekanis karena penuaan pada peralatan, karena adanya pembebanan lebih, kerusakan isolasi/isolator, kawat putus dll. Sedangkan gangguan yang terjadi di luar sistem dapat berupa gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah, gangguan pengaruh cuaca seperti hujan, angin serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubungan singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*) dan juga gangguan karena pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

D. Sebab-sebab timbulnya gangguan pada sistem tenaga listrik

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:

1) Gangguan beban lebih (*overload*).

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengamanan yang terpasang.

2) Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetris dan gangguan hubung singkat tak simetris (*asimetri*). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetris yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat timetri (*asimetri*). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

3) Gangguan tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih diakibatkan karena adanya kelainan pada sistem. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena adanya gangguan petir, gangguan surja hubung, di antaranya adalah penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem dan sebagainya.

E. Daya dalam sistem tenaga

Daya listrik di definisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt. Daya dalam watt yang diserap oleh suatu beban pada tiap saat adalah hasil kali jatuh kali tegangan antara beban dalam volt dengan arus yang mengalir dalam beban tersebut dalam ampere. Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) tiga fasa, ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu:

1) *Daya aktif (active power)*. Daya aktif (*active power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain-lain.

2) *Daya reaktif (reactive power)*. Daya reaktif adalah jumlah daya yang di perlukan untuk membentuk medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

3) *Daya semu (apparent power)*. Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

4) *Faktor daya (Power factor)*. Faktor daya (Cos) dapat di definisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam circuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos Q$.

F. Sistem Per Unit (PU)

Sistem per unit untuk suatu besaran adalah perbandingan besaran tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Kelebihan dari metode per unit adalah hasil perkalian dari dua besaran yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung Sageroleh dalam bentuk per unit juga.

- 1) Untuk sistem satu fasa perhitungan per unitnya sebagai berikut.

$$I_{dsr} = \frac{kVA_{1\phi \text{ dasar}}}{kV_{L-N \text{ dasar}}} \text{ A} \quad (1)$$

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{L-N \text{ dasar}})^2}{kVA_{1\phi}} \times 1000 \ \Omega \quad (2)$$

- 2) Untuk sistem tiga fasa perhitungan per-unitnya dapat dilakukan sebagai berikut.

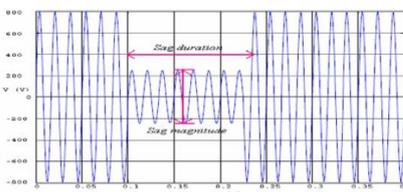
$$I_{dsr} = \frac{kVA_{3\phi \text{ dasar}}}{\sqrt{3}kV_{L-L \text{ dasar}}} \text{ A} \quad (3)$$

$$Z_{dsr} = \frac{(kV_{L-N \text{ dasar}})^2}{MVA_{3\phi}} \times 1000 \ \Omega \quad (4)$$

G. Tegangan Sag

Secara teoritis diketahui bahwa pada saat sebuah motor induksi terhubung ke jaringan sistem yang besar, maka motor induksi tersebut akan menarik arus start yang sangat besar dari jaringan sehingga jumlah total arus yang mengalir akan menyebabkan terjadinya drop tegangan yang bertambah pada jaringan sistem utama. *Tegangan Sag* akibat tarikan arus starting motor ini akan mempengaruhi besar tegangan pada sisi beban-beban yang lain yang tentunya akan mengalami penurunan tegangan sesaat[7].

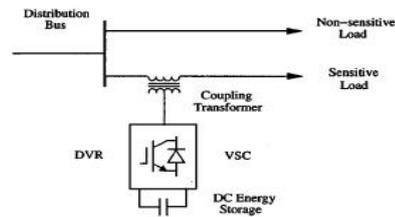
Besarnya penurunan tegangan dan durasi yang termasuk dalam kategori *Tegangan Sag* adalah 0.1 sampai 0.9 per unit (pu) selama 0.5 cycle sampai 1 menit berdasarkan *stadart IEEE 1195 1995*.



Gambar 2. Grafik Terjadinya *Tegangan Sag* pada Sistem.

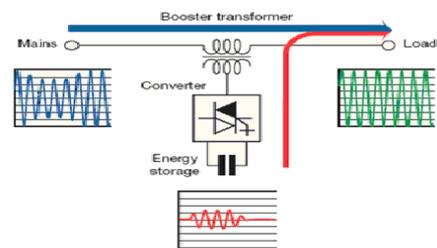
H. Struktur rangkaian DVR

Secara singkat, struktur *DVR* di tunjukan pada Gambar 3. pengendali tegangan ini terhubung secara seri dengan beban yang terlindungi. Biasanya sambungan di buat melalui transformator yang di konfigurasi peralatan elektronika daya. Tegangan yang dihasilkan sumber sama dengan tegangan yang disuntikkan dari *DVR*. Daya reaktif di hasilkan oleh konverter sedangkan daya aktif di hasilkan oleh penyimpanan energi ini dapat berbeda di setiap pemasangan *DVR* disesuaikan dengan kebutuhan kompensasi.



Gambar 3. Diagram blok fungsional untuk *DVR*[8].

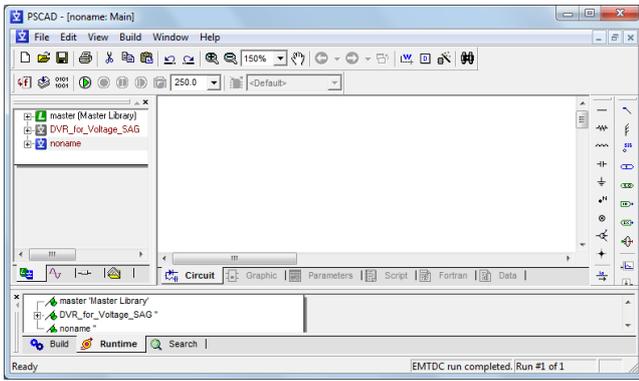
DVR adalah sumber reaktif kontrol, yang mencakup konverter sumber tegangan (*VSC*) dan link kapasitor DC tergantung secara seri, mampu menghasilkan dan menyerap daya reaktif. Prinsip-prinsip operasi dari *DVR* didasarkan pada kesetaraan yang tepat dari kompensator konvensional yang berputar sinkron. Terminal AC sebuah *VSC* yang terhubung ke *Point Of Common Coupling (PCC)* melalui induktansi, yang bisa menjadi induktansi filter atau induktansi kebocoran dari transformator kopling, seperti yang di tunjukkan pada Gambar 4.



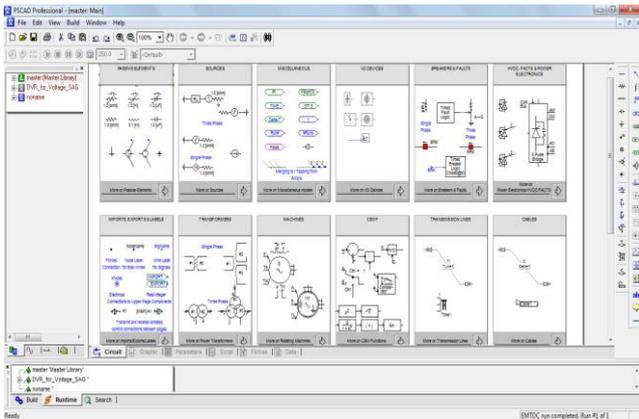
Gambar 4. Struktur dasar *DVR*[10].

I. Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation

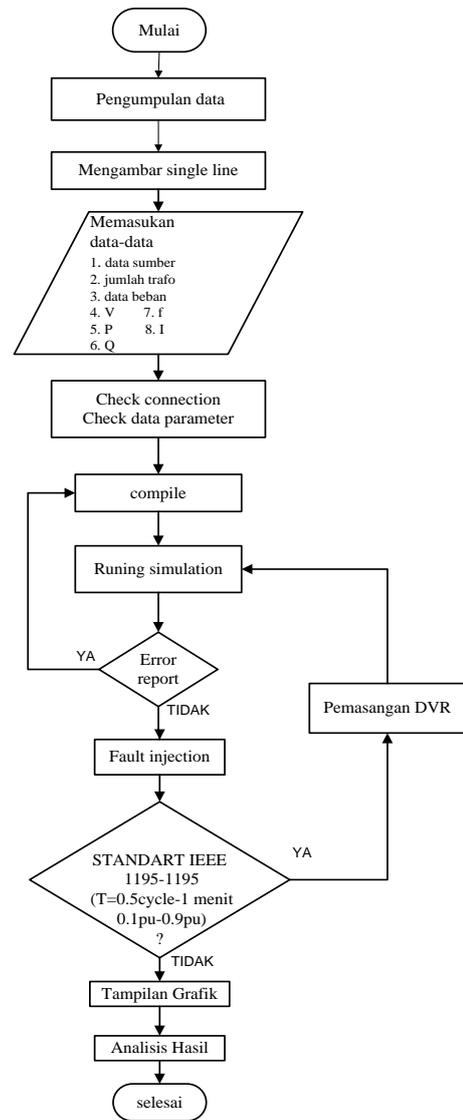
PSCAD/EMTDC adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. *PSCAD/EMTDC* memungkinkan pengguna menggambar, mengkonstruksi sebuah rangkain menjalankan simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.



Gambar 5. Tampilan utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation



Gambar 6. Tampilan Master Library



Gambar 7. Diagram alir sistematika penelitian

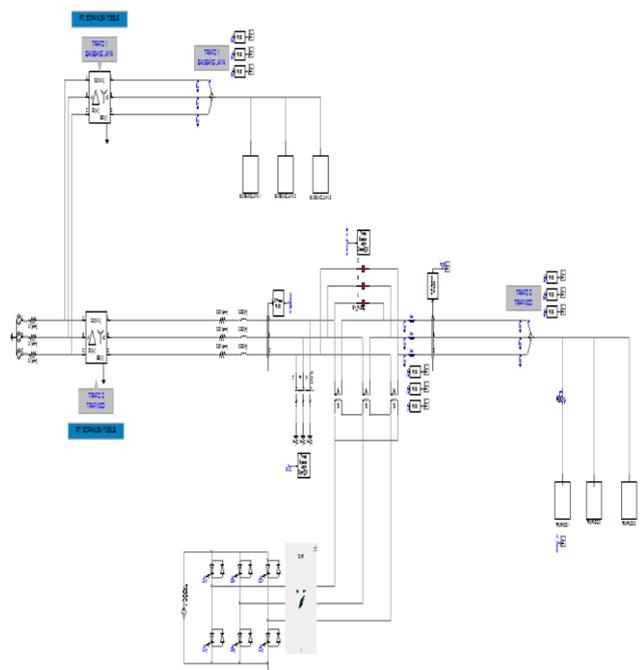
III. ANALISIS HASIL SIMULASI

Diagram alir penelitian ini Sagerlihatkan Gambar 7. Software PSCAD/EMTDC Power Simulation digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

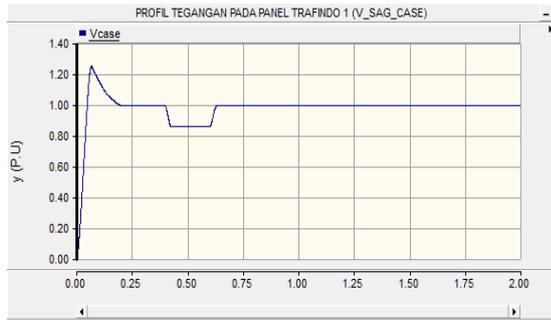
A. Single Line Sistem Distribusi PT. Sapanusa Tisuee

Untuk mensimulasi sistem dalam software PSCAD/EMTDC Power Simulation maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian distribusi tersebut ke dalam lembar kerja pada software kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar single line PT. Sapanusa Tisuee yang digambarkan menggunakan software PSCAD/EMTDC SIMULATION diperlihatkan Gambar 8.

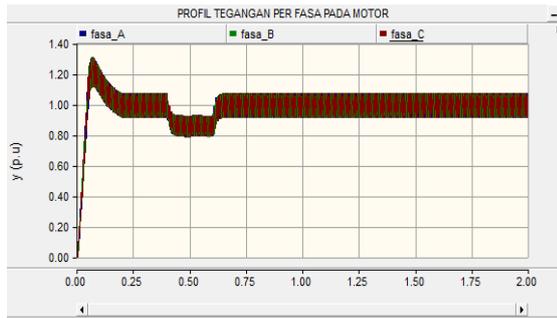
1) Analisa Tegangan Sag Sebelum Pemasangan DVR. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa, pada saat $t = 0 \text{ s} - 0.4 \text{ s}$ tegangan naik melebihi 1 pu ini dikarenakan banyaknya beban motor pada saat starting. setelah pada $t = 0,4 - 0,6 \text{ s}$ tegangan turun menjadi $V = 0,856 \text{ pu}$ atau $V = 325,28 \text{ volt}$. Tegangan turun (Tegangan Sag) tersebut terjadi akibat adanya starting motor induksi berkapasitas besar. Gambar 9 merupakan profil tegangan 3 fasa pada panel trafindo 1, sedangkan pada Gambar 10 adalah profil tegangan per fasa pada motor induksi.



Gambar 8. Pemodelan Keseluruhan sistem daya PT. Sapanusa Tisuee Dalam Program PSCAD



Gambar 9. Profil Tegangan Sebelum Pemasangan DVR pada panel trafindo 1.



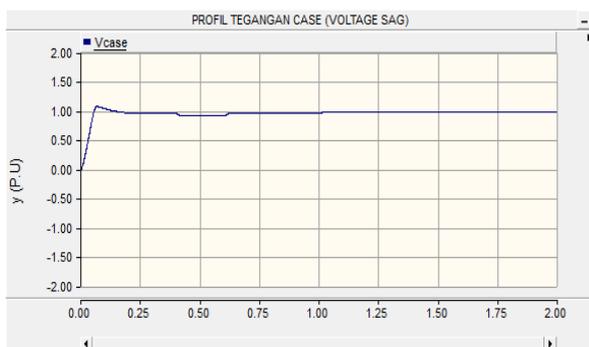
Gambar 10. Profil tegangan per fasa pada motor induksi sebelum pemasangan DVR.

Sedangkan nilai tegangan pada beban motor diptlihatkan pada Tabel I

TABEL I
HASIL NILAI KELUARAN TEGANGAN SAAT TERJADI VOLTAGE SAG SEBELUM KOMPENSASI DVR

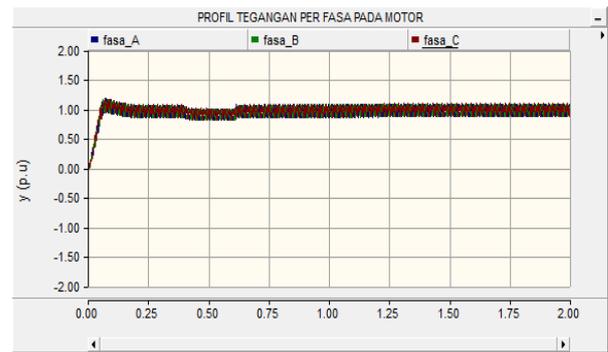
No.	Beban Motor	Tegangan (pu)
1	Reeler	0.8584
2	Hood Recirculation Dry	0.8561
3	Hood Recirculation Wet	0.8538
4	Yanke Motor No. 1	0.8585
5	Yanke Motor No. 2	0.8585
6	Suction Press Roll	0.8590
7	Forming cylinder	0.8593
8	Deflaker	0.8596

2) *Analisa tegangan Sag setelah Pemasangan DVR.* Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa, pada saat $t = 0 - 0.4$ detik tegangan masih 1 pu, hal ini di karenakan starting motor yang berkapasitas besar, setelah pada $t = 0.4 - 0,6$ detik tegangan dapat dikompensasi menjadi $V = 0,987$ pu atau $V = 375,06$ volt.



Gambar 11. Profil Tegangan Sesudah Pemasangan DVR pada panel trafindo 1.

Gambar 12 memperlihatkan profil tegangan per fasa pada pada motor trafindo 1



Gambar 12. Bentuk profil tegangan per fasa pada motor trafindo 1

Gangguan *Tegangan Sag* menyebabkan tegangan rms penurunan sampai lebih dari setengah dari nilai nominal tegangan muatan kritis, namun peralatan *DVR* mampu memberi kompensasi dengan baik. Kesimpulannya gangguan dari *Tegangan Sag* tersebut, *DVR* mampu memberikan kompensasi yang baik sehingga tegangan dapat kembali pada nilai yang diijinkan pada kisaran (0.95 – 1.05 pu). Hal ini dapat dilihat pada Tabel II

TABEL II
HASIL NILAI KELUARAN TEGANGAN SAAT TERJADI VOLTAGE SAG SESUDAH KOMPENSASI DVR

No.	Beban Motor	Tegangan (pu)
1	Reeler	0.9872
2	Hood Recirculation Dry	0.9872
3	Hood Recirculation Wet	0.9856
4	Yanke Motor No. 1	0.9844
5	Yanke Motor No. 2	0.9843
6	Suction Press Roll	0.9837
7	Forming cylinder	0.9837
8	Deflaker	0.9842

Keadaan sistem jauh lebih stabil pada saat penggunaan kompensator *DVR* pada saat terjadi gangguan *Tegangan Sag* dibandingkan keadaan sistem tanpa penggunaan kompensator *DVR*. Hal ini dapat diamati pada saat sistem dalam keadaan steady state, saat terjadi *Tegangan Sag*. Hal itu menunjukkan bahwa *DVR* telah melakukan kinerja yang sangat bagus dalam melindungi beban kritis terhadap penurunan tegangan terhadap ke tiga jenis gangguan tersebut.

B. Perbandingan Tegangan Dengan dan Tanpa DVR

Untuk melihat peranan *DVR* dalam memperbaiki profil tegangan yang disebabkan pengasutan motor induksi terlihat adanya perbaikan tegangan dari yang tercatat pada Table I menjadi nilai tegangan sebagai mana tercatat pada Tabel II sebagai akibat pemasangan komponen *DVR*.

IV. ANALISIS HASIL

Dari Tabel III dapat dilihat bahwa peralatan *DVR* mampu mereduksi penurunan tegangan yang diakibatkan oleh gangguan starting motor yang terjadi pada sistem dan peralatan *DVR* mampu mengembalikan tegangan pada kisaran nilai yang diijinkan yaitu (0.95 - 1.05 pu).

TABEL III
PERBANDINGAN HASIL NILAI TEGANGAN SAG SEBELUM DAN
SESUDAH PEMASANGAN DVR

No.	Beban Motor	Tegangan (pu)	
		Sebelum	Sesudah
1	Reeler	0.8584	0.9872
2	Hood Recirculation Dry	0.8561	0.9872
3	Hood Recirculation Wet	0.8538	0.9856
4	Yanke Motor No. 1	0.8585	0.9844
5	Yanke Motor No. 2	0.8585	0.9843
6	Suction Press Roll	0.8590	0.9837
7	Forming cylinder	0.8593	0.9837
8	Deflaker	0.8596	0.9842

Apabila dihitung prosentasi tingkat optimasi setelah pemasangan DVR dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Pada saat terjadinya tegangan Sag dan sebelum dipasang DVR kondisi tegangan rms pada beban Reeler adalah sebesar 0.8584 pu dan setelah pemasangan DVR mejadi 0.9872 pu. Dengan demikian besarnya tegangan yang diinjeksi oleh DVR adalah 0.1288 pu. Karena tegangan referensi sebesar 380 volt, maka optimasi tegangan sebesar $(0.1288)(380) = 48.944$ volt. Dengan demikian, maka prosentase peningkatan kualitas tegangan karena adanya tegangan Sag adalah,

$$\% V_{opt} = \left| \frac{V_{+DVR} - V_{-DVR}}{V_{+DVR}} \right| \times 100\% = 13.04\%$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung prosentase optimasi pada beban-beban yang lainnya.

V. KESIMPULAN

Dari simulasi dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

- 1) Pemasangan *DVR* dapat memperbaiki *Tegangan Sag* yang terjadi pada sistem akibat pengasutan motor.
- 2) Dilihat hasil pemodelan terjadi penurunan tegangan setelah terjadi gangguan pengasutan motor induksi pada saat $t = 0,4 - 0,6$ detik sebesar 0,8584 pu atau 326.1 volt. Setelah pemasangan *DVR* saat $t = 0,4s - 0,6s$ terjadi kenaikan tegangan sebesar $V=375,41$ volt atau 0,9872 pu.
- 3) Perbaikan tegangan sudah memenuhi standar yang telah ditentukan penyedia sumber listrik PLN yaitu $V = 0,9-1,05$ pu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan, C. Roger, McGranaghan, F Mark, Santoso, Surya dan Beaty, Wayne. H. 2004 Electrical Power System Quality. Second Edition.
- [2] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality IEEE Std 1159 1995.
- [3] Basri, Hasan. 1997. Sitem distribusi Daya Listrik. Jakarta .
- [6] Sakran C. And H. Metha 1993. Vector analysis and control of advanced static VAR compensator. IEE Proceedings-C,40:299-306.
- [7] Hadisastro, abdallah, R, Muhammad. 2010. Studi analisis keSag tegangan akibat pengasutan motor induksi di PT Primatexco indonesia batang. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [8] Acha, Lara. 2002. Modeling adn Analysis of Costum Power System by PSCAD/EMTDC.
- [9] Zakaria A, Baichao, Mohammed Osman Hassan. Transient Studies of Custom Power Equipments and Static Var Compensator Using PSCAD IEEE 2:11 2008.
- [10] Norshafinash Binti Saudin. "Voltage Sags Mitigation Techniques Analysis". (Malaysia : Universiti Teknologi Malaysia, 2007) .
- [11] Ledwich and Ghosh. 2002. Power Quality Enhancement Using Costum Power Devices.