

# PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN MENGGUNAKAN KOMPENSASI DYNAMIC VOLTAGE RESTORE (DVR) DAN DISTRIBUTION STATIC COMPENSATOR (D-STATCOM) DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION

Yusuf Ismail Nakhoda<sup>1)</sup>, Fitri Rahayu Hasan<sup>2)</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang<sup>1)2)</sup>  
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang  
Telp. (0341) 417636, Ext. 611  
E-mail : yusuf\_nakhoda@yahoo.com<sup>1)</sup>

## Abstrak

*Kebutuhan jaringan distribusi, beban industri sensitif dan operasi komersil kritis semua mengalami gangguan dan mengatasi gangguan yang diklasifikasikan dalam masalah yang berkaitan dengan kualitas tegangan. Instalasi Dynamic Voltage Restore (DVR) dan Distribution Static Compensator (D-STATCOM) adalah salah satu dari solusi penghematan biaya untuk permasalahan kualitas tegangan sejenisnya.*

*Sasaran yang utama dari penelitian ini adalah penerapan DVR dan D-STATCOM untuk peningkatan kualitas tegangan. Dari hasil simulasi pada Penyulang Tingkat 1 PT. PLN (PERSERO) Kupang dengan kompensasi DVR dan D-STATCOM, diambil nilai referensi dari node 40 yang terjauh dari sumber. Perbandingan nilai tegangan sebelum dan setelah kompensasi saat gangguan voltage sag adalah 0.9027 pu atau 343,02 volt menjadi 0,9859 pu atau 374,64 volt. Saat voltage swell nilainya dari 1.0616 pu atau 403,4 volt menjadi 1.0002 pu atau 380.07 volt. Saat gangguan tiga fasa simetris nilainya dari 0.8798 pu atau 334.32 volt menjadi 1.0288 pu atau 390,94 volt. PSCAD/EMTDC adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi.*

*Kata Kunci: Kualitas tegangan, Sag/Swell Voltage, Dynamic Voltage Restore (DVR), Distribution Static Compensator (D-STATCOM)*

## PENDAHULUAN

Dalam kaitan dengan perkembangan yang pesat di industri elektronika daya, sebagian besar semikonduktor dengan kapasitas daya yang tinggi tersedia untuk aplikasi sistem tenaga. FACTS menggunakan komponen elektronika daya dan metode kendali untuk mengendalikan sisi tegangan tinggi pada jaringan sistem tenaga [1].

Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronik dalam jumlah besar dalam selang waktu kira-kira dua puluh tahun terakhir pada saat ini telah menimbulkan masalah yang tidak terkirakan sebelumnya. Besarnya kenaikan penggunaan beban-beban elektronik yang canggih seperti komputer, *Programmable Logic Controllers* (PLC), *Variable Speed Drives* (VSD), dan lain sebagainya. Dampaknya berupa penurunan tegangan sesaat (*Voltage sag*) dan kenaikan tegangan sesaat (*Voltage swell*).

## SISTEM TENAGA LISTRIK

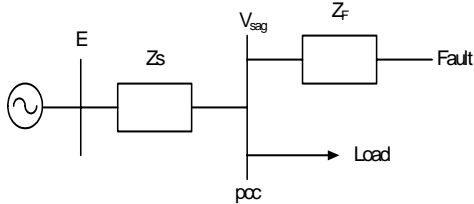
Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan

oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut. Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

- Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi.
- Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit ke bagian sistem distribusi.
- Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut. aringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi.



- Perhitungan Nilai *Voltage Sag* dan *Voltage Swell* Sistem  
Untuk menghitung besaran *voltage sag/voltage swell* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Model pembagi tegangan untuk *voltage sag* dan *voltage swell*

Dari Gambar 3 diatas dilihat adanya 2 impedansi yaitu;  $Z_s$  (impedansi sumber pada titik kopling bersama) dan  $Z_f$  (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan). Titik kopling bersama (*point of common coupling* atau PCC) adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi off dari arus gangguan. Jadi besaran kedip tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{sag/swell} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} \quad (4)$$

Persamaan 1 dapat digunakan untuk menghitung besaran *voltage sag/swell* sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karenanya dinyatakan  $Z_f = Z * L_s$ , dimana  $Z$  adalah impedansi dari saluran per unit panjang dan  $L$  adalah jarak antara kesalahan dan PCC. Besaran kedip tegangan sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan dinyatakan dengan persamaan :

$$V_{sags/swell} = \frac{zL}{Z_s + zL} \quad (5)$$

### PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD / EMTDC V 4.2 POWER SIMULATION

PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah 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.

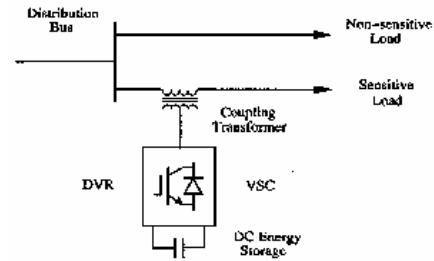
#### Peralatan Elektronika Daya

- Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)  
IGBT merupakan piranti atau komponen aktif pokok yang kini banyak digunakan dalam bidang Elektronika Daya; seperti UPS (*Uninterruptible*

*Power Supply*), dan sistem pengendali daya atau motor-motor besar di bidang industri. Adanya suatu kendala tentang kecepatan respon penyakelar (*Switching Devices*) antara lain sulit untuk dimatikan (*turn-off*) dan lambat. Maka dalam hal ini dipilih IGBT yang memiliki kemampuan lebih baik.

#### Peralatan Kompensasi Dynamic Voltage Restorer (DVR) Dan Distribution Static Compensator (D-STATCOM)

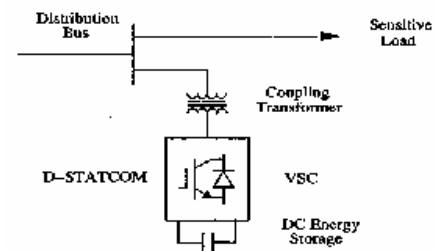
- MODEL DVR  
*Dynamic Voltage Restorer* merupakan pengontrol yang biasanya digunakan untuk meminimalisasikan *Voltage Sag*. DVR biasanya bekerja pada bagian yang sama dengan D-STATCOM dimana trafo penghubung dihubungkan secara urut dengan sistem arus bolak-balik seperti yang terlihat pada gambar 4



Gambar 4 Diagram blok fungsional untuk DVR

VSC menghasilkan suatu output tegangan arus bolak-balik tiga fasa yang dikontrol pada fasa dan besarnya. Tegangan diberikan ke dalam sistem distribusi arus bolak-balik untuk menjaga tegangan beban sesuai dengan yang diinginkan.

- MODEL D-STATCOM  
Bentuk umum dari *Distribution Static Compensator* terdiri dari suatu gabungan dua level VSC, suatu sumber DC dan trafo penggabungan yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik dan unit kontrol yang terhubung. Bentuknya dapat dirancang lebih canggih menggunakan *multipulse* atau konfigurasi *multilevel*.



Gambar 5 Diagram blok fungsional D-STATCOM

**Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008**  
**Bidang Teknik Elektro**

Pada gambar 8 menunjukkan diagram blok fungsional D-STATCOM, dimana VSC mengkonversi tegangan DC melewati peralatan sampai ke dalam satu keluaran arus bolak-balik tiga fasa. Tegangan ini digabungkan dengan sistem arus bolak-balik melalui reaktansi trafo penggabung. Penyesuaian terhadap keluaran tegangan D-STATCOM memberikan kontrol yang efektif terhadap daya aktif dan daya reaktif dari D-STATCOM dan sistem arus bolak-balik. VSC yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik memberikan kontribusi:

- Mengganti kompensasi rugi-rugi dari daya reaktif.
- Memberikan koreksi terhadap faktor daya.

D-STATCOM digunakan untuk meregulasi tegangan pada titik penyaluran beban.

- PWM Sinusoida

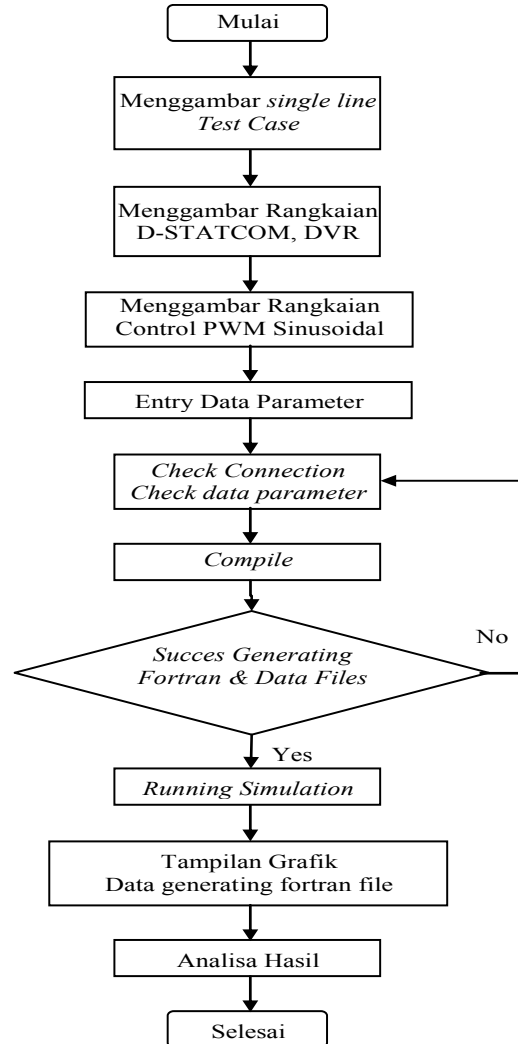
Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban. strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan ( $\delta$ ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC. parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi ( $m_a$ ) pada sinyal  $V_{control}$ , dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi ( $m_f$ ). Index Amplitudo  $M_a$  dipertahankan tetap pada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tagangan tinggi pada pengontrol keluaran. frekwensi *Switching* ditetapkan pada 450 Hz,  $M_f=9$ , dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil.

- Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap DVR Dan D-STATCOM

Prinsip dari DVR dan D-STATCOM adalah menerima dan memproses sinyal error dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukan ke PWM Voltage Source Converter tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan oleh sinyal error antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal yang diolah oleh PWM merupakan sinyal referensi yang diperoleh dari hasil perhitungan tersebut. Sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier* (triangular wave) yang berupa sinyal gigi gergaji (saw tooth). Sinyal error ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji sebagai sinyal *carrier*. Output dari PWM di atas digunakan untuk mentrigger rangkaian *switching* yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa terdiri dari 2 IGBT.

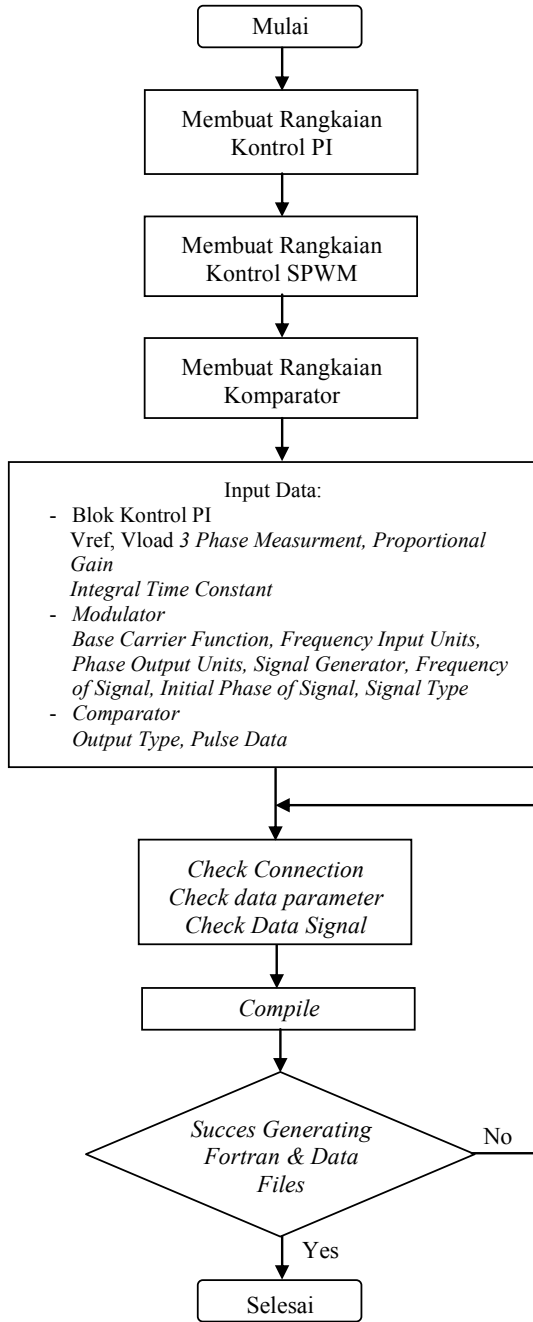
**Flowchart**

- Flowchart Desain dan Simulasi Sistem dengan Dynamic Voltage Restorer (DVR) dan Distribuion Static Compensator (D-STATCOM)



Gambar 6 Flowchart Analisa Perbaikan Kualitas Daya Dengan (DVR) dan (D-STATCOM)

- Flowchart Desain Kontrol Dynamic Voltage Restorer (DVR) dan Distribuion Static Compensator (D-STATCOM)

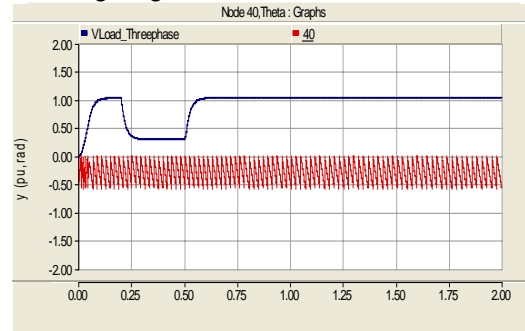


Gambar 7 Flowchart Pembuatan Rangkaian Kontrol PWM Untuk DVR dan STATCOM

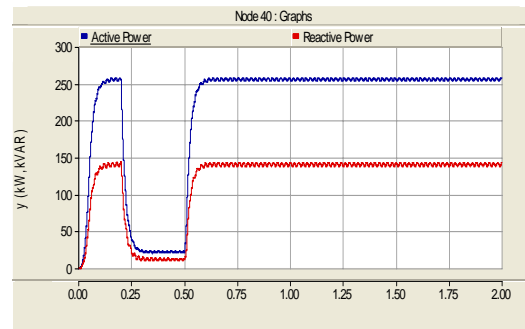
**PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DENGAN KOMPENSASI DAN TANPA KOMPENSASI**

*Tanpa Kompensasi*

• Voltage Sag



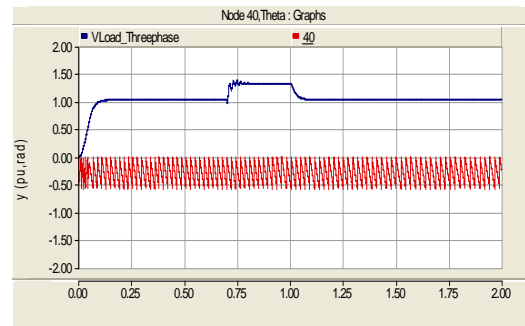
(a)



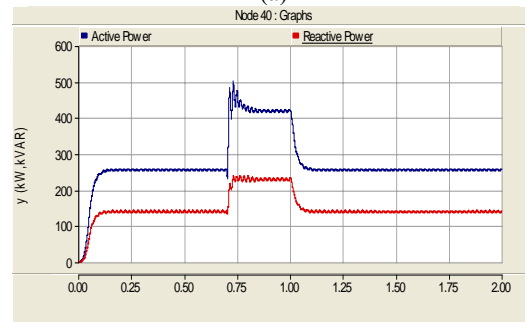
(b)

Grafik 1 (a) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa (b) Gelombang Daya Aktif Daya Reaktif,

• Voltage Swell



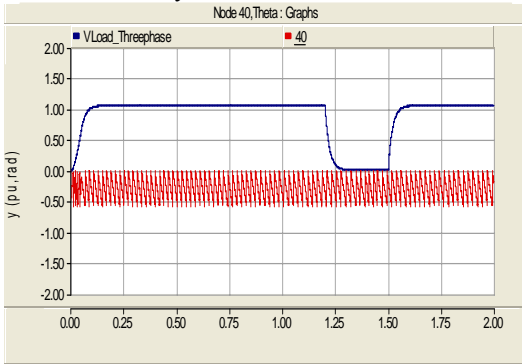
(a)



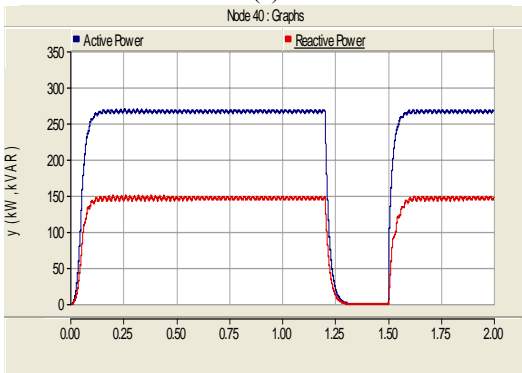
(b)

Grafik 2 (a) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa (b) Gelombang Daya Aktif Daya Reaktif,

- Three Phase Symmetrical Fault



(a)

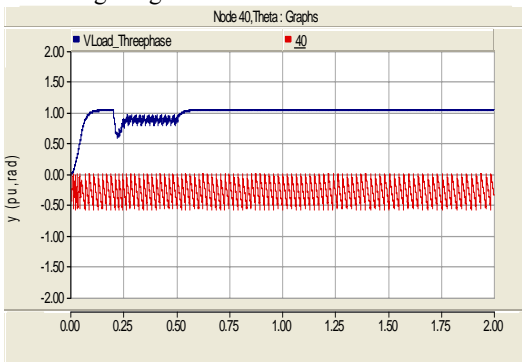


(b)

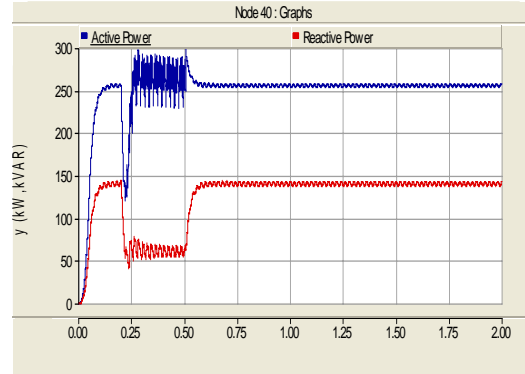
Grafik 3 (a) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa  
(b) Gelombang Daya Aktif Daya Reaktif

**Dengan Kompensasi**

- Voltage Sag



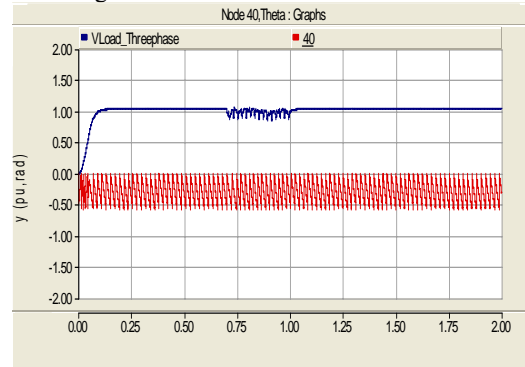
(a)



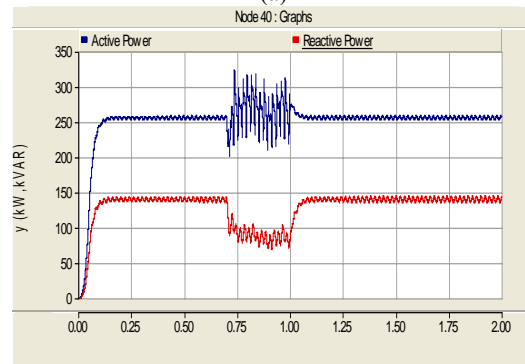
(b)

Grafik 4 (a) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa  
(b) Gelombang Daya Aktif Daya Reaktif,

- Voltage Swell



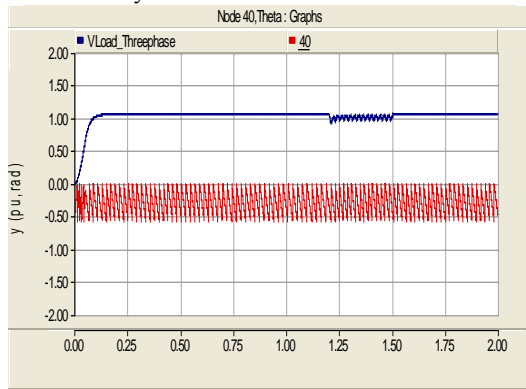
(a)



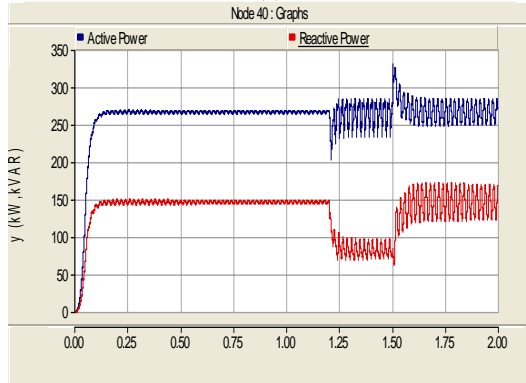
(b)

Grafik 5 (a) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa  
(b) Gelombang Daya Aktif Daya Reaktif,

Three Phase Symmetrical Fault



(a)



(b)

Grafik 6 (a) Gelombang Tegangan dan Sudut Fasa (b) Gelombang Daya Aktif Daya Reaktif,

- Perbandingan Nilai Sebelum dan Sesudah Kompensasi Saat Voltage Sag

Tabel 1. Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban Saat Gangguan Voltage Sag Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi

Dari Node	Ke Node	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
		Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)	Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	2	0.912188538	-0.028243256	0.996208953	-0.028312857
3	5	1.021336388	-0.282944948	1.01286013	-0.282865411
7	8	0.928683398	-0.028295843	1.014242885	-0.028265346
9	10	0.937898984	-0.282611974	1.024272357	-0.282542774
11	12	0.895826896	-0.028320458	0.978332193	-0.028249099
13	14	0.920895298	-0.282363417	1.005719274	-0.282788592
14	15	0.881674801	-0.028280069	0.962883686	-0.028278524
21	22	0.87208805	-0.283114608	0.952409714	-0.282555753
23	24	0.874688591	-0.028319971	0.955249735	-0.028255149
23	25	0.874688591	-0.028319971	0.955249735	-0.028255149
25	26	0.900246229	-0.028243325	0.98321007	-0.028247533
27	28	0.931074246	-0.282441481	1.016881739	-0.282458465
28	29	0.916215023	-0.028276448	1.000618961	-0.028260507
30	32	0.943143976	-0.282702005	1.03000838	-0.282916642
33	34	0.857036956	-0.028239543	0.935968185	-0.028262277
34	35	0.952827317	-0.283125608	1.04058362	-0.282564703
33	36	0.930263843	-0.028252387	1.015938324	-0.028308526
37	38	0.921001581	-0.282572563	1.005874812	-0.282379102
37	39	0.907759329	-0.028292818	0.991367283	-0.028273217
39	40	0.902767763	-0.282752154	0.985914601	-0.282390514

Tabel 2. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Saat Gangguan Voltage Sag Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi

Dari Node	Ke Node	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1	2	1079.487204	595.5434225	1253.566115	632.0834645
3	5	576.8957135	383.7816129	672.3038176	407.0325043
7	8	22.22701623	7.759547582	25.97219128	8.225775067
9	10	382.5027938	323.6357712	445.3650709	343.292264
11	12	32.01283723	19.57401659	37.31470476	20.75874746
13	14	40.21342457	17.39648567	46.93080442	18.44568015
14	15	17.32154488	7.525770692	20.21398957	7.979619984
21	22	46.10720122	23.30969284	53.76291604	24.71901505
23	24	73.95181646	33.86185474	86.18745249	35.91261594
23	25	12.97839329	7.604766394	86.18745249	8.05854705
25	26	11.74454729	4.306156377	13.73293974	4.564324776
27	28	25.35115398	10.79306512	29.64508206	11.44007625
28	29	10.75807221	4.668952361	12.56553444	4.94977127
30	32	124.1452691	62.49334425	144.1881605	66.32352041
33	34	10.71788909	5.077690997	12.47028073	5.386913998
34	35	152.6322541	62.16074593	177.972406	65.9188828
33	36	82.12956104	41.55914382	95.38559347	44.10617802
37	38	258.2315929	173.4445967	301.9187068	183.8354271
37	39	222.3186653	141.8701462	258.9922571	150.4754682
39	40	213.3536099	117.0339844	248.5728046	124.129685

- Perbandingan Nilai Sebelum dan Sesudah Kompensasi Saat Voltage Swell

Tabel 3. Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban Saat Gangguan Voltage Swell Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi

Dari Node	Ke Node	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
		Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)	Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	2	1.072655549	-0.028243178	1.008330721	-0.028316785
3	5	1.045692077	-0.28211528	1.045691958	-0.284360655
7	8	1.092203422	-0.028207912	1.03183967	-0.028446917
9	10	1.102957753	-0.282353794	1.038655193	-0.284671231
11	12	1.053507733	-0.028202071	0.99299441	-0.028444743
13	14	1.083017617	-0.282469929	1.021848238	-0.2845674
14	15	1.036890685	-0.028232827	0.978302041	-0.028501339
21	22	1.025598504	-0.282130574	0.966938566	-0.284458366
23	24	1.028646506	-0.028227575	0.969386281	-0.028423942
23	25	1.028646506	-0.028227575	0.969386281	-0.028423942
25	26	1.058771048	-0.028217047	1.001072719	-0.028478676
27	28	1.095028853	-0.2822952	1.035429646	-0.284819277
28	29	1.077530699	-0.028276448	1.017544387	-0.028471872
30	32	1.109059854	-0.282387344	1.042676831	-0.284834149
33	34	1.00784899	-0.028217448	0.948582713	-0.028487053
34	35	1.120549166	-0.282134324	1.056454516	-0.284385366
33	36	1.09391227	-0.028240225	1.028424323	-0.028483007
37	38	1.083178975	-0.282144101	1.024040795	-0.284596395
37	39	1.067528435	-0.028237543	1.00567106	-0.028475561
39	40	1.061660365	-0.282535595	1.00022983	-0.284613005

**Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008**  
**Bidang Teknik Elektro**

Tabel 4. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Saat Gangguan *Voltage Swell* Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi

Dari Node	Ke Node	Tanpa D-STATCOM		Dengan D-STATCOM	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1	2	1403.321619	768.6010343	1247.029695	646.5448289
3	5	750.2392237	495.379912	669.958584	416.6822388
7	8	10.0169488	28.91403404	8.425432581	25.93832295
9	10	497.350167	417.7138307	443.6440123	351.3684666
11	12	41.63080518	25.26547999	37.19313042	21.25185531
13	14	52.30519624	22.45633468	46.81461976	18.88849884
14	15	22.52887488	9.714521059	20.16488845	8.171185074
21	22	59.96250576	30.08772373	53.60046667	25.30802572
23	24	96.1712199	43.70761418	85.8939232	36.76435278
23	25	16.88386345	9.81762522	85.8939232	8.257823987
25	26	15.27858516	5.558977051	13.72652993	4.675750304
27	28	32.98005493	13.93322695	29.63299794	11.71945964
28	29	13.99346637	6.027086056	12.5449303	5.069496406
30	32	161.3819016	80.65094614	143.4603695	67.84462652
33	34	13.93527091	6.5535232	12.41672076	5.512677787
34	35	198.4935949	80.23548891	177.4408146	67.48966317
33	36	106.7608558	53.63363292	94.90766267	45.11721706
37	38	335.9163557	223.9039389	301.7662191	188.3301148
37	39	289.1093106	183.1185112	258.0298165	154.0290176
39	40	277.4492614	151.0612606	247.6720345	127.0643144

- Perbandingan Nilai Sebelum dan Sesudah Kompensasi Saat *Voltage Sag* Akibat *Three Phase Symmetrical Fault*

Tabel 5. Perbandingan Tegangan dan Sudut Fasa Beban Saat Gangguan *Three Phase Symmetrical Fault* Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi

Dari Node	Ke Node	Tanpa DVR		Dengan DVR	
		Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)	Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	2	0.888807432	-0.028237118	1.037597567	-0.028429458
3	5	1.067593417	-0.282128646	1.067593417	-0.284059503
7	8	0.905018934	-0.028208208	1.060395051	-0.028424904
9	10	0.914299917	-0.282727411	1.068602953	-0.284311459
11	12	0.872999045	-0.028220301	1.021265615	-0.0283795
13	14	0.897495842	-0.28222939	1.050630568	-0.284035838
14	15	0.859261096	-0.028216851	1.005874454	-0.028399331
21	22	0.849855391	-0.28167462	0.994422338	-0.283850301
23	24	0.852456721	-0.028146856	0.997051798	-0.028392553
23	25	0.852456721	-0.028146856	0.997051798	-0.028392553
25	26	0.877226467	-0.028229543	1.028427042	-0.028382275
27	28	0.907331254	-0.282082781	1.063685002	-0.283821642
28	29	0.892887444	-0.028225079	1.045888411	-0.028424269
30	32	0.919342578	-0.28252495	1.072998476	-0.284674517
33	34	0.835225537	-0.028185694	0.976032539	-0.02839076
34	35	0.928593496	-0.281661863	1.086500857	-0.283776469
33	36	0.906620033	-0.028206594	1.058321815	-0.028442607
37	38	0.897472443	-0.281975722	1.052089066	-0.283598128
37	39	0.88480135	-0.028293923	1.034450167	-0.028436187
39	40	0.879829513	-0.282145834	1.028847067	-0.2842592

Tabel 6. Perbandingan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Saat Gangguan *Three Phase Symmetrical Fault* Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi

Dari Node	Ke Node	Tanpa DVR		Dengan DVR	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1	2	1113.710473	612.4989859	1.30E+03	673.2107606
3	5	595.9998775	392.1327357	703.2972547	433.6866464
7	8	22.98256686	7.927415045	27.42983349	8.768131021
9	10	395.0581115	332.0879065	465.7278134	365.667933
11	12	33.05454694	20.13055813	39.08427751	22.12736846
13	14	41.55870269	17.7275536	49.2783603	19.64968162
14	15	17.89412084	7.716353944	21.2369977	8.505219374
21	22	47.62066539	23.96763633	56.35573468	26.35017194
23	24	76.38295266	34.75309364	90.21375913	38.28242875
23	25	13.4417141	7.835056826	90.21375913	8.605086332
25	26	12.14705204	4.41905734	14.580335	4.865649956
27	28	26.22576102	11.02588941	31.48869401	12.19529574
28	29	11.11766174	4.787391333	13.24783415	5.276191443
30	32	128.1536124	64.04334006	150.1937322	70.63519501
33	34	11.06387884	5.221127934	13.01974722	5.738031762
34	35	157.6203051	63.91227497	186.6012069	70.26514389
33	36	84.75479462	42.7347907	99.37925833	46.9994423
37	38	267.0311619	178.2710392	320.4443096	195.981087
37	39	229.6612584	144.951433	270.7766477	160.4267654
39	40	220.3667335	120.1089118	259.986681	132.3213136

- Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Saat Sebelum dan Sesudah Kompensasi  
Berikut adalah perhitungan optimasi perbaikan kualitas tegangan saat sebelum dan sesudah kompensasi untuk tiap gangguan. Nilai di Node 40 dijadikan referensi karena merupakan node yang paling jauh dari sumber.

• **Voltage Sag :**

$$V_{optimasi} = V_{withSTATCOM} - V_{withoutSTATCOM}$$

$$= 0.985914601 - 0.902767763$$

$$= 0.083146838 \text{ (pu) atau } 31.59 \text{ V}$$

$$P_{optimasi} = \sum P_{withSTAT} - \sum P_{withoutSTAT}$$

$$= 248.5728046 - 213.3536099$$

$$= 35.2191947 \text{ kW}$$

• **Voltage Swell :**

$$V_{optimasi} = V_{withSTATCOM} - V_{withoutSTATCOM}$$

$$= 1.00022983 - 1.061660365$$

$$= 0.0061430535 \text{ (pu) atau } 2.33 \text{ V}$$

$$P_{optimasi} = \sum P_{withSTAT} - \sum P_{withoutSTAT}$$

$$= 247.6720345 - 277.4492614$$

$$= 29.7772269 \text{ kW}$$

• **Three Phase Symmetrical Fault :**

$$V_{optimasi} = V_{withDVR} - V_{withoutDVR}$$

$$= 1.028847 - 0.879829513$$

$$= 0.1490175 \text{ (pu) atau } 56.63 \text{ V}$$

$$P_{optimasi} = \sum P_{withDVR} - \sum P_{withoutDVR}$$

$$= 259.986681 - 220.3667335$$

$$= 39.61955 \text{ kW}$$



## KESIMPULAN

1. Pada ketiga macam gangguan yang disimulasikan, maka DVR dan D-STATCOM dapat menunjukkan kompensasi yang lebih baik dalam mempertahankan kualitas tegangan pada sistem.
2. Dengan nilai referensi di node 40. Pada kondisi *voltage Sag*, tegangan mengalami perbaikan dari 0.9027 pu atau 343,02 volt menjadi 0,9859 pu atau 374,64 volt.
3. Pada kondisi *voltage Swell*, tegangan mengalami perbaikan dari 1.0616 pu atau 403,4 volt menjadi 1.0002 pu atau 380.07 volt.
4. Pada kondisi *Three Phase Symmetrical Fault*, tegangan mengalami perbaikan dari 0.8798 pu atau 334.32 volt menjadi 1.0288 pu atau 390,94 volt.
5. Setelah dikompensasi, saat terjadi *Voltage Sag* penyaluran daya aktif dapat direduksi dari 213.3536 kW menjadi 248.5728 kW.
6. Setelah dikompensasi, saat terjadi *Voltage Swell* penyaluran daya aktif dapat direduksi dari 277.4492 kW menjadi 247.672 kW.
7. Setelah dikompensasi, saat terjadi gangguan *Three Phase Symmetrical Fault*, penyaluran daya aktif dapat direduksi dari 220.3667 kW menjadi 259.9866 kW.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hingorani, N. G., and Gyugyi, L. 2001, Understanding FACTS: “*Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*”, New York: IEEE Press.
- [2] Olimpo Anaya Lara and Acha, E.2002, “*Modeling and Analysis of Custom Power Systems*” by PSCAD/EMTDC, IEEE. Trans. on Power Delivery.17 (1): 265-272.
- [3] Stevenson, William D, Jr, “*Analisis Sistem Tenaga Elektrik*” , Penerbit Erlangga edisi keempat, 1996.
- [4] Aredes, M. Heumann, K. and Watabe, E. H.1998, “*An Universal Active Power Line Conditioner*”, IEEE Trans. on Power Delivery.13 (2): 545-551.
- [5] William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, “*Rangkaian Listrik*”, Jilid 1 edisi 4 Penerbit Erlangga, 1996.
- [6] Hadi Saadat, “*Power System Analysis*”, McGraw-Hill.

