

Analisis Mitigasi *Voltage Sag* Akibat *Graound Fault* Menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan

Ahmad Fauzan
NIM. 1312006

Afauzan245@gmail.com

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
Dosen Pembimbing 1

Ir. Taufik Hidayat, MT
Dosen Pembimbing 2

Abstrak—Gangguan *voltage sag* merupakan satu masalah dari *power quality* yang mana bisa berdampak buruk pada konsumen dan industri. Karena dapat berakibat *miss operation* pada beberapa peralatan industri atau peratan sensitif terhadap *voltage sag*. Masalah tersebut dapat diatasi dengan metode injeksi tegangan menggunakan peralatan elektronika daya yaitu *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*. Dengan dipasangnya DVR, mampu memperbaiki dampak dari *voltage sag* tersebut dengan menginjeksikan tegangan yang dibutuhkan sistem saat terjadinya *voltage sag*. Dari hasil simulasi yang dilakukan di PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan dengan penambahan pemasangan DVR, mampu memitigasi *voltage sag* yang terjadi akibat *ground fault* (satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan tiga fasa ke tanah), sehingga dampak *voltage sag* yang terjadi masih dalam batasan yang diperbolehkan yaitu diatas 0,90 p.u Nilai referensi diambil dari masing-masing beban penyulang dan yang mana hasilnya kemudian dibandingkan dengan besaran tegangan rms sebelum dan sesudah pemasangan DVR pada saat terjadi *voltage sag*.

Kata kunci—*Power quality, voltage sag, PWM, DVR, PSCAD.*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik sangatlah diperlukan untuk kebutuhan manusia, yang mana penggunaannya merupakan sebuah faktor penting baik dalam penerangan, rumah tangga, pabrik, kominikasi dan sebagainya. Banyaknya penggunaan komponen-komponen elektronika daya yang digunakan didalam bidang industri dimana komponen-komponen tersebut merupakan peralatan yang sensitif, yang mana harus disuplai oleh tegangan yang diharapkan baik besaran maupun frekuensi dalam kondisi yang konstan.

Kehadiran komponen elektronika daya membutuhkan penyediaan daya dengan kualitas yang tinggi [1,2,3], karena komponen tersebut sangat sensitif terhadap gangguan-gangguan elektromagnetik [4]. Adanya gangguan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas daya pada sistem tenaga, masalah kualitas daya seperti: kedip tegangan, *flicker*, ketidakseimbangan tegangan, pemutusan dan masalah harmonisa.

Peralatan-peralatan yang sensitif seperti *Programmable Logic Controller (PLC)*, rele, komputer, penggerak motor listrik dan lainnya, sangatlah peka terhadap perubahan tegangan yang diakibatkan oleh gangguan yang terjadi pada bagian lain pada sistem.

Kedip tegangan adalah penurunan nilai rms tegangan yang dapat terjadi dari 10 ms sampai ke 1 menit dengan

kedalaman jatuhnya tegangan sebesar 0,9 p.u - 0,1 p.u dari 1 pu nominal berdasarkan standar pada IEEE 1159-1995 [5]. Kedip tegangan merupakan salah satu faktor penyebab berkurangnya kualitas daya listrik, namun hal ini tidak bisa dihindari karena saat terjadinya gangguan tidak dapat diketahui dengan pasti. Oleh sebab itu dilakukan antisipasi apabila terjadi kedip tegangan pada sisi sumber tegangan tidak akan mengakibatkan terganggunya tegangan pada sisi beban. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*.

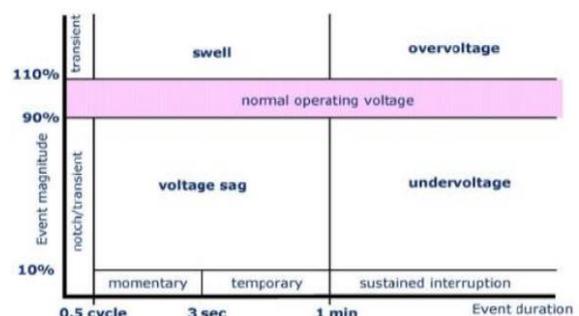
Dynamic Voltage Restore (DVR) adalah suatu peralatan yang berguna untuk mengatasi kedip tegangan. Pada dasarnya DVR mempunyai suatu *power circuit* dan suatu *control circuit*. *Control circuit* atau rangkaian kendali yang berfungsi sebagai mengatur parameter-parameter dari sinyal kendali yang harus diinjeksikan oleh DVR pada sistem, diantaranya besaran, frekuensi, pergeseran fasa, dll.

Dalam penelitian ini akan membahas tentang *voltage sag* yang disebabkan oleh *ground fault* dan memitigasi *voltage sag* dengan *Dynamic Voltage Restorer* untuk meningkatkan *power quality* pada jaringan distribusi. Simulasi yang akan dilakukan menggunakan *software PSCAD (Power Systems Computer Aided Design)*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Voltage Sag*

Voltage sag atau kedip tegangan adalah salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya kualitas daya listrik. *Voltage sag* terjadi karena penurunan nilai rms dari nilai nominalnya yang terjadi dalam waktu singkat dari 10 ms sampai beberapa detik. Menurut standar IEEE 1159-1995 *voltage sag* didefinisikan sebagai variasi tegangan rms dengan besar antara 10% - 90% dari tegangan nominal dan berlangsung selama 0,5 siklus sampai dengan satu menit [7].



Gambar 1. Definisi peristiwa tegangan
Sumber : IEEE 1159-1995

1. Sumber Voltage Sag

Terdapat beberapa hal yang menjadi penyebab utama terjadinya *voltage sag* pada sistem tenaga. Secara umum, ada dua penyebab terjadinya *voltage sag*, yaitu terjadi akibat adanya gangguan pada sistem transmisi atau distribusi sistem tenaga yang menjadi sumber dari *voltage sag* seperti *single-line-to-ground (SLG)* yang sering disebabkan oleh kondisi cuaca yang buruk seperti petir, angin, dan salju, serta aktifitas binatang dan juga disebabkan oleh manusia seperti konstruksi dan *line-to-line (L-L) fault* dapat terjadi akibat cuaca yang buruk, ranting pohon yang jatuh maupun karena aktivitas binatang binatang dan diakibatkan oleh *starting* motor induksi dengan daya yang cukup besar beserta terjadinya *energizing* transformator.

2. Pengaruh Voltage Sag Terhadap Peralatan-Peralatan Sensitif

Voltage sag memiliki pengaruh yang besar terhadap beban listrik pada konsumen terutama pada peralatan elektronik yang sensitif terhadap perubahan dari tegangan tersebut. Kesensitifan peralatan terhadap *voltage sag* sangat tergantung pada jenis beban, serta setting pengaturan dan aplikasi. Karakteristik *voltage sag* sangatlah berpengaruh pada peralatan-peralatan yang sensitif berupa waktu dan besaran *voltage sag*, meskipun untuk beberapa peralatan karakteristik seperti terjadinya pergeseran fasa ataupun ketidakseimbangan juga mempengaruhi pada saat terjadi *voltage sag* [8].

Secara umum kesensitifan sebuah peralatan terhadap *voltage sag* dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu:

- Peralatan yang sensitif terhadap besaran *voltage sag*
Peralatan yang termasuk dalam kategori ini seperti relay *undervoltage*, peralatan kontrol proses, pengaturan motor dan mesin-mesin otomatis.
- Peralatan yang sensitif terhadap besaran serta lama *voltage sag*
Peralatan yang termasuk dalam kategori ini adalah peralatan-peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya.
- Peralatan yang sensitif terhadap karakteristik lain
Beberapa peralatan seperti motor induksi, dapat dipengaruhi oleh karakteristik *voltage sag* selain daripada besaran dan lama terjadinya *voltage sag*, seperti ketidakseimbangan fasa selama terjadinya *voltage sag* dan osilasi transient selama terjadinya gangguan.

Pada kurva *Computer Business Equipment Acceptability Curves (CBEMA)*, *Information Technology Industry Council (ITIC)*, *Adjustable Speed Drive (ASD)* ditunjukkan sangat sensitif terhadap *voltage sag*, *Adjustable Speed Drive (ASD)* akan trip jika terjadi kedip tegangan dibawah 0,9 p.u dengan lama 80 ms dan kontaktor akan mengalami unenergize apabila *voltage sag* yang terjadi di bawah 0,5 p.u dengan lama *voltage sag* dari 20 ms [8].

Karakteristik toleransi tegangan pada beberapa peralatan-peralatan yang sensitif ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini [8]:

TABEL 1
NILAI TOLERANSI TEGANGAN PADA BEBERAPA PERALATAN

Peralatan	V _{min} (%)	T _{max} (ms)
PLC	60	260
AC control relay	65	20
AC drive 50 hp	75	50

Motor Starter	50	50
Personal Computer	60	50

Sumber : Fitzer (2004)

Tingkat sensitifitas peralatan bervariasi terhadap terjadinya *voltage sag*. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan pengaruh terjadinya *voltage sag* terhadap peralatan juga bervariasi, contohnya: apabila terjadi *voltage sag* pada AC *control relay* selama lebih dari 20 ms dengan kedalaman lebih kecil dari 65%, maka keadaan ini akan mengakibatkan peralatan tersebut trip.

B. Dynamic Voltage Restorer (DVR)

Dynamic Voltage Restore (DVR) adalah suatu peralatan yang berguna untuk mengatasi kedip tegangan ataupun *voltage swell*. Pada dasarnya DVR mempunyai suatu *power circuit* dan suatu kontrol sirkuit. kontrol sirkuit atau rangkaian kendali yang berfungsi sebagai pengatur parameter-parameter dari sinyal kendali yang harus diinjeksikan oleh DVR pada sistem, diantaranya besaran, frekuensi, pergeseran fasa, dll. Berdasarkan sinyal kendali maka akan diperoleh pada control yang menghasilkan tegangan yang akan diinjeksikan pada *power circuit* [8]. Adapun perhitungan dalam DVR sebagai berikut [10][11]:

indek modulasi (ma)

$$m_a = \frac{A_m}{A_c} = \frac{A_{sin}}{A_{tri}} \quad (1)$$

Menghitung kapasitansi dc pada DVR

$$C = \frac{2E}{V^2} \quad (2)$$

Dimana : E = energi yang tersimpan
V = tegangan Vdc

Menghitung tegangan fasa per unit

$$V_{ph} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Dimana : V_{LL} = tegangan keluaran line to line dalam rms

Menghitung nilai puncak tegangan fasa

$$(V_{ph})_{rated} = \frac{\sqrt{2} * V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

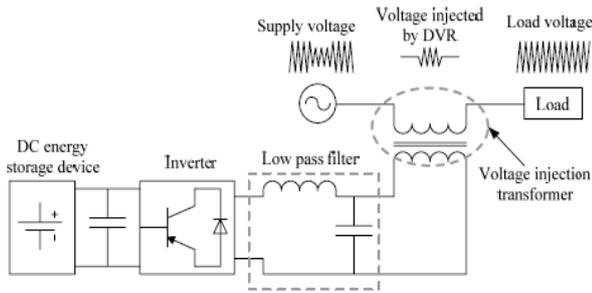
Elemen-elemen dasar pada sebuah DVR yaitu [8]:

1. Unit penyimpanan energi DC

Penyimpanan energi DC yaitu berfungsi sebagai penyediaan kebutuhan daya aktif selama terjadi kompensasi oleh DVR. Biasanya dapat digunakan baterai *Lead Acid*, *flywheel*, *super conducting magnetic energy storage (SMES)* dan *super capacitor*.

2. Voltage Source Inverter (VSI)

Voltage source inverter (VSI) adalah peralatan elektronika daya yang juga menghasilkan tegangan sinusoida dengan magnitude, frekuensi dan sudut fasa yang diinginkan. Pada dasarnya VSI berfungsi sebagai konversi tegangan DC yang dihasilkan oleh unit penyimpanan energi DC menjadi tegangan AC. VSI dikopling dengan sebuah transformator terhadap sistem. Pada *inverter* satu fasa biasanya menggunakan *Full Bridge Inverter* dengan menggunakan 4 buah *switching*.



Gambar 2. Rangkaian Sistem DVR
Sumber : Golfrid (2012)

3. Filter Pasif

Low Pass Filter terdiri dari kapasitor dan induktor, yang mana dapat diletakkan pada sisi tegangan rendah pada transformator penginjeksi tegangan. Dengan menempatkan filter pada sisi *inverter*, maka harmonisa yang bersumber dari *Voltage Source Inverter* (VSI) dapat dicegah untuk masuk ke transformator [3].

4. Transformator Injeksi Tegangan

Transformator injeksi tegangan berfungsi untuk menaikkan tegangan *supply* AC yang dihasilkan oleh *Voltage source inverter* (VSI) menjadi tegangan yang dibutuhkan. *Rating* pada *inverter* dan juga transformator injeksi menjadi suatu batasan untuk menentukan *volgtage sag* maksimum yang bisa dikompensasi, yang mana apabila arus pada jaringan lebih besar dari arus pada DVR, maka *switch by pass* akan aktif untuk mencegah arus dengan nilai yang cukup besar mengalir melalui DVR.

Suatu DVR dapat bekerja pada beberapa kondisi yaitu:

- Keadaan saat normal
Apabila unit dari penyimpanan energi DC terisi penuh, DVR akan bekerja dalam keadaan *stand by*. Pada kondisi ini DVR tidak menginjeksikan tegangan pada jaringan.
- Keadaan saat terjadi *voltage sag*
DVR akan mensuplai daya aktif dari energi yang disimpan dan bersamaan dengan daya reaktif yang dibutuhkan untuk kompensasi tegangan.
- Keadaan saat terjadi gangguan.
Pada kondisi ini terdapat resiko terjadinya arus dengan nilai yang cukup besar mengalir ke rangkaian DVR, akibatnya dapat merusak komponen-komponen sensitif pada DVR. Karena DVR merupakan suatu kompensator seri, maka apabila terjadi gangguan hubung singkat pada sisi beban, maka arus gangguan akan mengalir ke arah *inverter*. Sehingga untuk melindungi *inverter* tersebut diletakkan *switch by pass*.

III. METODE PENELITIAN

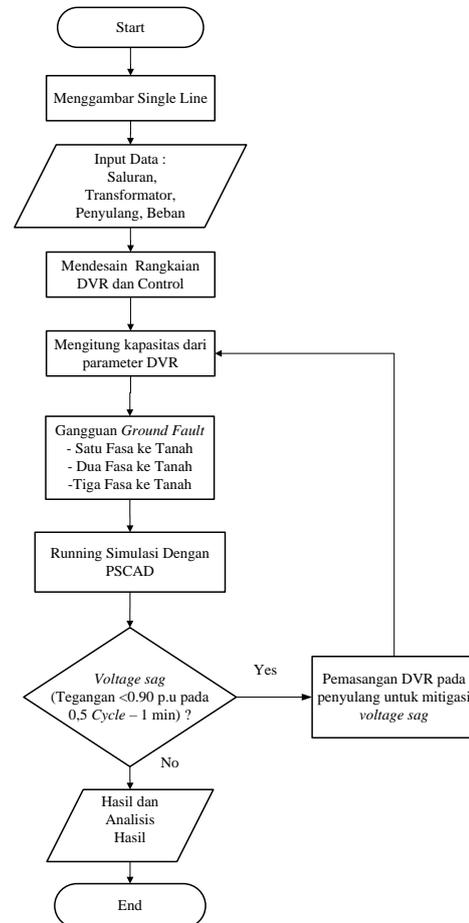
Penelitian skripsi ini menganalisa masalah kedip tegangan atau *voltage sag* yang terjadi pada sistem kelistrikan di PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan. *Voltage sag* yang terjadi pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan disebabkan adanya gangguan *ground fault*.

Data yang telah diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam sistem yang telah dimodelkan pada *software*

PSCAD/EMTDC Power Simulation sesuai dengan *single line diagram* PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan.

C. Algoritma Simulasi Software PSCAD/EMTDC

Adapun urutan langkah-langkah dalam simulasi menggunakan *software* PSCAD/EMTDC ditunjukkan seperti diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3. Flowchart pemecahan masalah

IV. HASIL DAN ANALISIS HASIL

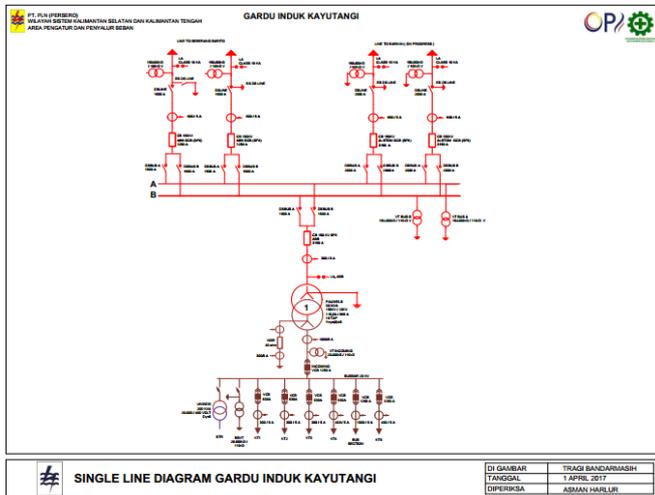
A. Analisa Mitigasi Voltage Sag Akibat Ground Fault Menggunakan Dynamic Voltage Restore

Voltage sag menyebabkan berkurangnya kualitas daya listrik, namun hal ini tidak bisa dihindari karena saat terjadinya gangguan tidak bisa diketahui dengan pasti. Dengan pemasangan DVR diharapkan bisa memperbaiki kualitas daya listrik pada saat terjadinya *voltage sag*. Analisis mitigasi *voltage sag* akibat *ground fault* menggunakan DVR dilakukan dengan bantuan *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*.

Software PSCAD/EMTDC power simulation merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan powerful. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk control dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada PT. PLN PERSERO Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software PSCAD/EMTDC power simulation*.

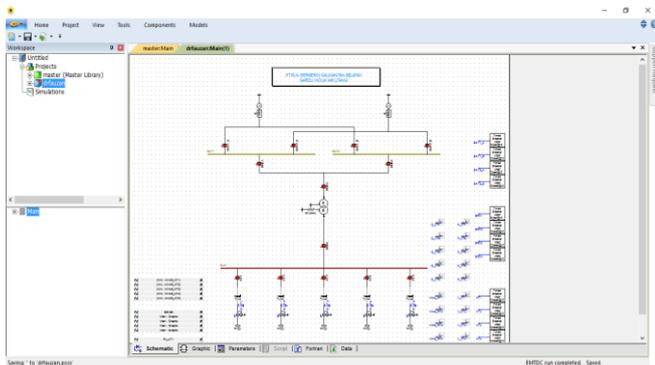
B. Single Line Diagram PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan dalam software PSCAD/EMTDC power simulation

Menggambar *single line diagram* merupakan sebuah langkah awal dalam melakukan analisis. Untuk mensimulasikan sistem dalam *software PSCAD/EMTDC power simulation*, maka terlebih dahulu menggambar rangkaian tersebut kedalam lembar kerja pada software kemudian disimulasikan sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisis hasilnya. *Single line diagram* yang akan digambar yaitu di PT. LN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan.



Gambar 4. Single line PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan

Berikut adalah gambar *single line* PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan yang digambarkan menggunakan *software PSCAD/EMTDC power simulation*.



Gambar 5. Single Line Diagram PT. PLN PERSERO Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan dalam *software PSCAD/EMTDC power simulation*

Adapun data yang diinputkan pada *Single Line Diagram* PT. PLN PERSERO Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan dalam *software PSCAD/EMTDC power simulation* yaitu :

TABEL 1
DATA BEBAN

No	Penyulang	Beban			(%)
		MW	A	MVAR	
1	KT.1	3,2	106	1.1	35,33
2	KT.2	4,5	142	1,2	47,33
3	KT.3	2,8	106	0,7	60,00

4	KT.4	3,0	106	0,9	58,70
5	KT.5	5,4	170	1,3	63,43

TABEL 2
PANJANG SALURAN PENYULANG

No	Penyulang	Jarak (KMS)
1	KT.1	10,13
2	KT.2	30,653
3	KT.3	142,6
4	KT.4	159,29
5	KT.5	82,536

TABEL 3
DATA TRANSFORMATOR

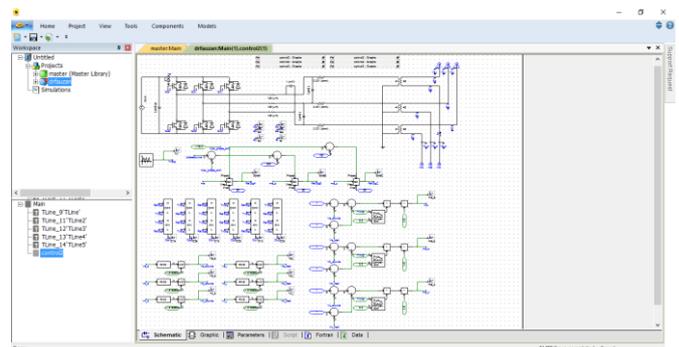
Parameter		
Merk	PAUWELS	
Type	ORF 30/275	
No.seri	E0494 / 3011070055	
Phase	3	
Freq	50	
Standart	IEC 60076	
Temp		
Tahun buat	2008	
Daya	20000 Kva	
Hubungan	Yyn0 (d5)	
Cooling	ONAN/ONAF 80/100%	
Tegangan rating	HV	150000 volt
	LV	20000 volt
	TV	10254 volt
Ampere rating	HV	115.5 Ampere
	LV	866
	TV	Not for loading
Type	NYNAS LIBRA	
Tank (kg)	30600	
Oil (kg)	12750	
Total	54200	

TABEL 4
DATA SUPLAY KE GARDU INDUK

	ULL (kV)	P (MW)	Q (Mvar)	Arus (A)		
				IL1	IL2	IL3
Line bay 1	147.16	8	3.39	33.55	34.27	33.67
Line bay 2	146.4	7.76	3.44	66.72	67.73	67.84

C. Pemodelan DVR pada Sistem

DVR dipasang pada penyulang yang sering terjadi gangguan untuk mengurangi dampak *voltage sag* terhadap beban penyulang lainnya.



Gambar 6. DVR dan pengontrol DVR

Gambar diatas menunjukkan desain dari DVR dan pengontrolnya, dalam DVR sendiri ada beberapa parameter yang harus ditentukan dalam mendesainnya, berikut adalah perhitungan dalam mendesain DVR.

Perhitungan yang digunakan dalam DVR, yaitu:

- a. Menghitung kapasitansi dc pada DVR
Perhitungan menggunakan persamaan (2.4), yang mana hasil dari perhitungan ini digunakan untuk kapasitas dari kapasitor DC pada DVR, yaitu 83 mf.

$$C = \frac{(2 \cdot 66 \cdot 10^6)}{(20000)^2} = 83 \text{ mf}$$

- b. Menghitung tegangan fasa per unit
Perhitungan menggunakan persamaan (2.5), yang mana hasil yang diperoleh dari perhitungan ini adalah dalam satuan unit fasa, hasil dari perhitungan digunakan untuk indeks modulasi terpisah untuk setiap fasa DVR, sehingga DVR dapat memperbaiki besarnya tiap fasa secara independen.

$$V_{ph} = \frac{20,47 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 11,81 \text{ kV}$$

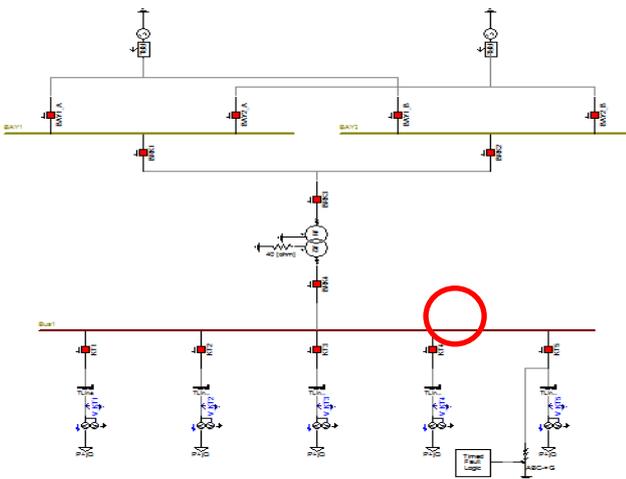
- c. Menghitung nilai puncak tegangan fasa
Perhitungan menggunakan persamaan (2.6), yang mana hasil perhitungan untuk mengetahui nilai puncak tegangan pada DVR seberar 16,7136 kV.

$$(V_{ph})_{rated} = \frac{\sqrt{2} \cdot 20,47}{\sqrt{3}} = 16,7136 \text{ kV}$$

D. Hasil dan Analisis Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Voltage Sag Menggunakan DVR

1. Analisis dan Simulasi Sebelum Pemasangan DVR

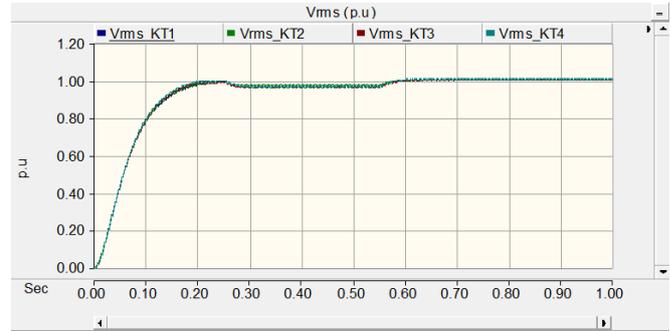
Pada simulasi pertama dilakukan untuk mengetahui profil tegangan pada sistem PT. PLN PERSERO Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan saat terjadinya gangguan ground fault pada penyulang 5 dengan *fault resistansi* 0,35 ohm, dengan *periode* 300 ms. Gangguan terjadi pada sistem pada 0,25 second sampai 0,55 second. Simulasi ini bertujuan untuk melihat dampak gangguan yang terjadi pada beban penyulang lainnya.



Gambar 7. Gangguan pada Penyulang 5

a. Satu Fasa ke Tanah

Setelah dilakukan simulasi gangguan satu fasa ke tanah, maka dapat dilihat hasil dari simulasi sebagai berikut :



Gambar 8. Tegangan rms saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah

Dapat dilihat pada gambar 8 diatas, waktu terjadinya gangguan menyebabkan turunnya tegangan sesaat pada beban penyulang yang terkena dampak gangguan satu fasa ke tanah, tegangan rata-rata tiap beban penyulang turun menjadi 0,969 p.u. Meskipun terjadi *voltage sag* pada beban penyulang lainnya, tetapi masih dalam batas yang diperbolehkan yaitu di atas 0.90 p.u.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

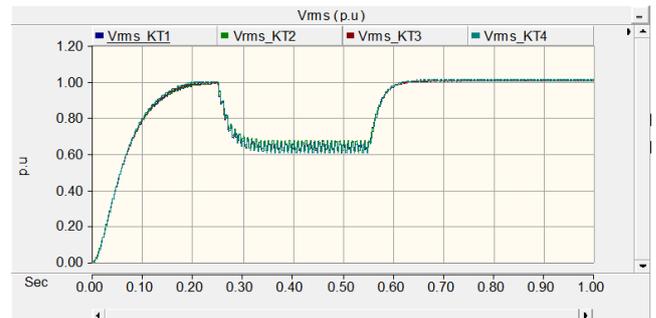
TABEL 5

TEGANGAN RMS PADA BEBAN-BEBAN PENYULANG YANG TERKENA DAMPAK GANGGUAN SATU FASA KE TANAH

No	Beban penyulang	Vrms pada beban penyulang saat terjadi <i>voltage sag</i> (p.u)
1	KT1	0,971
2	KT2	0,974
3	KT3	0,965
4	KT4	0,969

b. Dua Fasa ke Tanah

Setelah dilakukan simulasi gangguan dua fasa ke tanah, maka dapat dilihat hasil dari simulasi sebagai berikut :



Gambar 9. Tegangan rms saat terjadi gangguan dua fasa ke tanah

Gambar 9 diatas menunjukkan, saat terjadi gangguan dua fasa ke tanah menyebabkan *voltage sag* yang lebih besar jika dibandingkan dengan gangguan satu fasa ke tanah , tegangan rata-rata tiap beban penyulang turun menjadi 0,656 p.u. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

TABEL 6

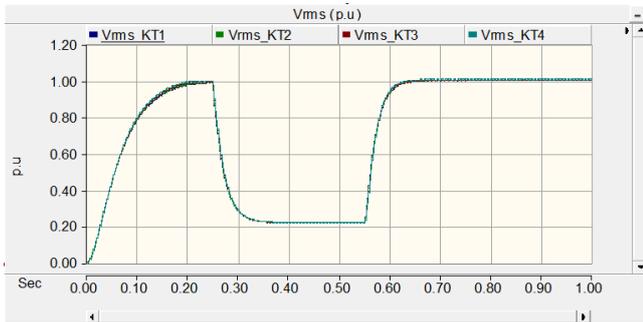
TEGANGAN RMS PADA BEBAN-BEBAN PENYULANG YANG TERKENA DAMPAK GANGGUAN DUA FASA KE TANAH

No	Beban penyulang	Vrms pada beban penyulang saat terjadi <i>voltage sag</i> (p.u)
1	KT1	0,668
2	KT2	0,666
3	KT3	0,647
4	KT4	0,645

Dari tabel menunjukkan bahwa jatuh tegangan yang terjadi kurang dari batas yang diperbolehkan yaitu tidak kurang dari 0.90 p.u.

c. Tiga Fasa ke Tanah

Setelah dilakukan simulasi gangguan tiga fasa ke tanah, maka dapat dilihat hasil dari simulasi sebagai berikut :



Gambar 10. Tegangan rms saat terjadi gangguan tiga fasa ke tanah

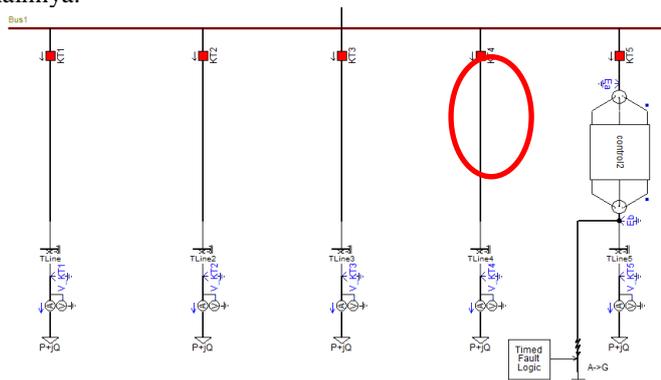
Gambar 10 menunjukkan bahwa jatuh tegangan yang terjadi pada saat gangguan tiga fasa ke tanah lebih besar jika dibandingkan dengan gangguan ke tanah lainnya. Tegangan rata-rata pada tiap beban penyulang yang terkena dampak gangguan turun menjadi 0,22 p.u. Saat terjadinya gangguan tiga fasa ke tanah ini menyebabkan *voltage sag* kurang dari batas yang diperbolehkan yaitu tidak kurang dari 0,90 p.u. untuk hasil lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

TABEL 7
TEGANGAN RMS PADA BEBAN-BEBAN PENYULANG YANG TERKENA DAMPAK GANGGUAN TIGA FASA KE TANAH

No	Beban penyulang	Vrms pada beban penyulang saat terjadi <i>voltage sag</i> (p.u)
1	KT1	0,220
2	KT2	0,219
3	KT3	0,220
4	KT4	0,221

2. Analisis dan Simulasi Sesudah Pemasangan DVR

Pada simulasi ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar DVR dapat menginjeksikan tegangan untuk mengurangi dampak *voltage sag* pada sistem kelistrikan di PT. PLN PERSERO Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan, yang mana DVR diletakkan di titik penyulang yang paling sering terjadi gangguan dengan tujuan untuk bisa mengurangi dampak yang lebih baik ke beban penyulang lainnya.

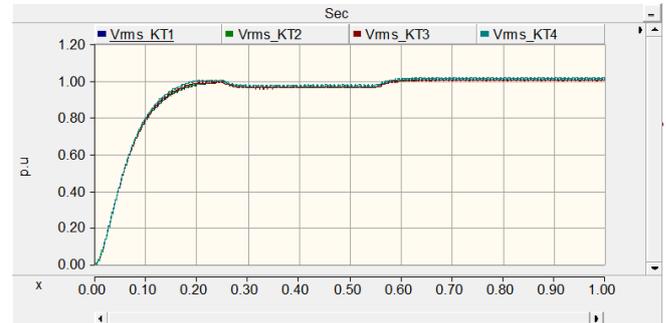


Gambar 11. Penempatan DVR

Saat terjadinya gangguan dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah, menyebabkan jatuhnya tegangan kurang dari 0,90 p.u, maka dilakukan pemasangan DVR untuk dapat mengurangi dampak dari gangguan yang terjadi.

a. Dua Fasa ke Tanah

Setelah pemasangan DVR, maka dilakukan simulasi gangguan dua fasa ke tanah untuk melihat kemampuan dari DVR untuk mengurangi *voltage sag* yang terjadi.



Gambar 12. Tegangan rms saat terjadi gangguan dua fasa ke tanah setelah pemasangan DVR

Gambar 12 menunjukkan setelah dilakukan pemasangan DVR pada Penyulang 5, dapat mengurangi dampak dari gangguan dua fasa ke tanah yang terjadi, yang mana sebelum pemasangan DVR tegangan awalnya turun menjadi 0,656 p.u, tetapi setelah dilakukan pemasangan DVR tegangan pada beban penyulang naik menjadi 0,963 p.u. Hasil jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

TABEL 8
VOLTAGE SAG SAAT TERJADI GANGGUAN DUA FASA KE TANAH SEBELUM PEMASANGAN DAN SETELAH PEMASANGAN DVR

No	Beban penyulang	Vrms pada beban penyulang saat terjadi <i>voltage sag</i> (p.u)	
		Tanpa DVR	Dengan DVR
1	KT1	0,668	0,964
2	KT2	0,666	0,962
3	KT3	0,647	0,959
4	KT4	0,645	0,967

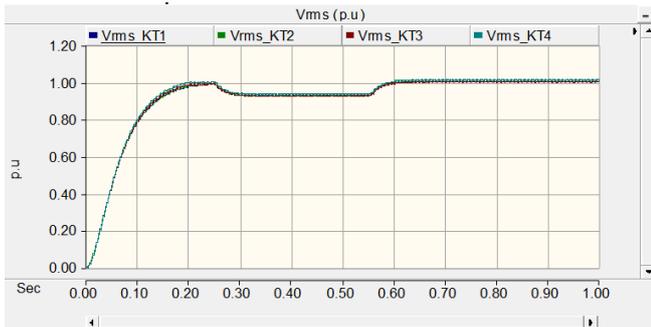
Berikut adalah grafik perbandingan saat terjadinya gangguan dua fasa ke tanah sebelum dan sesudah dipasang DVR.



Gambar 13. Perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan DVR pada saat terjadinya gangguan dua fasa ke tanah

b. Tiga Fasa ke Tanah

Gangguan tiga fasa ke tanah dilakukan untuk dapat melihat seberapa besar kemampuan dari DVR untuk dapat mengurangi *voltage sag* yang terjadi.



Gambar 14. Tegangan rms saat terjadi gangguan tiga fasa ke tanah setelah pemasangan DVR

Gambar 13 menunjukkan bahwa setelah pemasangan DVR saat terjadinya gangguan tiga fasa ke tanah dapat mengurangi *voltage sag* yang terjadi, yang mana sebelum pemasangan DVR tegangan rata-rata pada beban penyulang waktu terjadi *voltage sag* menjadi 0,22 p.u, tetapi setelah dilakukan pemasangan DVR tegangan rata-rata pada beban penyulang menjadi 0,929 p.u. untuk hasil lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

TABEL 8

VOLTAGE SAG SAAT TERJADI GANGGUAN TIGA FASA KE TANAH SEBELUM PEMASANGAN DAN SETELAH PEMASANGAN DVR

No	Beban penyulang	Vrms pada beban penyulang saat terjadi <i>voltage sag</i> (p.u)	
		Tanpa DVR	Dengan DVR
1	KT1	0,220	0,929
2	KT2	0,219	0,928
3	KT3	0,220	0,926
4	KT4	0,221	0,934

Berikut adalah grafik perbandingan saat terjadinya gangguan tiga fasa ke tanah sebelum dan sesudah dipasangnya DVR.



Gambar 14. Perbandingan sebelum dan sesudah pemasangan DVR pada saat terjadinya gangguan tiga fasa ke tanah

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- Saat terjadi gangguan *voltage sag* pada 0,25 second dengan durasi gangguan 300 ms, pada sisi beban penyulang-penyulang yang terkena dampak dari *ground fault* mengalami jatuh tegangan atau terjadinya *voltage sag*, saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah, tegangan rata-rata pada 4 beban penyulang yang terkena dampak gangguan turun menjadi 0,96975 p.u. Meskipun terjadi *voltage sag* tetapi *voltage sag* yang terjadi masih dalam batas aman yaitu diatas 0.90. Pada gangguan dua fasa ke tanah, tegangan rata-rata pada 4 beban penyulang yang terkena dampak gangguan turun menjadi 0,6565 p.u dan saat terjadi gangguan tiga fasa ke tanah, tegangan rata-rata pada 4 beban penyulang yang terkena dampak gangguan turun menjadi 0,22 p.u.
- Pengurangan dampak *voltage sag* dilakukan pada gangguan dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah, sedangkan pada satu fasa ke tanah tidak dilakukan mitigasi *voltage sag*, karena *voltage sag* yang terjadi masih dalam batas aman atau diatas 0.90 p.u. Setelah dilakukan pemasangan DVR, *voltage sag* yang terjadi saat gangguan dua fasa ke tanah, tegangan rata-rata pada 4 beban penyulang naik menjadi 0,963 p.u. dan saat terjadinya gangguan tiga fasa ke tanah, tegangan rata-rata pada 4 beban penyulang naik menjadi 0,92925 p.u.

B. Saran

Untuk menganalisis dampak *voltage sag* yang lebih baik pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan, maka jika memungkinkan sebaiknya data yang diperoleh untuk data gangguan mencatat kapan terjadinya *voltage sag* yang terjadi dilapangan agar dapat diketahui seberapa besar terjadinya *voltage sag* yang terjadi dan berapa banyak beban yang dipakai konsumen pada saat terjadinya *voltage sag* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan, Mc. Granaghan, Santoso, Beaty. (2002). *Electrical Power System Quality*, Mc. Graw Hill.
- [2] Heine, Pirjo. (2003) *Voltage Sag Distributions Caused by Power System Faults*, IEEE Transaction on Power System.
- [3] Kamble, Thorat, " *Voltage Sag : A Major Power Quality Issue*, India: Department of Electrical Engineering Aurangabad.
- [4] Bollen, Math. (2006). *Voltage Sags*, Taylor and Francis Group.
- [5] Wahab, Yusof. (2006). *Voltage Sag and Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer*, ElektriKA, Vol. 8, No.2.
- [6] Fitzer, Barnes. (2004). *Voltage Sag Detection Technique For a Dynamic Voltage Restorer*. IEEE Transaction on Industry Applications.
- [7] Rakhman, Prayuga, Arif. (2012). *Analisis Pengaruh Koordinasi Peralatan Proteksi Terhadap Karakteristik Voltage Sag di PT. PUPUK KalTim (PKT) Bontang*. ITS
- [8] Terang, Sembiring, Gultom, Golfrid. (2012). *Analisa Pemulihan Kedip Tegangan Akibat Gangguan Satu Fasa ke Tanah dengan Menggunakan Dynamic Coltage Restore pada Sistem Tiga Fasa dengan Beban Bervariasi*.
- [9] Marefatjou, Haniyeh., Sarvi, Mohammad. (2012). *Compensation of Single-Phase and Three-Phase Voltage Sag and Swell Using Dynamic Voltage Restore*. International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE).
- [10] M. Gole. (2000). *Sinusoidal Pulse Width Modulation*.
- [11] Haskell, Timoty, David. (2013). *Modeling And Analysis Of A Dynamic Voltage Restorer*. Faculty of California Polytechnic State University.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Wawai, Kalimantan Selatan pada tanggal 25 Desember 1994 dari Bapak Muhammad Aminullah dan Ibu Mahriyati. Penulis memulai pendidikan pada tahun 2001 di SDN 02 Wawai dan lulus dari pendidikan SD pada tahun 2006. Pertengahan tahun 2007 penulis menempuh pendidikan di Pondok Pesantren Modern Darul Istiqamah Barabai selama 3 tahun hingga tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di MAN 3 Barabai dengan bidang studi Ilmu Pengetahuan Alam mulai tahun 2011 dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis memilih Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri. Penulis melaksanakan praktek kerja nyata untuk persyaratan Skripsi, penulis melakukan praktek kerja nyata tersebut di PT. Semen Indonesia, Tbk Kota Tuban Jawa Timur terhitung selama 1 bulan Devisi Seksi Pemeliharaan Listrik RKC 1-2 Pabrik Tuban dengan judul laporan “Sistem Proteksi pada Motor di PT. Semen Indonesia. Tbk” dan di wisuda pada tanggal 30 September 2017, dengan judul skripsi “Analisis Mitigasi *Voltage Sag* Akibat *Ground Fault* Menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* Di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan”.