

**ANALISA PENEMPATAN DVR(DYNAMIC VOLTAGE RESTORER)
UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN
VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN PROGRAM PSCAD/ EMTDC DI
PT.PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG**

SKRIPSI



Disusun Oleh :

**MUKHAMAT NOVAN ODE MANTRA
NIM. 0712001**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENEMPATAN DVR (DYNAMIC VOLTAGE RESTORER) UNTUK
PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG
MENGUNAKAN PROGRAM PSCAD/EMTDC DI PT.PG.KREBET BARU 1
BULULAWANG MALANG**

SKRIPSI

Di susun dan di ajukan untuk memenuhi persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik

Disusun Oleh :

MUKHAMAT NOVAN ODE MANTRA

NIM. 07.12.001

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1**

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP.Y. 10187001151

Dosen Pembimbing II

Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP.198003012005011002

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

SURAT PERYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mukhamat Novan Ode Mantra

Nim : 07.12.001

Program Studi : Teknik Elektro - S1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali di cantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apa bila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, September 2012

Ya METERAL
TEMPEL aan,

91398ABF249923369

6000

Mukhamat Novan Ode Mantra

Nim: 07.12.001

**ANALISA PENEMPATAN DVR(DYNAMIC VOLTAGE
RESTORER) UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN
AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN
PROGRAM PSCAD/EMTDC DI PT.PG.KREBET BARU 1
BULULAWANG MALANG**

Mukhamat Novan Ode Mantra
Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang
E-mail : Topan_Topin@ymail.com

Abstrak

Gangguan penurunan tegangan sesaat (sag) merupakan salah satu gejala yang umum dalam sebuah sistem jaringan distribusi tenaga listrik. Penurunan tegangan ini dapat mempengaruhi penyaluran dan kontinuitas pelayanan energy listrik ke beban. Ada dua macam penurunan tegangan sesaat (sag) yaitu seimbang dan tak seimbang. DYNAMIC VOLTAGE RESTORE (DVR) merupakan salah satu alat kompensasi yang dapat mengatasi permasalahan ini. DVR dipasang secara seri pada jaringan terhadap beban yang bermasalah. Prinsip dasar DVR menginjeksikan tegangan kedalam system untuk kompensasi V_{sag} dan mempertahankan nilai tegangan pada batas-batas yang diinginkan. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG, dengan kompensasi DVR, diambil dari nilai referensi dari beban pada panel 5 yang mengalami penurunan yang paling signifikan untuk voltage sag. Perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah kompensasi saat gangguan voltage sag adalah dari 0.774 (pu) atau 294.12 volt menjadi 0.992 (pu) atau 376.96 volt

Kata kunci : sistem distribusi, DVR, voltage sag

KATA PENGANTAR

Segala puji kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul *Analisa Penempatan DVR (Dynamic Voltage Restore) Untuk Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Gangguan Voltage Sag Menggunakan Program PSCAD/EMTDC Power Simulation Di PT .PG. Kribet Baru 1 Bululawang Malang*

Penulisan dan Analisa Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.

Tak lupa penulis sampaikan penghargaan dan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT. selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, ITN Malang.
4. Bapak Ir. Taufik Hidayat. MT. selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Awan Uji Krismanto. ST, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Awan Uji Krismant. ST, MT selaku Dosen Konsultasi Judul.
7. Bapak Purwanto Kabak Humas SDM & Umum PG. Kribet Baru 1 Bululawang Malang
8. Bapak Heri Widodo (Kabak Instalasi KB 1) PG. Kribet Baru 1 Bululawang Malang
9. Bapak Mujito Teknisi Kelistrikan PG. Kribet Baru 1 Bululawang Malang

10. Seluruh dosen-dosen teknik Elektro ITN Malang yang telah membantu dalam memberikan solusi dalam konsultasi laporan PKN.
11. Segenap keluarga yang telah memberikan semangat dan doa restu terutama Papa Salim HJ. Amin dan Mama Sri Astutik.
12. Semua pihak yang telah membantu demi terselesaikannya penyusunan skripsi ini.

Kami menyadari akan adanya kekurangan-kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan kami. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran membangun dari semua pihak agar dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya kami berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak Amin.....

Wassalamualaikum Warohmatullohi Wabarokatuh.....

Malang, September 2012

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan	i
Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
Daftar Grafik	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Pembahasan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Tentang DVR (<i>Dinaic Voltage Restorer</i>)	6
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1. Sitem Tenaga Listrik	7
2.3 Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.4 Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik	8
2.5 Sistem Per Unit (pu) Per unit.....	9
2.6 <i>Voltage Sag</i>	10
2.7 Penyebab <i>Voltage Sag</i>	13
2.8 Pralatan Yang Peka Terhadap <i>Voltage Sag</i>	14
2.9 <i>Dinaic Voltage Restorer</i> (DVR)	17
2.10 Stukyur Rangkaian DVR(<i>Dinaic Voltage Restorer</i>).....	18
2.11 Prinsip Kerja DVR (<i>Dinaic Voltage Restorer</i>)	18

2.12 Teknik Kompensasi DVR (<i>Dinamic Voltage Restorer</i>).....	24
2.13 Singel line PT. PG KREBET BARU 1	25
2.14 Data Spesifikasi Mesin Di PT PG. KREBET BARU 1.....	26

**BAB III ANALISA PENEMPATAN DVR(DYNAMIC VOLTAGE RESTORER)
UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN VOLTAGE
SAG**

3.1 Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power.....	32
3.2 Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation	34
3.3 Sistem Pengendalian PWM Sinusoida (<i>Pulse Widht Modulation</i>)	35
3.3.1 PWM (<i>Pulse Widht Modulation</i>) Sinusoida	36
3.3.2 Aksi Kontrol PWM(<i>Pulse Widht Modulation</i>) Sinusoida Terhadap DVR	36
3.4 Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI) Pengendali Integral	36
3.4.1 Umum	38
3.4.2 Prinsip-prinsip Pengendalian Proses	39
3.4.3 Prinsip Kerja Pengendali	39
3.4.4 Pengendali Proporsional	42
3.4.5 Pengendali Integral (PI)	43
3.4.6 Pengendali Proporsional Integral	44
3.5 Kompensasi DVR Sistem Distribusi Tenaga Listrik	45
3.5.1 Konfigurasi DVR(<i>Dinamic Voltage Restorer</i>) Dan PWM(<i>Pulse Widht Modulation</i>).....	46
3.6 Sistem Yang Digunakan.....	47
3.7 Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC	47
3.7.1 Flowchart Penyelesaian Masalah	47
3.7.2 Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM (<i>Pulse Widht Modulation</i>)	48

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1 Single Line Sistem Pada PG KREBET BARU 1 Dalam Software PSCAD/EMTDC Power Simulation	49
4.2 Data Sistem Di PT PG KREBET BARU 1	50
4.3 Solusi Perbaikan Profil Tegangan Sag Unbalance Menggunakan Software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation	50
4.4 Grafik Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan DVR(<i>Dinaic Voltage Restorer</i>)	50
4.5 Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi DVR (<i>Dinaic Voltage Restorer</i>)	53
4.6 Hasil Kompensasi Dan Aliran Daya Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i>	53
4.6.1 Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi DVR (<i>Dinaic Voltage Restorer</i>)	54
4.6.1 Perbandingan Tanpa dan Dengan DVR (<i>Dinaic Voltage Restorer</i>)	56
4.7 Analisa Hasil	56

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Grafik Terjadinya <i>Voltage Sag</i> Pada Sistem.....	11
2. Gambar 2.3 Model Pembagi Tegangan Untuk <i>Voltage Sag</i> (<i>EL-Shennwy dkk</i> 2010).....	13
3. Gambar 2.3 <i>Voltage Sag</i> Yang Di Sebabkan Hubung Sinkat Ketanah(a) Bentuk Gelombang rms Untuk <i>Voltage Sag</i> .(b) Bentuk Gelombang sinus Untuk <i>Voltage Sag</i> (Dukan dkk,2002).....	14
4. Gambar 2.4 DC Link Untuk Bentuk Pulse Width Modulation (PWM) <i>Pulse</i> <i>Width Modulation</i> dari Adjust Cable Peed Drive(California Energy Commissin,2002).....	15
5. Gambar 2.5 Bentuk Dari Programmable Logic Lontorer(California Energy Commision, 2000).....	16
6. Gambar 2.6 Batasan Kepekaan Beberapa Pralatan Terhadap <i>Voltage Sag</i> (Dugan dkk,2002).....	16
7. Gambar 2.7 Diagram Blok Fungional Untuk DVR(<i>Dynamic Voltage Restorer</i>)	17
8. Gambar 2.8 <i>Dinamic Voltage Restorer</i> (Padiyar, 2007).....	17
9. Gambar 2.9 Model Koneksi Dari Injection/coupling transformer Untuk Level Tegangan Tinggi (a) Hubungan Star/ Open (b) Hubungan Delta/ Open (Perera,2006).....	19
10. Gambar 2.10 Model VSC Pada Rangkaian DVR (<i>Dynamic Voltage Restorer</i>) (I luang,2003).....	20
11. Gambar 2.11 Perbedaan Pencmpatan Filter (Perera,2006).....	21
12. Gambar 2.12 Sumber Tegangan Sinkron Yang Bekerja Dengan <i>Voltage Source</i> <i>Inverter</i>	22
13. Gambar 2.13 Pemodelan DVR(<i>Dynamic Voltage Restorer</i>) Pada Sistem Tenaga Sederhana Menggunakan PSCAD (Nguyen Dan Sasa,2004).....	23

14. Gambar 2.14 Diagram Fasor Yang Menunjukkan Tegangan Injeksi.....	25
15. Gambar 2.15 Strategi Kontrol Alternatif DVR <i>Dynamic Voltage Restorer</i> (Padiyar, 2007).....	26
16. Gambar 2.16 Diagram Fasor Yang Menentukan $V_{s \min}$ Dengan Injeksi Quadrature (Padiar, 2007).....	27
17. Gambar 3.1 Tampilan Utama Sofwere PSCAD Power Simulation	33
18. Gambar 3.2 Tampilan Master Library.....	34
19. Gambar 3.3 Tampilan Modul Utama.....	34
20. Gambar 3.4 Tampilan Singel Line Sistem Proteksi Di PT.PG KREBET BARU 1 BULULAWANG.....	35
21. Gambar 3.5 Kontroler Dan Diagram Kontak.....	39
22. Gambar 3.6 Diagram Blok Kontroler Propesional.....	40
23. Gambar 3.7 Reponse Sebuah Pengendali Proporsional.....	41
24. Gambar 3.8 Blok Diagram Kontroler Integral.....	43
25. Gambar 3.9 Diagram Kontak Pengendali PI.....	43
26. Gambar 3.10 Hubungan Inoput-Output Pengendali PI Dalam Fungsi Waktu.....	44
27. ..Gambar 3.10 DVD Dalam istem DVR <i>Dynamic Voltage Restorer</i>	45
28. Gambar 3.11 Pengendali DVR <i>Dynamic Voltage Restorer</i>	46
29. Gambar 3.12 DVR <i>Dynamic Voltage Restorer</i> Dalam Sistem.....	46
30. Gambar 3.13 Flowchat Penyelesaian Masalah.....	47
31. Gambar 3.14 Flowchat Desain Control DVR <i>Dynamic Voltage Restorer</i> Menggunakan PSCAD/EMTDC.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Fariasi Tegangan Berdasarkan Standar IEEE 1159 Sumber: (IEEE Sdt, 1995)	13
Tabel 4.4 : Sebelum Kompesasi DVR (Dynamic Voltage Restorer).....	47
Tabel 4.7 : Hasil Simulasi Sesudah Dan Sebelum Kompesasi DVR(fasa a, Fasa b, Fasa c DVR. Dynamic Voltage Restorer).....	47
Tabel 4.1 : Data Beban Pada Masing Masing Sistem Di PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG.....	44

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 : Bentuk Gelombang Tegangan Normal	50
Grafik 4.2 : Bentuk Gelombang Tegangan Ketika Terjadi <i>Voltage Sag</i> <i>Pada Panel Grup 5 Kapasitas 75 kw)</i>	51
Grafik 4.3 : Bentuk Gelombang Tegangan Ketika Terjadi <i>Voltage Sag</i> Perfasa Sebelum Kompesasi DVR(<i>Dynamic Voltage Restorer</i>) Pada Pompa Air Pengisi Ketel	52
Grafik 4.4 : Grafik Tegangan Setelah Kompensasi dan Setelah Kompensasi Akibat <i>Voltage Sag</i> Pada Panel Grup 5 Kapasitas 75 kw	53
Grafik 4.5 : Grafik Tegangan Setelah Kompensasi DVR <i>Dynamic Voltage</i> <i>Restorer</i>)Pada Beban 75 kw Akibat <i>Voltage Sag</i> Perfasa.....	53

berbanding lurus terhadap banyaknya gangguan penurunan tegangan pada lokasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana Solusi untuk meningkatkan kualitas tegangan pada saat terjadi *voltage sag* didalam system dengan pemasangan DVR pada sistem kelistrikan di PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG.

1. Bagaimana kondisi *voltage sag* pada sistem daya yang diakibatkan oleh *starting* motor kapasitas besar menggunakan *software PSCAD*.di PT.PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG
2. Bagaimana pemodelan *DVR* pada sistem daya dengan menggunakan *software PSCAD*.di PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG
3. Bagaimana spesifikasi *DVR* untuk mengatasi *voltage sag* pada sistem daya yang diakibatkan oleh *starting* motor kapasitas besar. di PT.PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG

Dari permasalahan di atas makalah skripsi ini dengan judul:

**”ANALISA PENEMPATAN DVR(DYNAMIC VOLTAGE RESTORER)
UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN
VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN PROGRAM PSCAD/ EMTDC DI PT.PG.
KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG”**

1.3 Tujuan Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka skripsi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari pemasangan *Dynamic Voltage Restore (DVR)* dalam memperbaiki *voltage sag* di PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan mengarah sesuai substansi yang dibahas, maka pembahasan skripsi ini dibatasi oleh hal-hal berikut :

1. Studi dilakukan di PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG.
2. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*.
3. Mekanisme kerja *DVR* dalam mengatasi *voltage sag* guna memperbaiki kualitas tegangan di PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG
4. Tidak membahas tentang *supresi harmonis*
5. Tidak membahas starting motor secara meluas
6. Tidak membahas pengasutan motor

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan dibagi dalam beberapa bab dan sub bab, adapun sistematika penulisa skripsi ini adalah:

BAB I : Pendahuluan

Berisi penguraian tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian dan Sistematika pembahasan yang akan dipaparkan dalam skripsi ini.

BAB II : Landasan Teori

Pada bab ini diuraikan mengenai teori dasar tentang sistem tenaga listrik secara umum, penyebab terjadinya *voltage dip* dan prinsip kerja *DVR (Dynamic Voltage Restore)*

BAB III : Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini menjelaskan secara rinci mengenai rancangan dan prosedur, waktu dan tempat penelitian serta alat dan bahan yang digunakan.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Menguraikan tentang hasil simulasi dan menganalisa hasil simulasi.

BAB V : Penutup

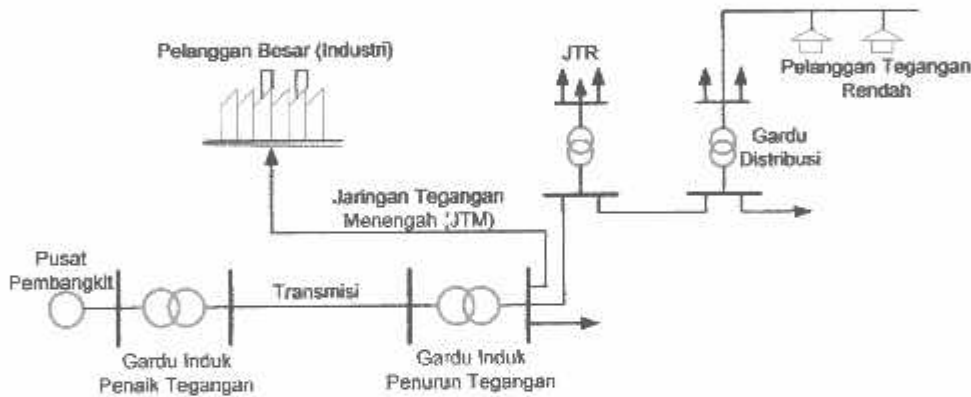
Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi yang di laku kan
dilapangan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat-pusat pembangkit seperti PLTA (pembangkit listrik tenaga air), PLTU (pembangkit listrik tenaga uap), PLTG (pembangkit listrik tenaga gas), PLTP (pembangkit listrik tenaga panas bumi) dan PLTD (pembangkit listrik tenaga diesel) yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang berada di pusat listrik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Jaringan distribusi tegangan menengah (JTM), jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) dan sambungan rumah ke pelanggan (Marsudi, 1990)

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan menengah atau yang disebut sebagai tegangan distribusi primer. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik

diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan ke rumah-rumah atau pelanggan (Marsudi, 1990).

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:

1. Sistem distribusi primer (jaringan tegangan menengah/JTM)
2. Sistem distribusi sekunder (jaringan tegangan rendah/JTR)

Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

2.2.1 Teori dasar tentang DVR

Mungutip pernyataan Fitzer, Barnes dan Green (2004) menyatakan pada saluran distribusi, dimana *DVR* digunakan bukan hanya untuk mendeteksi dan mengatasi *voltage sag* tapi juga menentukan kedalaman *sag* (*depth sag*) dan perubahan fasanya. Penelitian yang dilakukan oleh Anaya-Lara dan Acha (2002) menganalisis mengenai pemodelan dan analisis *custom power controller*. Pemodelan pada penelitian ini menggunakan program *PSCAD/EMTDC* versi *student* (www.pasca.com) yang digunakan untuk mengatasi *voltage sag*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *DVR* dapat meregulasi tegangan dengan baik dan dapat mengkompensasi *voltage sag* pada beban sensitive dengan amplituda tegangan *rms* sebesar 98% dengan durasi 300-600 *ms*.

Dimana kemampuan *DVR* untuk mengkompensasi daya dan regulasi tegangan ditentukan oleh dua faktor, yaitu rating peralatan *dc storage* dan karakteristik dari *coupling transformers*, dua faktor ini menentukan nilai maksimum pengurangan *sag* yang diberikan *DVR*. Pradhan dan Routray dalam jurnal yang berjudul *Applying Distance Relay for Voltage Sag Source Detection* pada tahun 2005 menganalisis mengenai aplikasi dari rele jarak (*distance relay*) sebagai informasi untuk mendeteksi

sumber *voltage sag*. Dengan penggunaan rele jarak dapat mendeteksi sumber *voltage sag* dengan menggunakan impedansi magnituda (*impedance magnitue*) dan impedansi sudut (*impedance angle*) sebelum dan sesudah terjadinya *voltage sag*.

Pawawoi (2009) dalam jurnalnya menyatakan bahwa *voltage sag* dapat disebabkan oleh pengasutan motor kapasitas besar. Pada pengasutan motor, arus *starting* yang dihasilkan dapat mencapai 6-10 kali nilai nominalnya sehingga perlu diterapkan metode *starting* motor untuk.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Ketel uap Di PT PG KREBET BARU I

Ketel uap merupakan mesin konversi energi yang di rancang sedemikian rupa sehingga dapat merubah air menjadi uap, dengan jalan di panaskan di dalam ketel uap di sebut juga mesin konversi enegi yang di gunakan untuk merubah panas pembakaran menjadi panas bentuk uap, uap yang di hasilkan itulah yang di gunakan sebagai sumber tenaga untuk menggerakan mesin-mesin uap, seperti turbib dan lain.

Misalnya pada suatu instalasi ketel uap yang di gunakan untuk pembangkit tenaga listrik di mana konversi energi berlangsung 3kali . Air yang bertekanan atmosfer merupakan kendalan ketel yang di panaskan sehingga menjadi uap. Uap yang di hasilkan oleh ketel pembawa energi potensial yang selanjut nya di ubah menjadi energi mekanis pada turbin uap dengan pralatan generator, energi listrik tersebut di gunakan oleh pralatan lain nya pada instalasi tenaga uap ini mengalami sirkulasi penuh yaitu uap bekas dari turbin di embun kan oleh *konkensor* dan di pompakan lagi keketel uap. Dalam pratek nya selalu ada air pengisi ketel dari luar karna adanya kebocoran uap dan pengurangan air karna proses bluw dwon dan sebagainya.

2.3 Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Gangguan penyediaan tenaga listrik tidak dapat di kehendaki bagi siapapun, tetapi merupakan kenyataan yang tidak dapat di hindari. Pada dasarnya gangguan pada sistem distribusi dapat di bedakan menjadi loncatan api pada isolasi udara atau minyak dalam sistitem proteksi.

Secara umum jenis gangguan dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

- a. Dari macam gangguan:
 - Gangguan fasa ke fasa.
Gangguan tiga fasa.
 - Gangguan dua fasa ke tanah.
 - Gangguan satu fasa ke tanah.
- b. Dari lamanya waktu gangguan:
 - Gangguan temporer.
 - Gangguan permanen.

Dari bermacam-macam gangguan di atas tersebut, gangguan dapat dikelompokkan lagi menjadi dua bagian yaitu:

- a. Gangguan hubung singkat simetris
Gangguan hubungan singkat tiga fasa merupakan jenis gangguan hubungan singkat simetris, sedangkan gangguan yang lain merupakan gangguan tidak simetris. Gangguan arus hubung singkat ini menyebabkan timbulnya arus yang sangat besar yang melewati nilai kapasitas arus yang diijinkan, adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut.
- b. Gangguan hubung singkat tak simetris
Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat dari gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa atau gangguan dua fasa ke tanah.

2.4 Daya Dalam Sistem Tenaga listrik

Listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt. Daya dalam watt yang discrap oleh. Daya aktif (*active power*).

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan:

- a. Daya aktif (*active power*)

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan:

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan:

$$P = V \cdot I \cos \varphi \dots\dots\dots(2.1)$$

h. Daya reaktif (*reactive power*)

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (VAR).

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = V \cdot I \sin \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$

c. Daya semu (*apparent power*)

Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.3)$$

d. Faktor daya (*power factor*)

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata (P) dan daya semu (S), dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata}(W)}{\text{Daya Semu}(VA)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut.



Gambar 2.2 Segitiga daya dan hubungannya antara daya aktif reaktif dan daya semu (Sankaran, 2002)

dari persamaan 2.3 dijabarkan menjadi:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{P + jQ} = \frac{W}{VA}$$

$$W = VA \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$VAR = VA \sin \varphi = W \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{VAR}{W}$$

2.5 Sistem Per Unit (PU)

Untuk sistem satu fasa perhitungan per unitnya sebagai beri

$$Z_{dasar} = \frac{(tegangandasar, kV_{L-N})^2 \times 1000}{kVA_{1\phi}} (\Omega) \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$$I_{dasar} = \frac{kVA_{1\phi} \text{ dasar}}{tegangandasar, KV_{L-N}} (A) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

a. Untuk sistem tiga fasa perhitungan per unitnya sebagai berikut:

$$I_{dasar} = \frac{kVA_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times tegangandasar, KV_{L-L}} (A) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Z_{dasar} = \frac{(tegangandasar, kV_{L-L})^2}{MVA_{3\phi}} (\Omega) \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Kadang-kadang Impedansi per unit untuk suatu komponen dari suatu sistem dinyatakan menurut dasar yang berbeda dengan dasar yang dipilih untuk bagaian dari sistem dimana komponen tersebut berada. Karena semua impedansi dalam bagian manapun dalam suatu sistem harus dinyatakan dengan dasar impedansi yang sama, maka dalam perhitungannya kita perlu mempunyai cara untuk dapat mengubah impedansi per unit dari suatu dasar ke dasar yang lain.

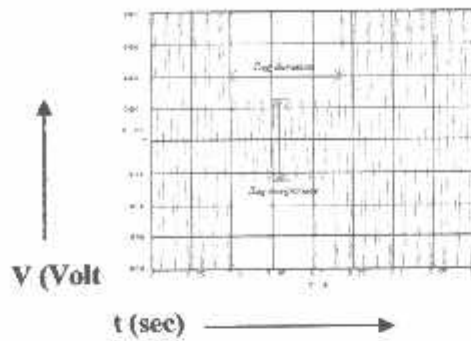
Impedansi per unit dari suatu elemen rangkaian :

$$Z(\text{pu}) = \frac{\text{impedansisebenarnya}}{\text{impedansidasar}} (\text{pu}) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

2.6 Voltage Sag

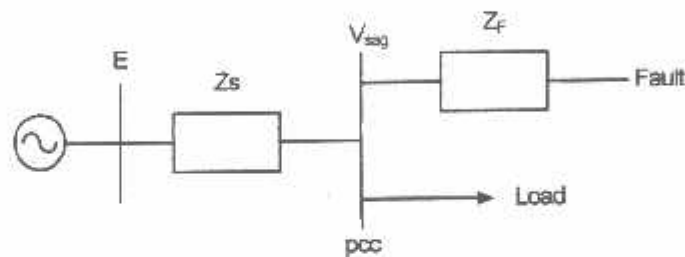
Voltage sag merupakan permasalahan yang sangat penting dalam dunia industri saat ini. mempengaruhi kualitas tegangan. dalam bukunya "*Electrical power system quality*" menjelaskan bahwa pengertian *voltage sag* adalah penurunan tegangan *rms* (*root mean square*) pada frekuensi daya antara 0.1 sampai 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit, yang disebabkan oleh gangguan sistem dan *starting* motor.

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(Circuit breaker) 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 *starting*/pengasutan motor beban yang besar dan peralatan listrik didalamnya mengandung unsur beban induktif. Penelitian sebelumnya mengenai kualitas daya pada sistem distribusi mengindikasikan bahwa tegangan *sag* berkisar pada *amplitudo* 10% hingga 90% dengan waktu berkisar 4 – 10 *cycle* . Tegangan *sag* berbeda dengan tegangan kurang (*under voltage*). Durasi tegangan kurang adalah lebih dari 1 menit dimana dapat dikontrol oleh peralatan regulasi tegangan dan disebabkan oleh sebab lain dari gangguan sistem. Oleh karena itu tegangan kurang dikelompokkan sebagai variasi tegangan durasi panjang. Pada penelitian ini *voltage sag* disimulasikan dengan menambah beban baru berupa motor berupa *Pompa Air Pengisi Ketel* pada sistem. Kapasitas beban pada simulasi ini sebesar 75 kW.



Gambar 2.1 Grafik Terjadinya *Voltage Sag* pada Sistem

Untuk menghitung besaran *voltage sag* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.2 Model pembagi tegangan untuk *voltage sag* (El-Shennawy dkk, 2010)

Dari gambar 2.2 diatas terdapat dua 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 *voltage sag* dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{sag} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} \cdot E \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) dapat digunakan untuk menghitung besaran *voltage sag* sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karenanya dinyatakan $Z_f = Z \cdot L$, dimana Z adalah impedansi dari saluran per unit panjang dan L adalah jarak antara kesalahan dan *PCC*. Besaran *voltage sag* sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{\text{sag}} = \frac{Z.L}{Z_s + Z.L} \cdot E \quad (2.13)$$

dimana:

V_{sag} = tegangan sag (pu).

Z_f = impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan (Ω).

Z_s = impedansi sumber pada titik kopling bersama (Ω).

Z = impedansi dari saluran per unit panjang (Ω).

L = adalah jarak antara kesalahan dan PCC (m)

Voltage sag dikategorikan sebagai gangguan tegangan dengan durasi waktu yang singkat, durasi *voltage sag* dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu: *instantaneous*, *momentary* dan *temporary* dimana katagori ini sama dengan 3 kategori *interruption* (pemutusan) dan *swell* (kenaikan tegangan), seperti yang terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Variasi tegangan magnituda dan durasi berdasarkan standar *IEEE 1159*

Sumber : (*IEEE Std, 1995*)

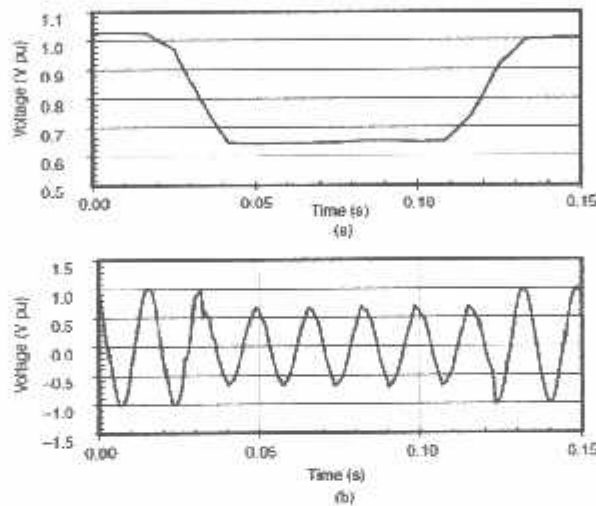
Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5-ns rise	<50 ns	
1.1.2 Microsecond	1- μ s rise	50 ns-1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1-ms rise	>1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	<5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Medium frequency	5-500 kHz	20 μ s	0-8 pu
1.2.3 High frequency	0.5-5 MHz	5 μ s	0-4 pu
2.0 Short-duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Interruption		0.5-30 cycles	<0.1 pu
2.1.2 Sag (dip)		0.5-30 cycles	0.1-0.9 pu
2.1.3 Swell		0.5-30 cycles	1.1-1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		30 cycles-3 s	<0.1 pu
2.2.2 Sag (dip)		30 cycles-3 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s-1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag (dip)		3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s-1 min	1.1-1.2 pu
3.0 Long-duration variations			
3.1 Interruption, sustained		>1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		>1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Overvoltages		>1 min	1.1-1.2 pu
4.0 Voltage unbalance		Steady state	0.5-2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		Steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th harmonic	Steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6 kHz	Steady state	0-2%
5.4 Notching		Steady state	
5.5 Noise	Broadband	Steady state	0-1%
6.0 Voltage fluctuations	<25 Hz	Intermittent	0.1-7%
			0.2-2 Pst
7.0 Power frequency variations		<10 s	

NOTE: s = second, ns = nanosecond, μ s = microsecond, ms = millisecond, kHz = kilohertz, MHz = megahertz, min = minute, pu = per unit.

2.7 Penyebab Terjadinya *Voltage Sag*

Voltage sag biasanya disebabkan karena gangguan pada sistem (seperti gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, petir yang menyambar kawat listrik, kecelakaan saat perbaikan dalam keadaan bertegangan). Sedangkan *Voltage Sag* yang terjadi di PG. Krobot Baru 1 terjadi pada panel 5 yang brisikan beban motor

berkapasitas 75 KW. Yaitu Pompa Air Pengisi Ketel yang sangat signifikan mengganggu system produksi yang terjadi pada *feeder parallel* dan *starting* motor dengan kapasitas besar. (*IEEE std*, 1995). Gambar 2.4 menunjukkan terjadinya gelombang *voltage sag* pada Pompa Air Pengisi Ketel. *Voltage sag* berkisar pada amplituda 80% dengan waktu antara 3 *cycle* sampai *Circuit Breaker (CB)* akan berkerja untuk menghilangkan gangguan, sedangkan waktu penghilangan tergantung magnituda arus kan bentuk gelombang *voltage sag* yang dihasilkan dengan fungsi gelombang *sag* dengan fungsi gelombang sinus.

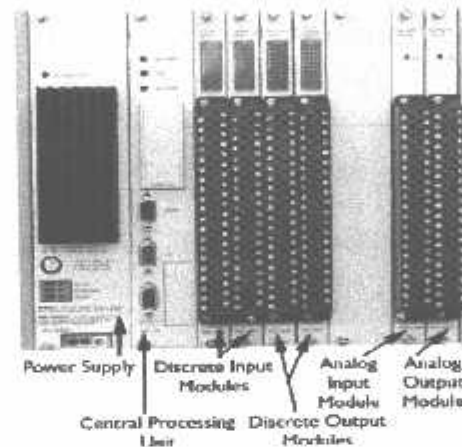


Gambar 2.3 *Voltage sag* yang disebabkan oleh hubung singkat satu fasa ke tanah
 (a) Bentuk gelombang *rms* untuk *voltage sag*. (b) Bentuk gelombang sinus untuk *voltage sag* (Dugan dkk, 2002)

2.8 Peralatan yang Peka Terhadap *Voltage Sag*

Peralatan pada proses industri sangat peka terhadap permasalahan *voltage sag* karena peralatan tersebut saling berhubungan satu dengan yang lainnya, jika terjadi *trip*/padam dari berbagai komponen dalam suatu proses industri akan mengakibatkan seluruh pembangkit tidak berkerja. Berikut ini akan dijelaskan beberapa peralatan yang peka terhadap *voltage sag*, yaitu:

kategori peralatan yang penting untuk proses industri, sebab keseluruhan proses industri sering dibawah kendali alat ini. Kepekaan terhadap *voltage sag* bervariasi akan tetapi secara keseluruhan bagaimana dari sistem *PLC* telah diketahui sangat sensitif. Unit pengendali *I/O (input/output)* akan padam/*trip* untuk tegangan sebesar 90% dari tegangan normal selama beberapa periode,

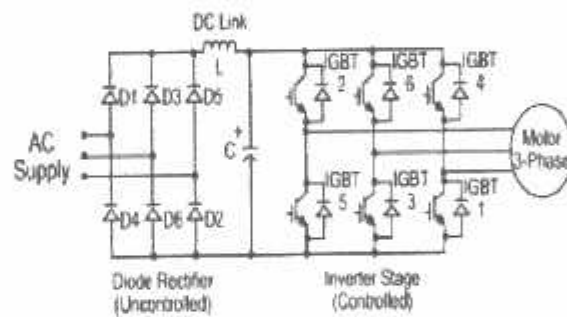


Gambar 2.5 Bentuk dari *programmable logic controller* (California Energy Commission, 2000)

Batasan-batasan kepekaan untuk beberapa tipe peralatan yang disertai dengan jangka waktu/periode dari *voltage sag* yang dikeluarkan oleh lembaga yang bernama *Computer Business Equipment Manufacturers Association (CBEMA)*, sejak tahun 1996 asosiasi *CBEMA* berubah nama menjadi *Information Technology Industry Council (ITIC)*. *Adjustable speed drives (ASD)* akan *trip* jika tegangan dibawah 90 % dari tegangan nominalnya dan berlangsung selama 4 *cycle*. Motor kontaktor akan *trip* jika tegangannya dibawah 50 % dari tegangan nominal untuk jangka waktu lebih dari 1 *cycle*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6

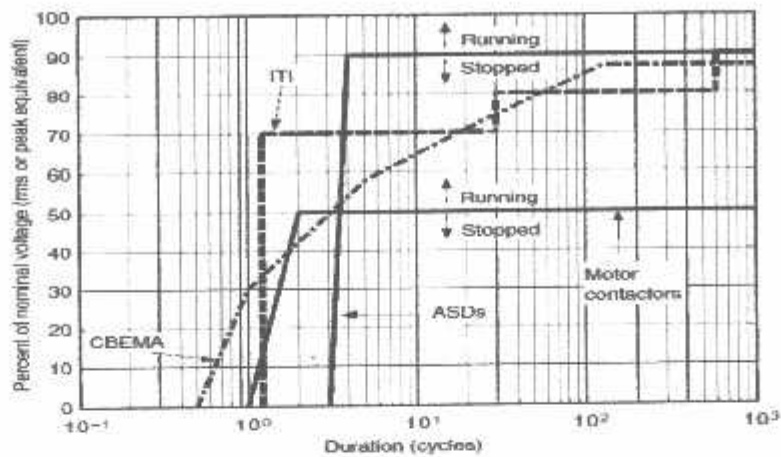
- a. Motor kontaktor dan *relay elektromekanik* Jika *voltage sag* terjadi pada motor kontaktor maka kontak pada motor kontaktor akan terbuka secara langsung, hal yang sama juga terjadi pada *relay elektromekanik*, sehingga proses akan terhenti.
- b. Lampu Intensitas tinggi atau *High Intensity Discharge (HID) lamp*. Lampu merkuri akan padam jika menerima tegangan sekitar 80% dari tegangan normalnya dan memerlukan waktu untuk hidup kembali.
- c. *Adjustable Speed Drives (ASD)*; *Voltage sag* biasanya dapat mempengaruhi pengatur pengarah

kecepatan motor *ASD* dalam dua cara. Cara pertama adalah ketika terjadi *voltage sag* kontak *relay* akan terbuka dan menyebabkan *adjustable speed motor drive* itu tidak berkerja. Cara yang kedua adalah saat *ASD* diganggu oleh *voltage sag* dengan *trip* akibat tegangan kurang pada *DC link*. Pada Gambar 2.6 menunjukkan penempatan *DC link* untuk *ASD* yang biasa digunakan didalam industri untuk mengendalikan kecepatan motor induksi, yaitu *Pulse Width Modulation (PWM)*.



Gambar 2.4 *DC link* untuk suatu bentuk *Pulse Width Modulation (PWM)* dari *adjustable speed drive* (California Energy Commission, 2000)

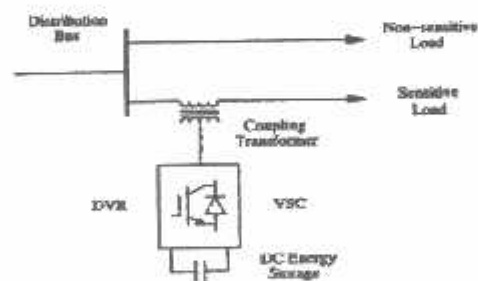
PWM terdiri atas suatu penyearah yang merubah tegangan *AC* yang masuk menjadi tegangan *DC* yang melewati sebuah kapasitor bus *DC*. Pembalik (*inverter*) akan mengubah tegangan *DC* menjadi *AC* pada frekuensi yang diinginkan. Ketika *ASD* tidak terlindungi dari *voltage sag* maka tegangan pada bus *DC* akan berkurang yaitu sekitar 75% sampai 85 % dari tegangan nominal *DC* dan akan mengakibatkan trip/padam. *d. Programmable Logic Controllers (PLC)* *PLC* termasuk di dalam



Gambar 2.6 Batasan kepekaan beberapa peralatan terhadap *voltage sag* (Dugan dkk, 2002)

2.9 *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*

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 5.⁽¹⁾



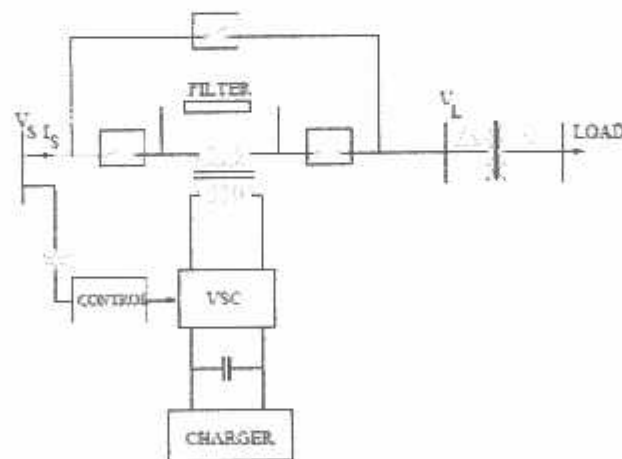
Gambar 2.7 Diagram blok fungsional untuk DVR

Dynamic voltage restorer (DVR) pertama kali digunakan untuk pelayanan komersil pada sistem Pembangkit Duke di U.S.A pada bulan Agustus tahun 1996 dengan rating 2 MVA dan 660 kJ penyimpan energi

(*energy storage*) dan mampu mengkompensasi 50% *voltage sag* dengan durasi 0,5 detik (30 *cycle*) Padiyar (2007). *Dynamic voltage restorer (DVR)* adalah salah satu peralatan yang digunakan untuk melindungi beban sensitif terhadap penurunan tegangan sesaat. *DVR* dipasang melalui trafo secara seri antara penyulang dan beban sensitif untuk mengkompensasi tegangan pada saat terjadi gangguan. Padiyar dalam bukunya "*Facts Controllers in Power Transmission and Distribution*" menjelaskan bahwa *DVR* memiliki dua kondisi operasi, yaitu: - *Standby* (daat juga disebut dengan *short circuit operation (SCO)*), suatu kondisi dimana tidak terjadinya *voltage sag* dan tegangan yang diinjeksikan memiliki magnituda nol (*zero magnitude*). *Boost* (bila *DVR* menginjeksikan suatu tegangan yang diperlukan pada magnituda dan fasa yang sesuai untuk memperbaiki tegangan pada bus beban (*load bus*) disaat terjadinya *voltage sag*).

2.10 Struktur rangkaian *DVR*

Secara umum konfigurasi dari rangkaian *DVR* pada Gambar 2.9 terdiri dari empat komponen utama yang memiliki fungsinya masing-masing yaitu: *injection/coupling transformers*, *Voltage Source Converter (VSC)*, filter, penyimpan energi (*energy storage*).



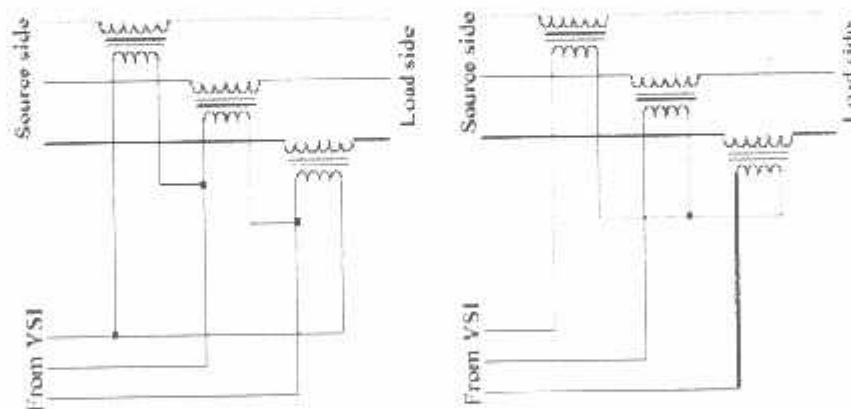
Gambar 2.8 *Dynamic voltage restorer* (Padiyar, 2007)

a. *Injection/coupling transformers*

Tiga transformator satu fasa dihubungkan secara seri dengan *feeder* distribusi yang digandeng (*couple*) dengan *Voltage Source Converter (VSC)* untuk level tegangan tinggi distribusi. Tiga transformator satu fasa dapat di hubungkan secara *star/open* atau *delta/open* seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.

Fungsi dasar dari *injection/coupling transformers* adalah sebagai isolasi elektrik serta untuk menaikkan suplai tegangan AC yang rendah yang dihasilkan oleh *VSC* untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan (Ezaji, H dkk, 2009).

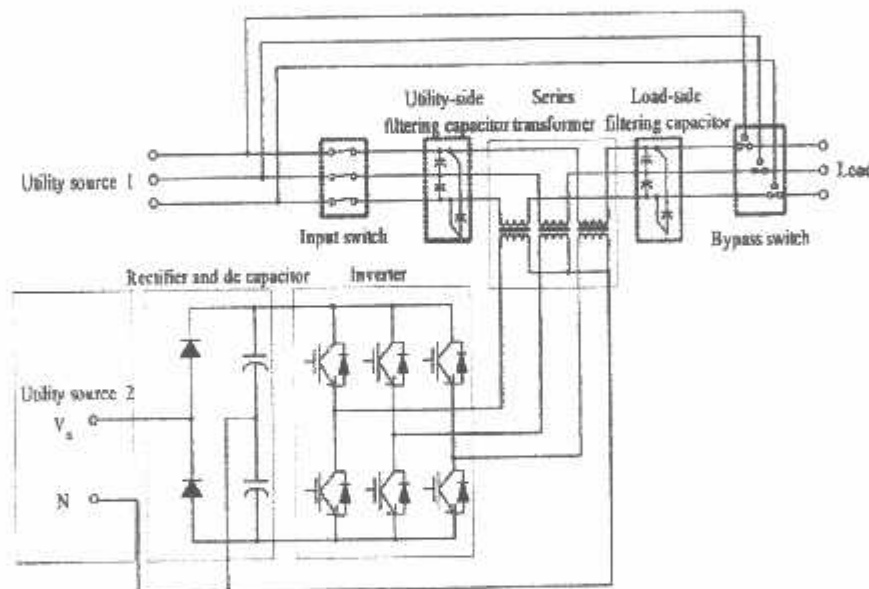
Hubungan *delta/open* tidak menghasilkan injeksi tegangan urutan nol (*zero sequence voltage*). Pemilihan kumparan transformator injeksi (*injection transformers*) ditentukan oleh hubungan transformator penurun tegangan (*step down transformer*) yang diumpun-balikan ke beban. Jika transformator dihubungkan secara *delta/open* (seperti terlihat pada Gambar 2.10 (b)), maka tidak perlu mengkompensasi tegangan urutan nol (*zero sequence voltage*) namun jika yang digunakan adalah hubungan *star/open* dengan pentanahan pada titik netral, tegangan urutan nol harus dikompensasi (padiyar, 2007).



Gambar 2.9 Model koneksi dari *injection/coupling transformers* untuk level tegangan tinggi (a) Hubungan *star/open* (b). Hubungan *delta/open* (Perera, 2006).

b. *Voltage Source Converter (VSC)*

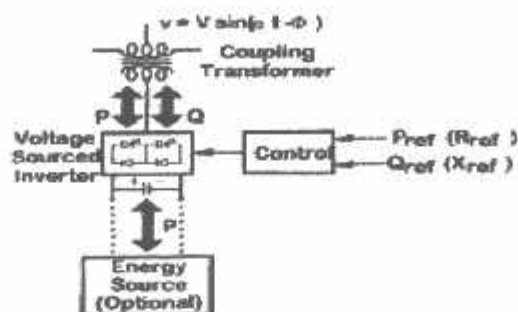
Konverter sumber tegangan (*VSC*) adalah peralatan elektronika daya yang dapat menghasilkan tegangan sinusoidal dengan magnituda, frekuensi dan sudut fadan sudut fasa yang diinginkan (Ezoji, 2009). *Pulse Width Modulation-Inverter (PWM-Inverter)* digunakan pada penelitian tesis ini, yang terdiri dari komponen *switching* yaitu *Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT)*. Fungsi dasar dari *Inverter* adalah untuk mengkonversi tegangan searah (*DC*) yang dihasilkan oleh piranti penyimpan energi (*energy storage device*) menjadi tegangan arus bolak-balik (*AC*) yang dibutuhkan oleh *injection/coupling transformer* untuk mengkompensasi tegangan pada saat terjadinya *voltage sag* Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Model *VSC* pada rangkaian *DVR* (Huang, 2003)

c. *Filter pasif (passive filters)*

Filter pasif terdiri dari suatu kapasitor yang ditempatkan pada sisi *line* atau pada sisi *inverter* dari *injection/coupling transformers*. Keuntungan dari penempatan



Gambar 2.12 Sumber Tegangan sinkron yang bekerja dengan *Voltage Source Inverter*

P_s adalah sebuah fungsi parameter untuk *degree of series compensation* $s(s= X_c / X_L)$

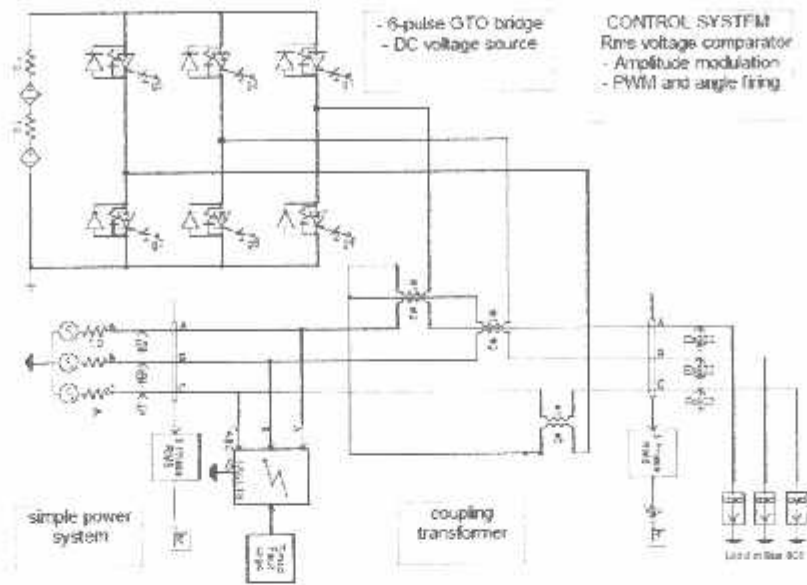
$$P_s = \frac{V^2}{X_L(1-s)} \sin \delta \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, $V=V_1 = V_2$ dan $\delta = \delta_1 = \delta_2$. daya normal P_s dengan sudut δ sebagai fungsi parameter s

Injeksi DVR tegangan kompensasi seri yang disertai dengan *irrespective* dari *line current*. Daya kirim P_q dimana menjadi sebuah fungsi parameter dari tegangan injeksi, $V_q = |V_q| \rightarrow \vec{V}_q = \{ \vec{I} / |\vec{I}| \} e^{+90^\circ}$ dan dapat dituliskan dengan persamaan

$$P_q = \frac{V^2}{X_L} \sin \delta + \frac{V}{X_L} V_q \cos(\delta/2) \dots\dots\dots(2)$$

Daya normal P_q dengan sudut δ , sebagai fungsi dari V_q . Untuk persamaan, tegangan normal V_q adalah terpilih untuk pemberian daya maksimum yang sama sebagai sumber tegangan DC dengan menyesuaikan δ .



Gambar 2.13 Pemodelan *DVR* pada sistem tenaga sederhana menggunakan *PSCAD* (Nguyen dan Saha, 2004).

Inverter pada Gambar 2.13 terdiri dari enam pulsa yang menggunakan peralatan elektronika daya yaitu *Gate Turn Off (GTO)* untuk komponen *switching*nya, *GTO* membutuhkan pengontrolan pada *thyristor firing angle* dimana waktu buka dan tutup-nya *gate* akan dilakukan oleh kontrol sistem untuk memelihara magnituda tegangan konstan suatu beban sensitif, kontrol system akan mengukur tegangan *rms* di titik beban (Nguyen dan Saha, 2004).

Benachaiba dan Ferdi pada tahun 2008 menyatakan bahwa penggunaan *GTO* sebagai komponen *switching* masih memiliki kekurangan yaitu komponen dasar *GTO* tidak mampu memenuhi persyaratan-persyaratan kontrol dinamis untuk kendali *DVR* yang berupa kecepatan respon pensaklaran (*switching device*) antara lain sulit untuk dimatikan (*turn-off*) dan lambat, oleh karena itu dalam proposal tesis ini dipilih *IGBT* sebagai komponen *switching* yang memiliki kemampuan lebih baik.

Prinsip kerja *DVR* 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*. Tegangan keluaran arus bolak-balik (*AC*) yang dihasilkan oleh *PWM-VSC* akan dinaikan tegangan oleh *injection/coupling transformer* untuk mengkompensasi *voltage sag* yang terjadi pada beban kritis (*critical load*).

Proteksi dari desain suatu *DVR* yang digunakan untuk mengkompensasi *voltage sag* harus memiliki beberapa kriteria yang sesuai dengan fungsi yang diperlukan.

- a. Ketika tegangan sumber pada kondisi normal, *DVR* beroperasi pada kondisi *standbay* dengan tegangan injeksi nol (*zero voltage injection*). Jika peralatan penyimpan energi (contohnya baterai) harus di *charger*, maka *DVR* dapat beroperasi pada kondisi *self-charging control*.
- b. Bila terjadi *voltage sag*, *DVR* akan menginjeksikan *three single phase voltage* yang sinkron dengan sumber untuk jangka waktu yang pendek. Tiap fasa dari tegangan injeksi dapat dikontrol secara *independent* pada fasa dan magnitudanya. Oleh karena itu, tegangan urutan nol dapat dieliminasi pada situasi dimana ini tidak memberikan pengaruh apapun.
- c. Jika terjadi gangguan (*fault*) pada *downstream* dari *DVR*, konverter akan melakukan *bypass* sementara menggunakan *thyristor switching* untuk memproteksi *DVR* dari pengaruh arus lebih.

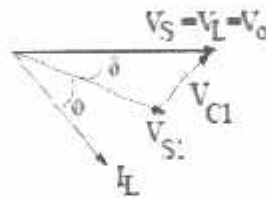
2.12 Teknik kompensasi DVR

1. *Pre-sag compensation*

Tegangan sumber bisa dilacak secara kontinyu dan tegangan beban bisa dikompensasi pada kondisi *pre-sag*. Metode ini bisa menghasilkan tegangan

beban yang tidak terganggu tapi secara umum membutuhkan *rating* tinggi dari *DVR*.

Sebelum terjadi *sag*, $V_S = V_L = V_o$. *Voltage sag* dapat menghasilkan *drop* dalam magnitud dari tegangan sumber ke V_{S1} . Sudut fasa dari suplai bisabergeser (gambar 2.20). Suatu *DVR* menginjeksikan tegangan V_{C1} sehingga tegangan beban ($V_L = V_{S1} + V_{C1}$) tetap pada V_o (baik dalam magnitud dan fasa). Dikatakan di sini bahwa beberapa beban bisa sensitif untuk *phase jump*, dan perlu ada kompensasi untuk masing-masing *phase jump* dan *voltage sag*.

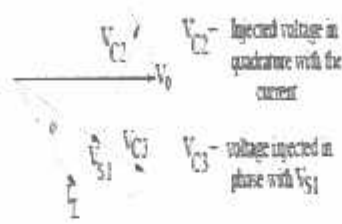


Gambar 2.14 Diagram fasor yang menunjukkan tegangan injeksi

2. *In-phase compensation*

Tegangan injeksi yang dihasilkan oleh *DVR* selalu *in-phase* dengan tegangan sumber, berapapun arus beban dan tegangan *pre-sag* (V_o). Strategi kontrol ini menghasilkan nilai minimum pada tegangan injeksi (*magnitude*). Meski begitu, fasa dari tegangan beban bisa terganggu. Untuk beban yang tidak sensitif ke *phase jumps*, pada strategi kontrol ini menghasilkan penggunaan rating tegangan *DVR* secara optimum. 3. Kompensasi energi minimum.

Bila mengabaikan rugi-rugi (*losses*), kebutuhan daya (*power*) dari *DVR* adalah nol jika tegangan injeksi (V_C) berada pada *quadratur* dengan arus beban. Untuk menaikkan tegangan pada bus beban, tegangan injeksi dari *DVR* adalah kapasitif, dan V_L akan mengarahkan V_{S1} (Gambar 2.21). Gambar 2.21 juga menunjukkan kompensasi *in-phase* sebagai pembanding. Perlu dicatat bahwa fasor arus ditentukan oleh *load bus voltage phasor* dan faktor daya (*power factor*) dari beban.



2.15 Gambar strategi kontrol alternatif DVR (Padiyar, 2007)

Implementasi dari kompensasi energi minimum membutuhkan pengukuran fasor arus beban dan perhitungan tegangan sumber.

Bila V_C berada pada *quadrature* dengan arus beban, *DVR* hanya mensuplai daya reaktif. Meski begitu, kompensasi tegangan beban penuh tidak bisa terjadi kecuali bila tegangan sumber berada di atas nilai minimum, tapi masih ditentukan oleh faktor daya beban.

Bila magnituda dari V_C tidak terbatas, nilai minimum dari V_S yang diperbolehkan untuk kompensasi penuh (*full compensation*) adalah:

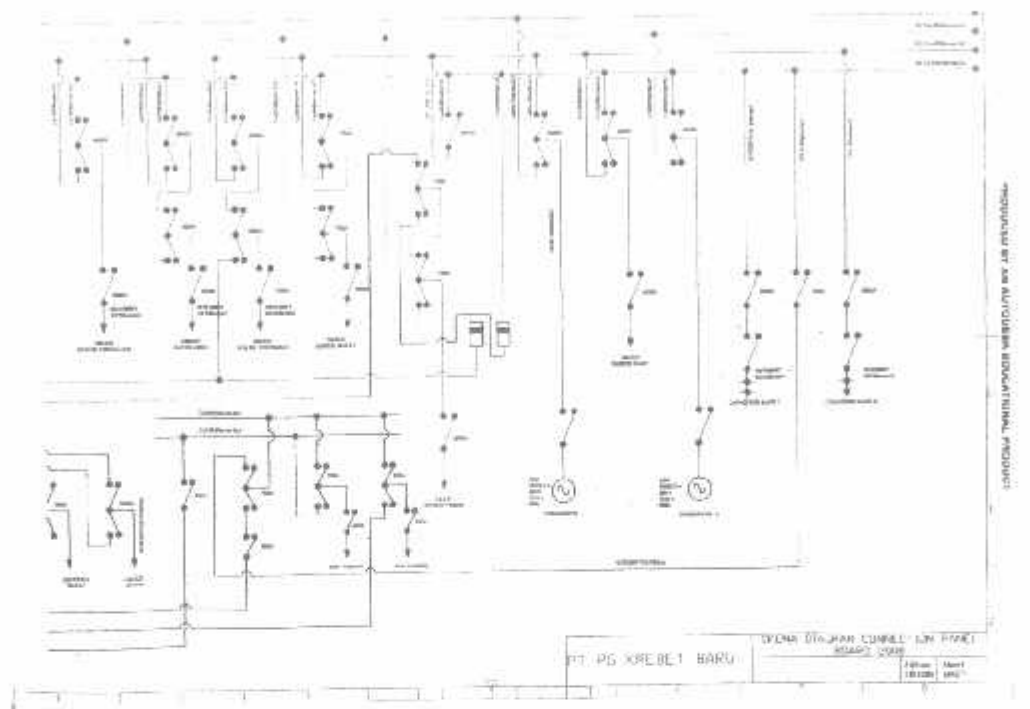
$$V_S^{\min} = V_o \cos \phi \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana ϕ adalah sudut faktor daya (*power factor angle*) dan V_o adalah magnitud yang dibutuhkan dari tegangan bus beban (*load bus voltage*).

Jika magnitud dari tegangan injeksi cenderung terbatas (V_C^{\max}), maka tegangan sumber minimum yang diperbolehkan untuk kompensasi penuh ditunjukkan oleh:

$$V_S^{\min} = [V_o^2 - 2V_o V_C^{\max} \sin \phi + (V_C^{\max})^2]^{1/2} \dots\dots\dots (2.15)$$

rumus (2.14) dan (2.15) berasal dari diagram fasor yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Perhatikan bahwa pada tegangan sumber minimum, arus cenderung *in-phase* dengan V_S di kasus (a)



2.14 DATA SPESIFIKASI MESIN/PERALATAN INSTALASI PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG

1. **Boiler 80 ton: Merek :**
 Type: Sihi
 Kapasitas: 90 m / jam: T. Heat :144 mtr
 Speet : 3500 rpm
Motor penggerak :
 Power : 73 hp : Speet : 3550 rpm
 Tegangan : 440 Volt/ 50 Hz.

2. **County Grup**
 Motor Merek : Type : S88.1.mod
 Speed : 1430 rpm : Power : 5 Hp
 Tegangan : 220/380 Volt -50 Hz

3. **Grup Coling Tower**
 Merek AeE Power : 20 Hp

Seed : 1450 rpm
Tegangan : 380 Volt- 50 Hz Ampere – 22,5

4. Pompa Air Pengisi Ktel

Merek : Allweiler A.G
Type : L 65/5/200 – 49 1 D W1:
Kapasitas + 50 m/ jam
Speed : 3550 rpm : T . Head : 30 mtr
Motor
Power : 75 Kw : Speed : 3550 rpm
Ampere : 140 Kw : Tegangan : 440 volt frekuensi 50 Hz

5. Grup Injeksi Barat

Merek : Stork : Dipsang tn 1973
Model/ Type : S.H.S 40-45
Kapasitas : 1750 m/ jam
Total Head : 12 mtr. : Speed : 1190 rpm frekuensi : 50 Hz
Test Proses : 2 kg / cm : Power : 122 Hp
Bearing : NJ . 316 – 1 bh : 3316—2 bh

6. Grup Injeksi Timur

Merek : Helmke : Type : DSOR 355-6RD
Power : 216 Hp : Speed : 880 rpm
Operating Liquid requitmen : 0,63 m/jam
Power : 23 Hp : Speed : 880 rpm
Operating : liquidment : 0,63m/jam
Motor
Type : 1 LA 6220-8 AB 70
Power : 30 Hp : Speed : 880 rpm
Voltage : 440-50 Hz -8 poles

7. Boiler Youmin

Merek : Lithle King
Voltage : 440 Volt – 50 Hz
Ampere : 14 A : Power 10 Hp
Speed : 1160 rpm

8. Grup Betch Asea

Merek : Cyclo Drive Sumitomo
Model : - 89 : Ratio = 1: 43
Power : 20 Hp
Motor :

Merek : Dektim
Tegangan : 380/660 Volt – 50 Hz
Power : 20 Hp : Speed : 1450

9. Turbodyne A

Sistem Turbine Merek : G.H.H Thn : 1961

Intel Pressur : 8 kg/cm

Speed : 3750 rpm

Output Power : 720 Hp

Gerbok:

Merek :

Serial No : 142166 ; Type :TA 32 b

Power : 480 kw = 648 Hp

Ratio : 1 : 2,10

Input Speed : 3786 rpm

Output Speed : 1800 rpm

Generator :

Merek : A.E.G.

Type : SJKJ. 120 f/4 D

Serial No : 807024

Voltage : 440/254 Volt -60 Hz

Ampere : 1574 Amp

Output : 1200 KVA Cos q = 0,8

Speed : 1880 rpm

Standar : VDE 530

10. Grup Puteran Dan Rapi

Motor Merek : ; Type : S 88.1.4mod

Speed : 1430 rpm :Power : 5 Hp

Tegangan : 220/380 Volt – 50 Hz

Ampere : 11.2/6,5 amp

11. Trafo Step Up

Menaikan Tegangan Mencapai 3000 kva

Daya Di Hasilkan Generator 680 volt

Di Turunkan Menjadi 220/380 volt

12. Trafo Step Dwon

Dengan Kapasitas 1500 kva

Di Gunakan Untuk Menurunkan Tegangan Dari 680 volt

Menjadi 220/380 volt

BAB III
PENEMPATAN DVR (*Dynamic Voltage Restorer*) UNTUK PERBAIKAN
KUALITAS TEGANGAN AKIBAT GANGUAN *VOLTAGE SAG*

3.1 *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation*

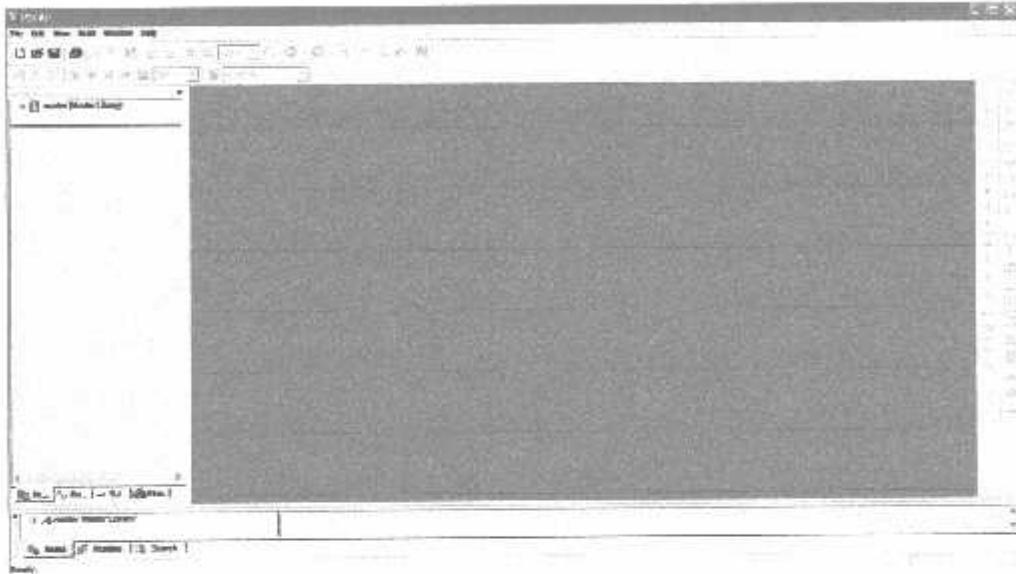
PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga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

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem menggunakan PSCAD/EMTDC:

- *Resistors, inductors, capacitors*
- *Mutually coupled windings, such as transformers*
- *Frequency dependent transmission lines and cables (including the most accurate time domain line model in the world)*
- *Current and voltage sources*
- *Switches and breakers*
- *Protection and relaying*
- *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- *Analog and digital control functions*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models*
- *Meters and measuring functions*
- *Generic DC and AC controls*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers*

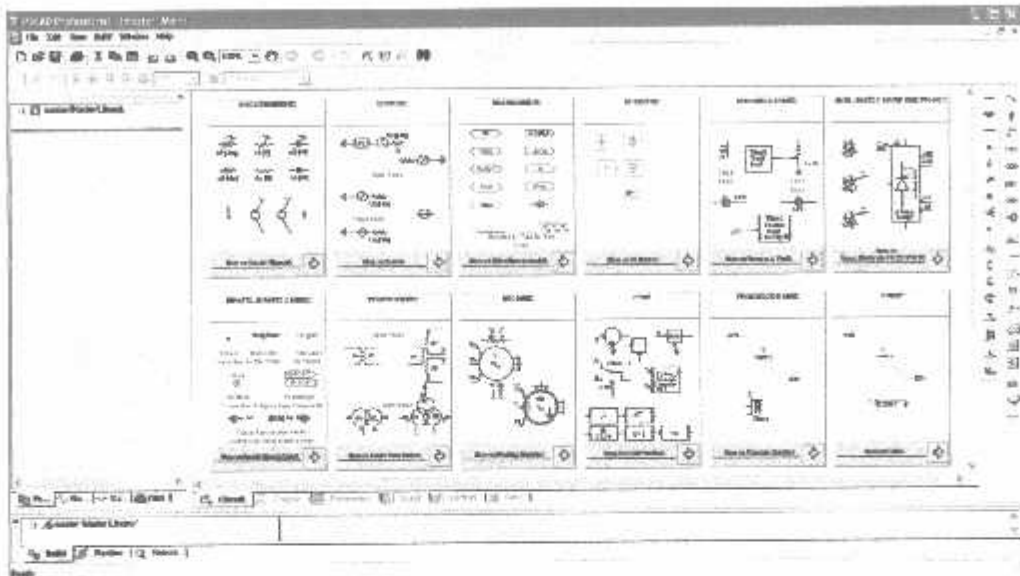
3.2 Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation

Tampilan Utama PSCAD Power Simulation adalah sebagai berikut :



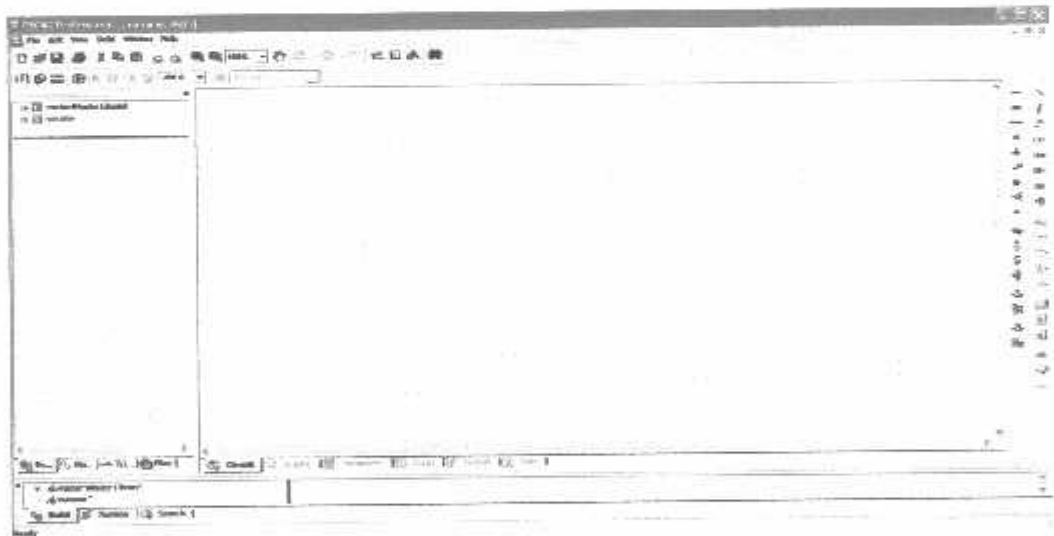
Gambar 3.1 Tampilan utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: File > New > case. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama "noname". Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 3.2.
- Semua komponen yang akan digunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakan *right klik on the component > copy* dan kemudian *paste* pada modul.



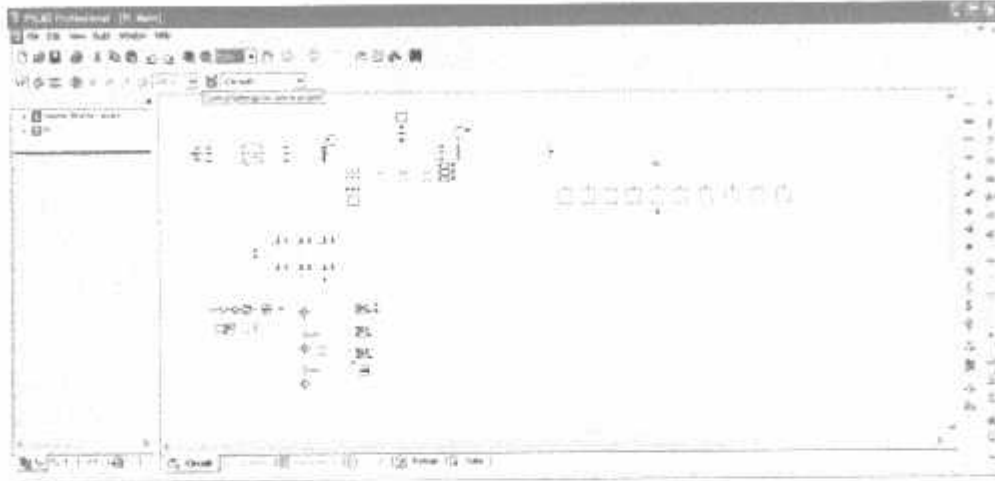
Gambar 3.2 Tampilan *Master Library*

- *Double klik file baru yang sudah dibuat, maka akan muncul tampilan seperti di bawah ini, komponen-komponen dirangkai dalam modul ini.*



Gambar 3.3 Tampilan Modul Utama

Setelah mendesain sistem seperti yang dibutuhkan, maka dapat kita lihat tampilan single line dalam modul utama sebagai berikut:



Gambar 3.4 Tampilan Single Line Sistem Proteksi Di PT. PG. KREBET BARU 1
BULULAWANG MALANG Dalam PSCAD

3.3 Sistem Pengendalian PWM (*Pulse Width Modulation*) Sinusoida PWM (*Pulse Width Modulation*) Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC *Voltage Source Converter* dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarkan PWM berkenaan dengan DVR diterangkan pada bagian ini. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. Strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel. 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 (δ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut δ . 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. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A, untuk fasa B dan C dengan pergeseran berturut-turut 120° dan 240° . Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukkan dalam hasil simulasi.

3.3.1 Aksi Kontrol *PWM* Sinusoida Terhadap *DVR*

Prinsip dari *DVR* (*Dynamic Voltage Restorer*) adalah menerima dan memproses sinyal error dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukkan ke *PWM Puls White Modulation* tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan sinyal error antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier* (*triangular wave*) yang berupa sinyal gigi geraji (*saw tooth*). Sinyal error ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan sinyal gigi geraji sebagai sinyal *carrier*. *Output* dari PWM di atas digunakan untuk mentrigger rangkaian *switching* yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa dari 2 IGBT.

3.4 Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)

3.4.1 Umum

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi

pesawat, dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian yang sangat penting dan terpadu dari proses – proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis sangat diperlukan di dalam dunia industri seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelembaban, viskositas, dan arus dalam industri proses.

Karena kemajuan dalam teori dan praktek kontrol otomatis memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya.

Sejarah perkembangan. Hasil karya pertama yang sangat penting dalam kontrol otomatis adalah governor sentrifugal untuk pengontrolan kecepatan mesin uap yang dibuat oleh *James Watt* pada abad ke delapan belas. Hasil karya lainnya yang penting pada tahap awal perkembangan teori kontrol dibuat oleh *Minorsky*, *Hazen*, *Nyquiste*, dan sebagainya. Pada tahun 1922, *Minorsky* membuat kontroler otomatis untuk mengendalikan pengemudian kapal dan menunjukkan cara menentukan kestabilan dari persamaan differensial yang melukiskan sistem. Pada tahun 1932 *Nyquis* mengembangkan suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kestabilan sistem loop tertutup pada basis sistem loop terbuka terhadap masukan tunak (*steady state*) sinusoida. Pada tahun 1934 *Hazen*, yang memperkenalkan istilah servomekanis untuk sistem kontrol posisi, membahas desain servomekanis relay yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah. Selama dasawarsa 1940-an, metode respon frekuensi memungkinkan para insinyur untuk mendesain sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan kinerja. Metode respon frekuensi dan tempat kedudukan akar, yang merupakan inti teori kontrol fisik, akan membawa sistem yang stabil dan memenuhi seperangkat persyaratan kinerja yang hampir seimbang.

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Kelak akan dipelajari alat tidak mungkin menjalankan

suatu proses industri tanpa bantuan sistem pengendali. Contohnya adalah pengendalian penggilingan minyak. Proses disuatu penggilingan minyak tidak mungkin dapat dijalankan tanpa bantuan fungsi sistem dari pengendalian.

Ada banyak parameter yang baru dikendalikan di dalam suatu proses. Diantaranya yang paling umum adalah tekanan (*pressure*) didalam sebuah *vassel* atau pipa, aliran (*flow*) didalam pipa, suhu temperatur di unit proses seperti *heat exchanger*, atau permukaan zat cair (*level*) disebuah tangki. Ada beberapa parameter lain diluar keempat parameter diatas yang cukup penting dan perlu dikendalikan karena kebutuhan spesifik proses, diantaranya : PH di industri petrokimia, *water cut* (*w&w*) diladang minyak mentah, warna produksi suatu fasilitas pencairan gas (NGL) dan sebagainya.

Gabungan serta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses (*Process Control Instrumentation*).

Kedua hal ilmu tersebut berhubungan satu dengan yang lain, dimana keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Pembahasan tentang ilmu proses kontrol sistem lebih dipusatkan pada kerja sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui alat kerja.

3.4.2 Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

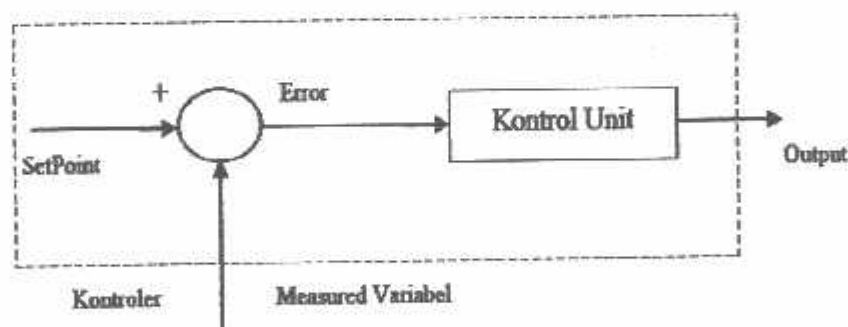
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur*, *Membandingkan*, *Menghitung* dan *Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan dikerjakan secara otomatis oleh instrument. Sistem pengendali semacam inilah yang disebut sistem pengendali otomatis (*automatic control system*). Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya dilakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendalinya kemudian

disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

3.4.3 Prinsip Kerja Pengendali

Ada tiga jenis pengendali kontinu, yaitu pengendali proposional di singkat P, pengendali integral di singkat I, dan pengendali diferensial di singkat D. Karena kelebihan dan kekurangan ketiga pengendali itu, mereka seringkali dipakai dalam bentuk kombinasi, yaitu P+I disingkat PI, P+D disingkat PD, dan P+I+D disingkat PID. Ketiga jenis pengendali ini memberikan respon yang berbeda-beda. Pada dasarnya, tugas sebuah pengendali kontinu terbagi dalam dua tahap, yaitu membandingkan dan menghitung.

Pembandingan itu sendiri dilakukan dengan mengurangi besarnya *set point* dengan besaran *measurement variabel*, yang hasilnya adalah besaran yang disebut *error*. Karena *set point* bisa lebih besar atau lebih kecil dari *measurement variable*, nilai *error* bisa positif dan bisa juga negatif. Jadi *error* adalah input unit kontrol dan *manipulated variable* adalah output unit kontrol. Besarnya *manipulated variable* dihitung berdasarkan *error* dan *transfer function* unit kontrol. Bentuk *transfer function* dari unit kontrol terhitung pada “mode” yang ada dikontroler.

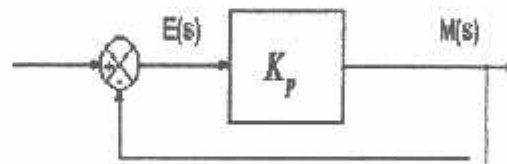


Gambar 3.5 Kontroler Dan Diagram Kotaknya

3.4.4 Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)

Salah satu dari ketiga unit kontrol yang paling populer dan paling banyak dipakai adalah unit kontrol P, seperti tercermin dari namanya, besar *output* unit kontrol P selalu sebanding dengan besarnya *input*. Bentuk *transfer function* unit kontrol *proporsional* oleh karenanya akan sederhana sekali, sehingga bentuk *transfer function*-nya juga sederhana. Unit kontrol P adalah unit kontrol yang paling banyak dipakai, baik tersendiri dalam bentuk pengendali *P-only* maupun dalam kombinasi dengan mode integral (I) dan differensial (D).

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Gambar 3.6 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran *actual* dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 3.6 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu pita proporsional (*proporsional band*) dan konstanta proporsional. Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

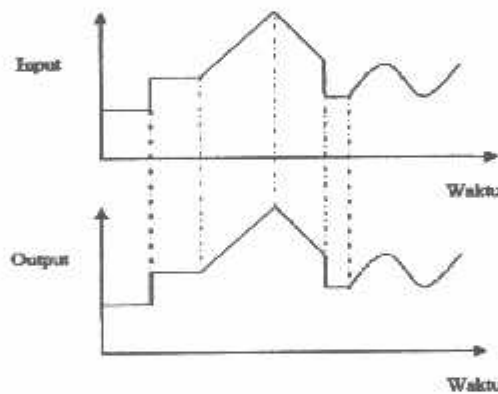
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana:

PB = Proporsional Band

K_p = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.6 jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop

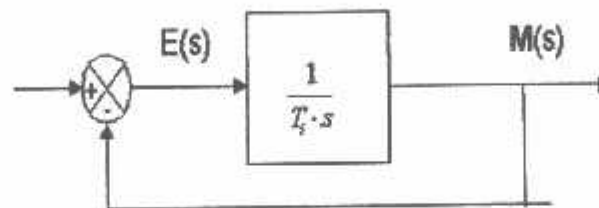


Gambar 3.7 Response Sebuah Pengendali Proporsional

Contoh pengendali integral proporsional yang mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah pengisian tangki penampung air di kloset. Hal yang perlu diperhatikan pada contoh ini adalah bahwa kontrol unit di contoh bekerja secara proporsional. Artinya, koreksi dalam hal ini buka tutupnya *control valve* akan selalu

dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

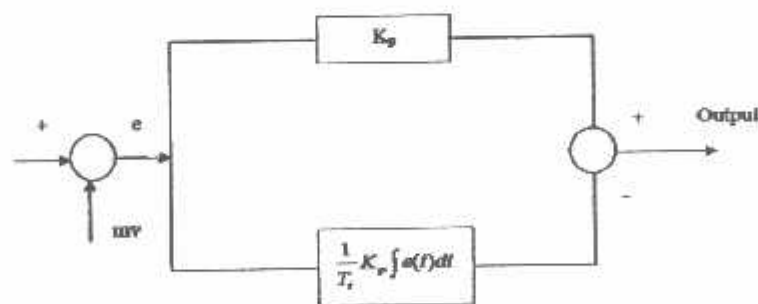
Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



Gambar 3.8 Blok Diagram Kontroler Integral

3.4.6 Pengendali Proporsional Integral (*PI Controller*)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional seperti gambar 3.9. Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.

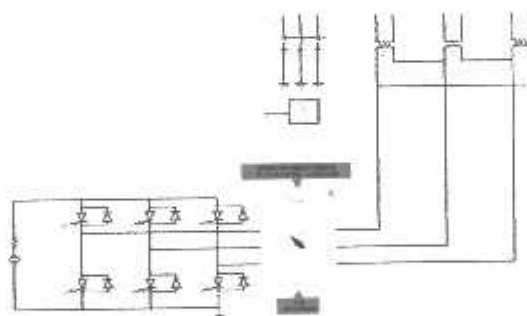


Gambar 3.9 Diagram Kotak Pengendali PI

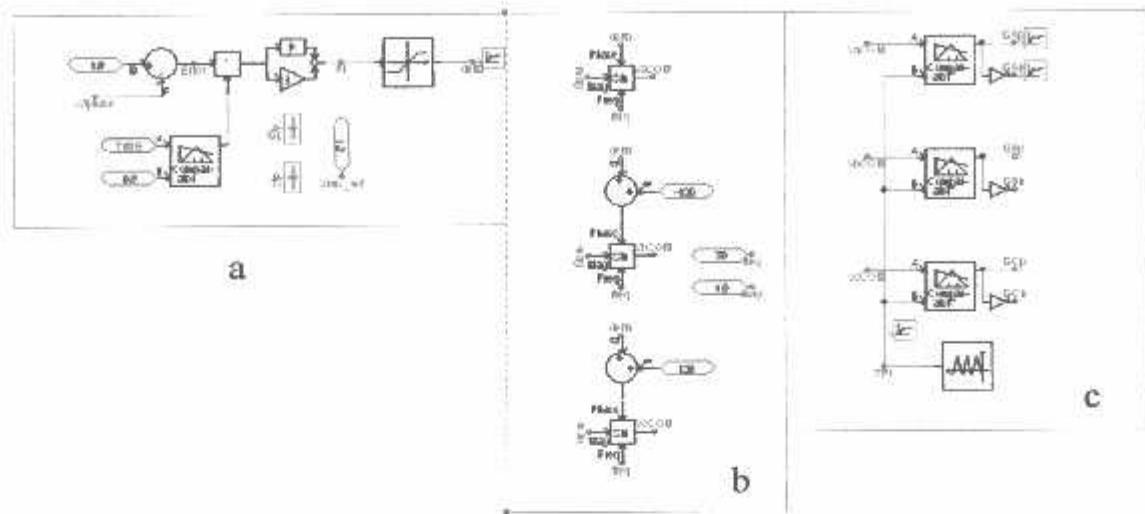
lainnya tidak ada. Banyaknya L atau C yang dibuka atau ditutup tergantung dari kondisi ketidakseimbangan beban yang terdeteksi oleh pengontrol. Komponen LC yang dimaksudkan diatas sudah terintegrasi dalam peralatan *DVR*. Hampir semua beban dalam sistem tenaga listrik didominasi oleh beban-beban induktif seperti motor-motor listrik, inverter, UPS dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakan komponen-komponen induktif yang berakibat menimbulkan gangguan *voltage sag* seimbang maupun *voltage sag* tak seimbang. Untuk mengatasi permasalahan ini *DVR* menawarkan pengendalian yang fleksibel dalam mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Ini mungkin dilakukan dengan adanya perkembangan piranti elektronika daya yang berkembang cukup pesat, *full controlable* dan penggunaanya dapat dipadukan ke dalam sistem tenaga listrik baik sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Dalam hal ini *DVR* dilengkapi dengan pengendali PI dan kontrol PWM.

3.5 Komfigurasi DVR Dan PWM

Gambar di bawah ini menunjukkan konfigurasi dari PWM dan DVR untuk mengatasi *Voltage Sag* seimbang maupun tak seimbang pada kelistrikan di PG. KERBET BARU I.



Gambar 3.10 *DVR* dalam sistem



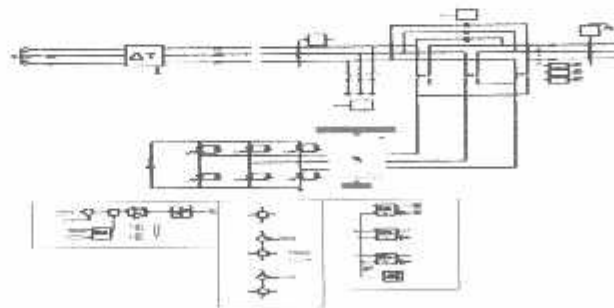
Gambar 3.11 Pengendali DVR

Keterangan :

- a) Rangkaian Pengendali PI untuk mengendalikan DVR
- b) Rangkaian PWM Untuk Mengendalikan DVR
- c) Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan DVR

3.6 Sistem Yang Di Gunakan

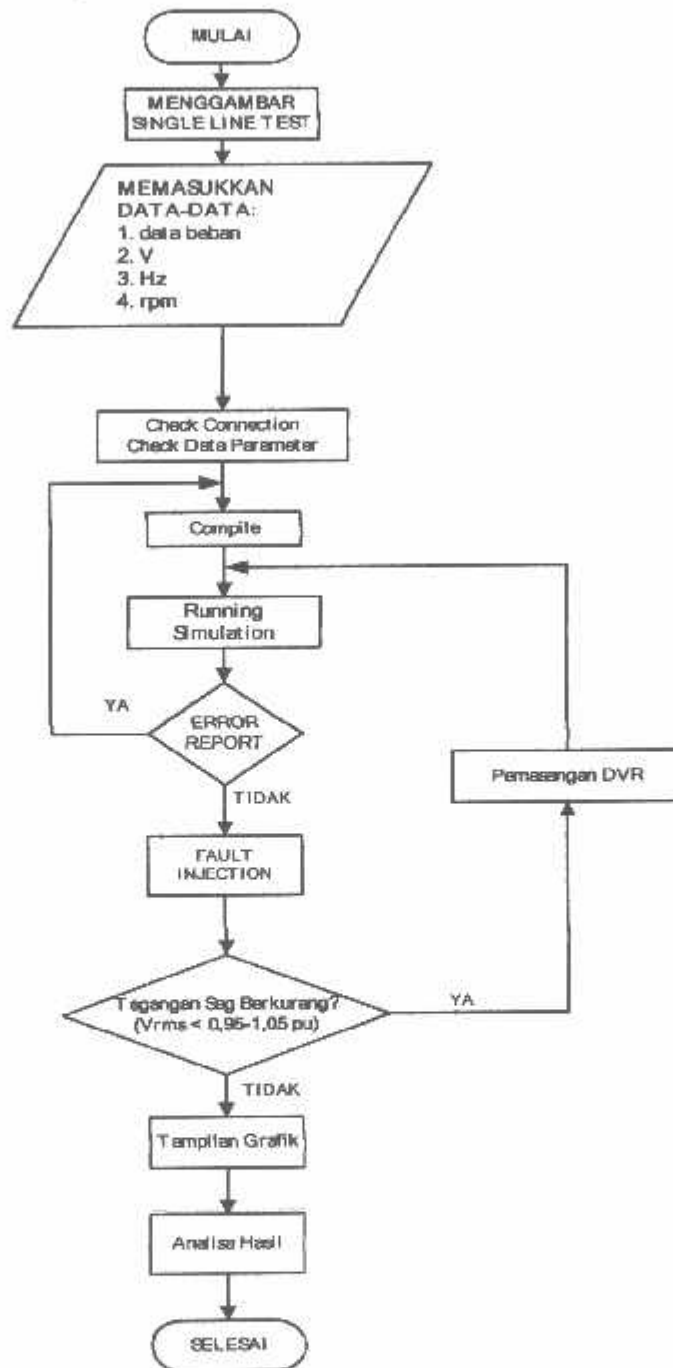
Sistem yang di gunakan dalam penyelesaian masalah di atas di amplikasikan ke dalam *Softwer PSCAD Power Simulation*. Berikut adalah gambaran sistem saat simulasi menggunakan *DVR*.



Gambar 3.12 *DVR* dalam sitem

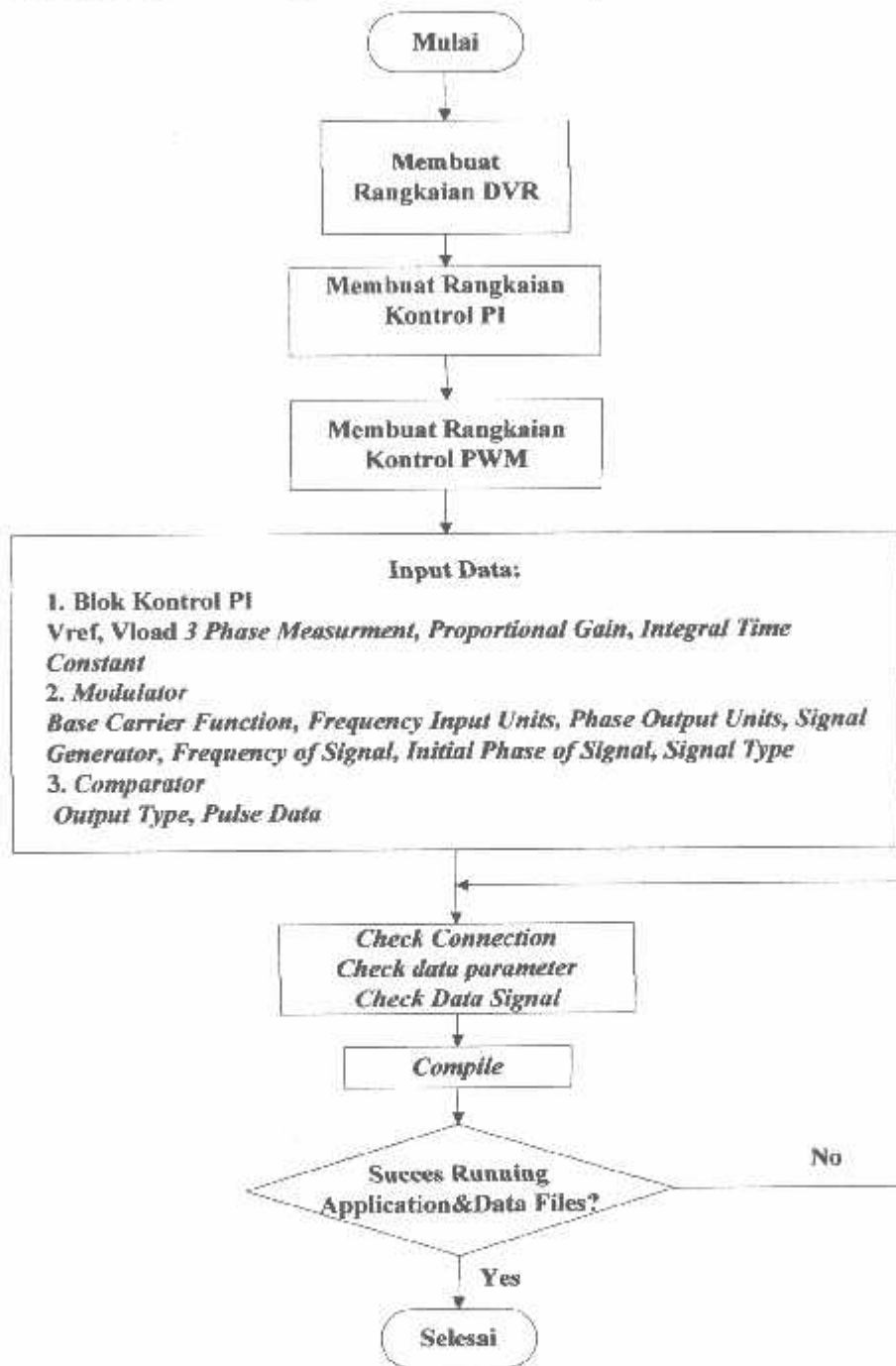
3.7 Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC

3.7.1 Flowchart Penyelesaian Masalah Menggunakan DVR



Gambar. 3.13 Flowchart Penyelesaian Masalah

3.7.2 Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*)

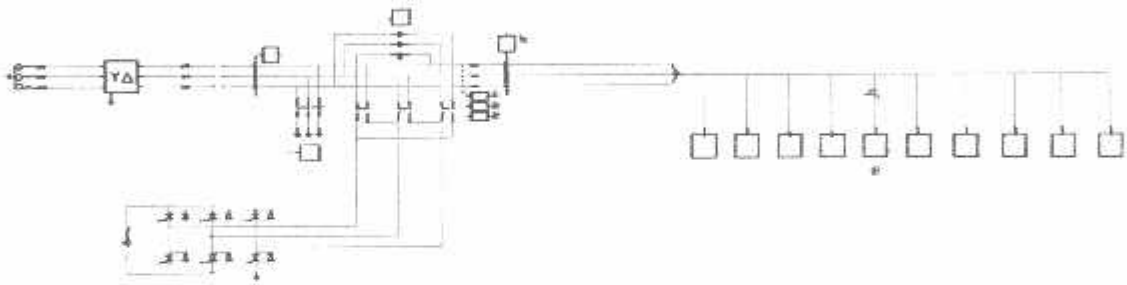


Gambar 3.14 Flowchart Desain Control DVR Menggunakan PSCAD/EMTDC

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1 Single Line Pada PT. PG. KREBET BARU 1 Dalam Software PSCAD Power Simulation

Untuk mensimulasi sistem dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian proteksi tersebut ke dalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar *single line* PT. PG. KREBET BARU 1 yang digambarkan menggunakan *software PSCAD/EMTDC SIMULATION*.



Gambar 4.1) Sistem Sigeline P.G KREBET BARU 1 Dalam Software PSCAD

4.2. Data Sistem Proteksi di PT.PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG

Sebelum pengisian data dalam program *PSCAD Power Simulation* maka di perlukan data-data hasil penelitian dilapangan, data tersebut meliputi data beba motor berkapasitas besar.

Tabel 4.1
Data Beban pada masing-masing system motor di
PG. KREBET BARU I (BULULAWANG MALANG)

NO.	NAMA MOTOR	KW	HP	I (TERPAKAI)	RPM	OMEGA
1	BOILER 80 TON (COMPRESSOR)	54.45	73	66.2	3550	445.88
2	GROUP PUTERAN DAN RAPID	3.73	5	11.2	1430	179.6
3	GROUP CONTY MOTOR	18.65	25	40	1455	182.74
4	GROUP COOLING TOWER	14.92	20	22.5	1450	182.12
5	POMPA AIR PENGISI KETEL	75	100.53	140	3550	445.88
6	GROUP BATCH ASIA	14.92	20	19.2	1450	182.12
7	GROUP INJEKSI BARAT	161.136	216	198	1190	149.46
8	GROUP INJEKSI TIMUR	22.38	30	28.4	880	110.528
9	TURBODYNE A	1500	20.1	2363	1800	188.4
10	GROUP BOILER YOSHIMINE	65	87.13	14	1160	145.696

4.3 Solusi Perbaikan Profile Tegangan Sag Menggunakan Software PSCAD/EMTDC

V.4.2 Power Simulation.

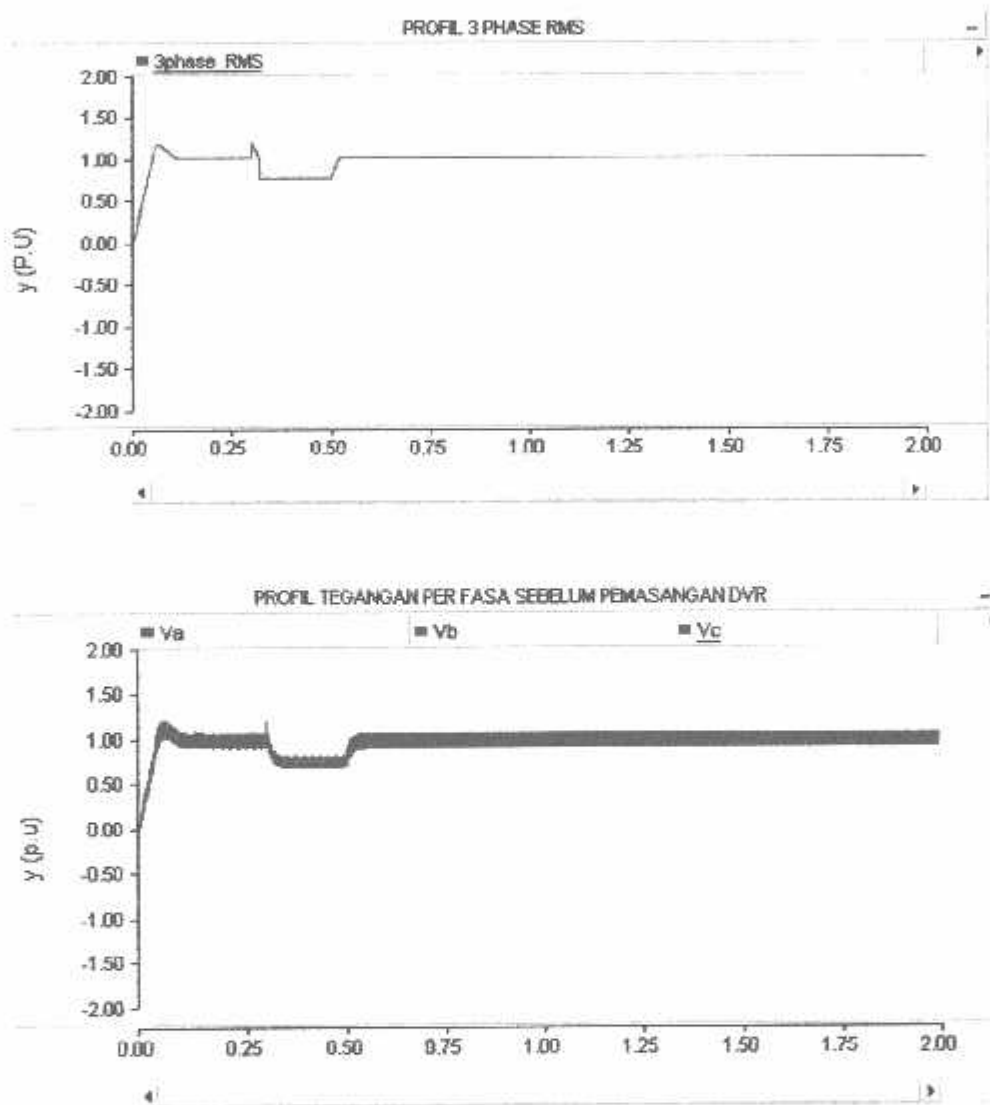
Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada PG. KREBET BARU I BULULAWANG MALANG dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software* PSCAD

4.4 Grafik Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan DVR (Dynamic Voltage Restorer)

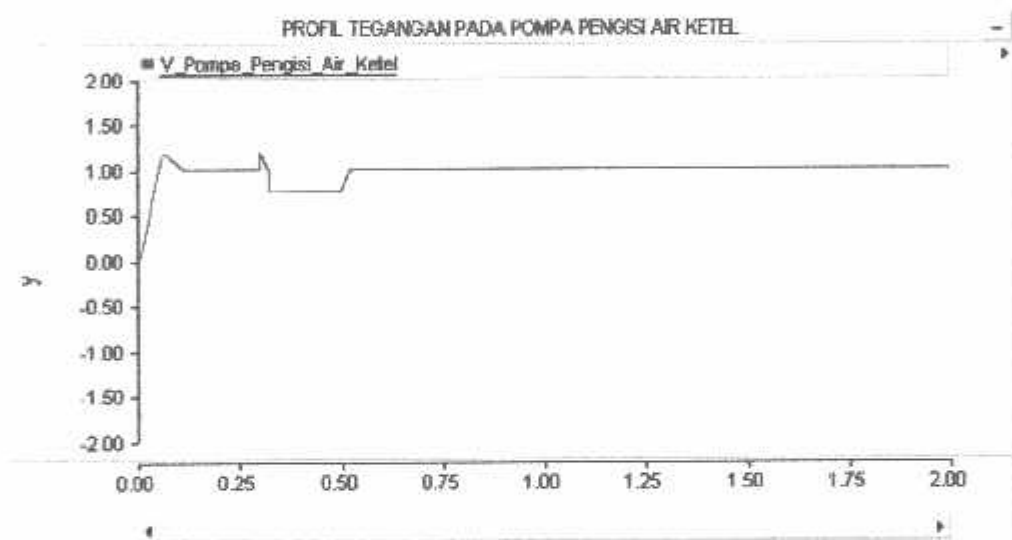
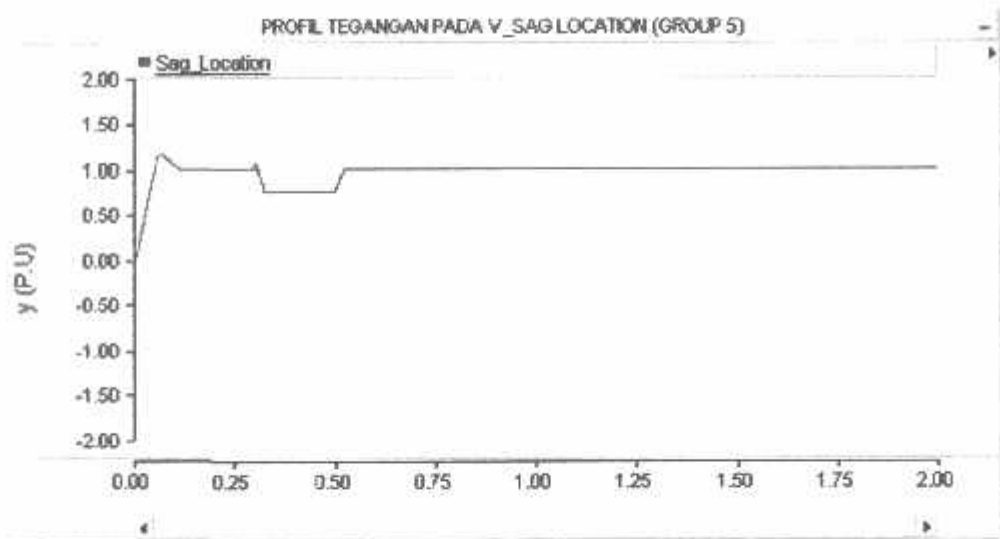
Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan rms dalam satuan (pu) pada saat terjadi *voltage sag* pada panel group 5 dengan beban berupa Pompa Air Pengisi Ketel tanpa dilakukan kompensasi *DVR*. Pada grafik ini dapat dilihat besar penurunan tegangan pada saat terjadi gangguan *sag*

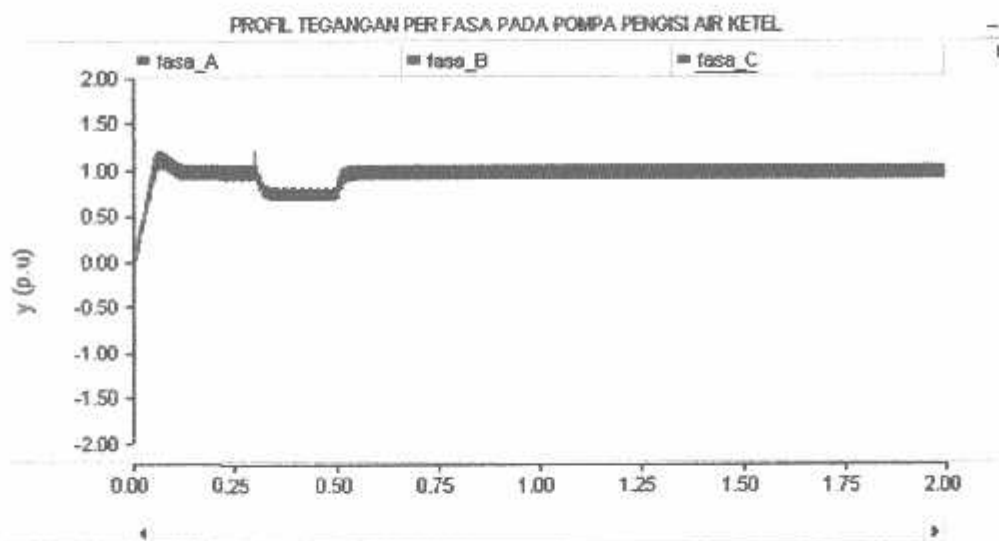
pada system. Grafik diambil dari system 380V. Grafik di bawah ini menunjukkan hasil simulasi tanpa kompensasi DVR pada saat diinjeksi beban pada panel group 5 berupa pompa air pengisi ketel berkapasitas 75 KW.

Sebelum Pemasangan DVR (Dynamic Voltage Restorer)
(waktu 0,3 – 0,5 s)



Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage sag* Untuk Profil Tegangan *Sebelum Pemasangan DVR (Dynamic Voltage Restorer)* Pada panel 5 beban motor Pompa Air Pengisi Ketel kapasitas besar, yaitu 75 kw



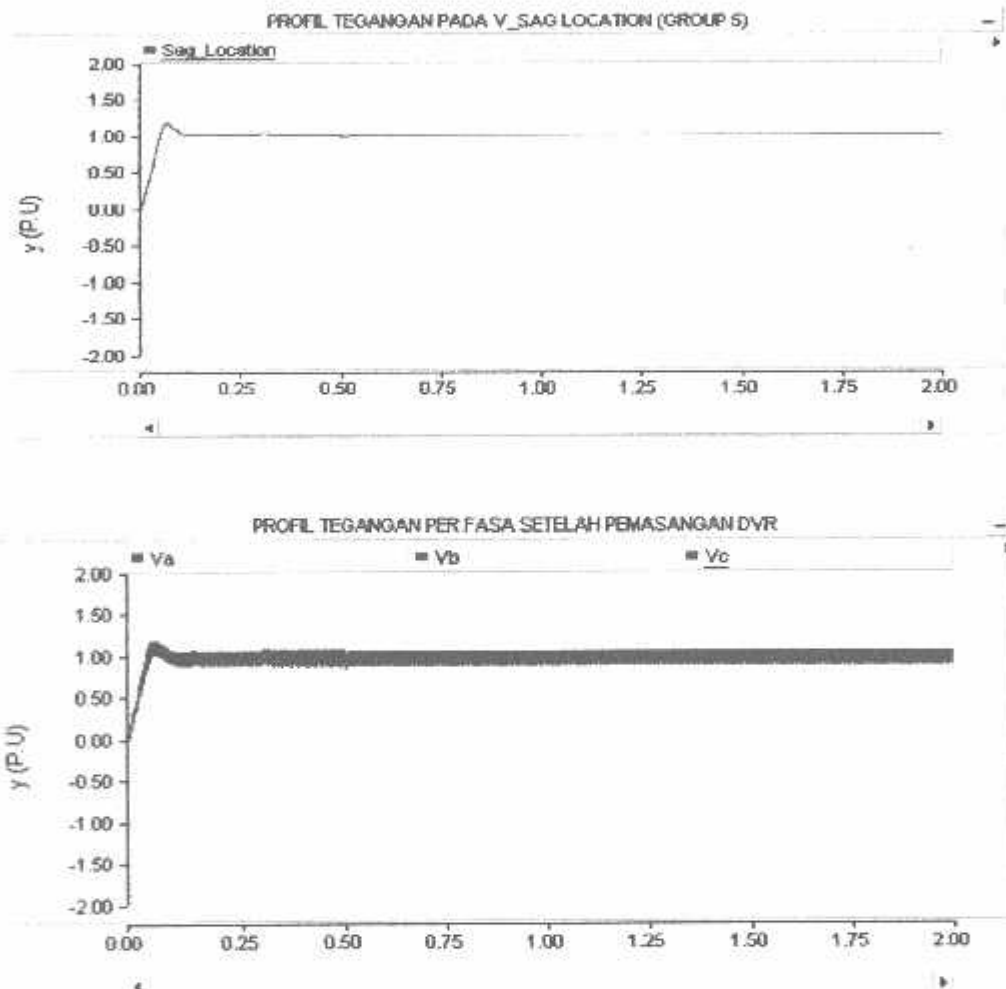


Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage sag* Perfasa Sebelum Pemasangan DVR (*Dynamic Voltage Restorer*) Pada panel 5 beban motor Pompa Air Pengisi Ketel kapasitas besar, yaitu 75 kw.

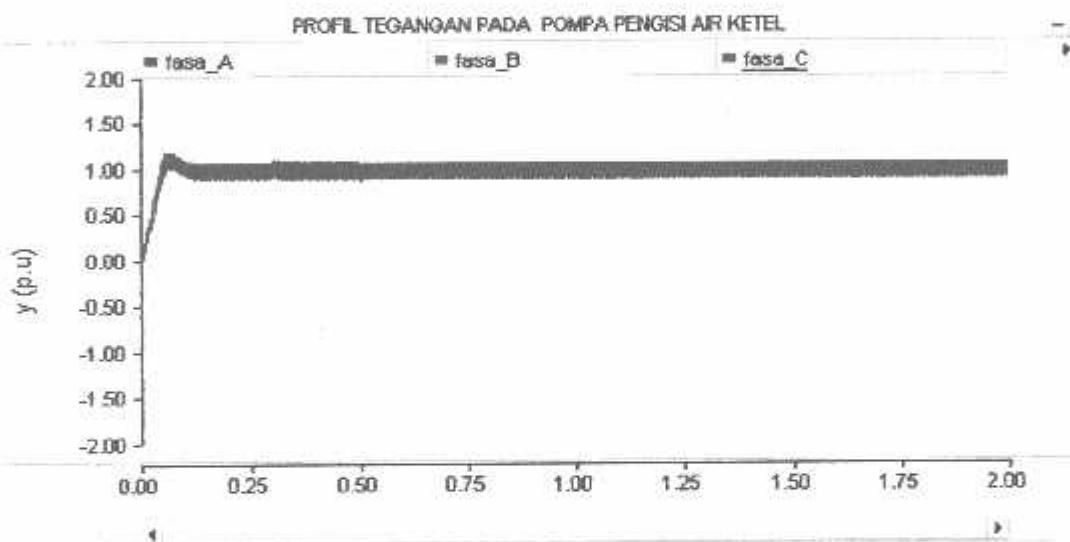
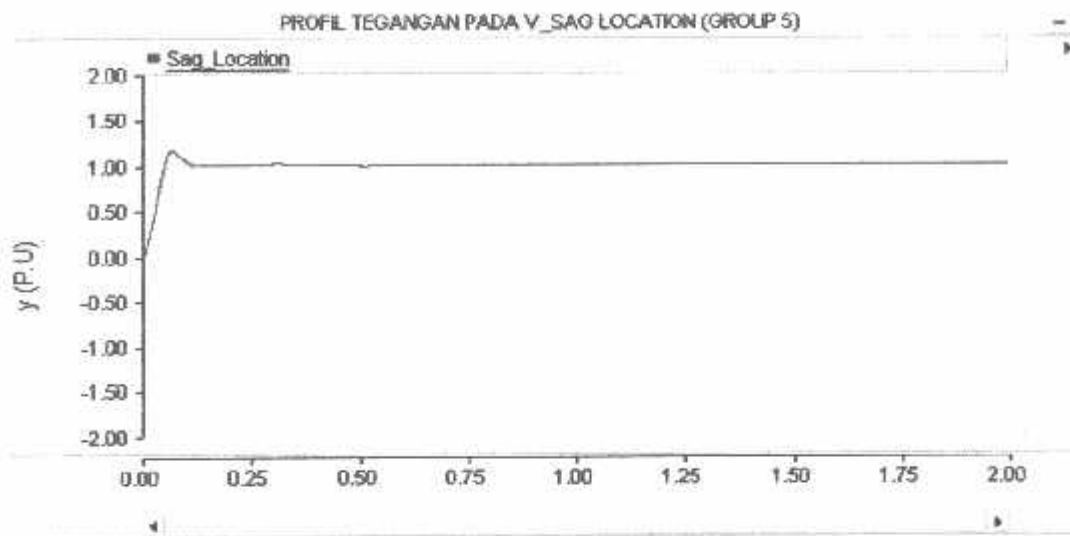
4.5 Grafik Hasil Simulasi Setelah Pemasangan DVR(Dynamic Voltage Restorer)

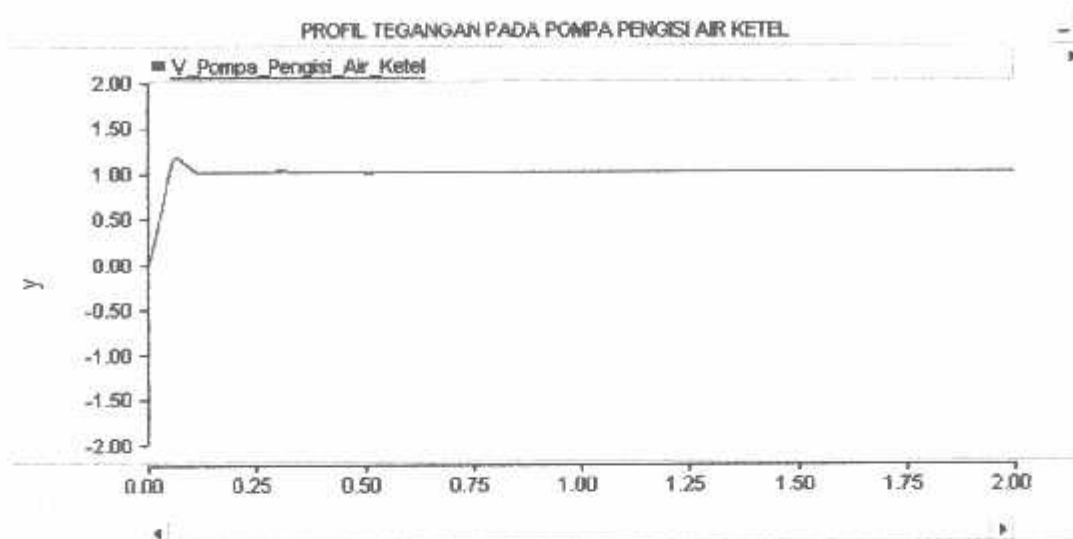
Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan rms dalam satuan (pu) pada saat terjadi *voltage sag* setelah dilakukan kompensasi DVR(*Dynamic Voltage Restorer*). *Voltage sag* diinjeksikan menggunakan beban pada panel group 5 berupa pompa air pengisi ketel. Pada grafik ini dapat dilihat besar kompensasi setelah terjadi gangguan pada saat terjadi *sag* pada system. Grafik diambil dari system 380V. Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi setelah dilakukan kompensasi DVR saat *voltage sag* pada saat diinjeksi beban pada panel group 5 berupa pompa air pengisi ketel.

Sesudah Pemasangan DVR(Dynamic Voltage Restorer) (waktu 0,3 – 0,5 s)



Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Tegangan pada panel group 5 Ketika terjadi Voltage sag. Untuk Profil Tegangan Setelah pengkompensasian DVR(Dynamic Voltage Restorer). Dengan Beban Pompa Air Pengisi Ketel 75kw.





Gambar 4.5 Bentuk Gelombang Tegangan pada Beban (Pompa Air Pengisian Ketel) Ketika terjadi *Voltage sag*.

Dapat dilihat bahwa pada ke tiga fasa mengalami kenaikan yang signifikan dibanding sebelum kompensasi *DVR* (*Dynamic Voltage Restorer*) saat di injeksi dengan beban.

4.6 Hasil Simulasi Dan Aliran Daya

4.6.1 Sebelum Kompensasi *DVR* (*Dynamic Voltage Restorer*)

Hasil simulasi sebelum kompensasi *DVR* (*Dynamic Voltage Restorer*) terjadi penurunan tegangan yang signifikan pada panel group 5 yang memiliki *Vrms* sebesar 0,756 pu , sedangkan beban didalam panel yang berupa Pompa Air Penggisi Ketel memiliki *Vrms* 0,785 pu pada fasa A ; *Vrms* 0,774 pu pada fasa B ; dan *Vrms* 0,792 pu pada fasa C saat terjadinya *voltage sag*.

4.6.2 Setelah Kompensasi *DVR* (*Dynamic Voltage Restorer*)

Hasil simulasi setelah kompensasi *DVR* (*Dynamic Voltage Restorer*) mengalami kenaikan rata-rata yang signifikan pada panel group 5 yang memiliki *Vrms* sebesar 0,983 pu , sedangkan beban didalam panel yang berupa Pompa Air

Pengisi Ketel) memiliki V_{rms} 0,983 pu pada fasa A ; V_{rms} 0,992 pu pada fasa B ; dan V_{rms} 0,984 pu pada fasa C saat terjadinya *voltage sag*.

4.6.3 Perhitungan Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Saat Sebelum Dan Sesudah Pemasangan DVR

Berikut adalah perhitungan optimasi perbaikan nilai tegangan saat sebelum dan sesudah kompensasi. Nilai referensi diambil contoh pada panel group 5 pada saat *voltage sag* dengan beban motor pompa air pengisi ketel.

A. V optimasi pada panel Group 5 saat *voltage sag* dengan diinjeksi beban 75 kw.

Berupa Pompa Air Pengisi Ketel

$$\begin{aligned} V_{optimasi} &= V_{with\ DVR} - V_{without\ DVR} \\ &= 0,983 - 0,756 \\ &= 0,227 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 380$ V maka,

$$V_{optimasi} = 0,227 \times 380 \text{ V} = 86,26 \text{ Volt}$$

B. V optimasi pada beban (Pompa air pengisi ketel) saat *voltage sag* yaitu fasa A, fasa B, dan fasa C.

Fasa A :

$$\begin{aligned} V_{optimasi} &= V_{with\ DVR} - V_{without\ DVR} \\ &= 0,983 - 0,785 \\ &= 0,2045 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 380$ V maka,

$$V_{optimasi} = 0,2045 \times 380 \text{ V} = 77,71 \text{ Volt}$$

Fasa B :

$$\begin{aligned}V_{optmast} &= V_{with DVR} - V_{without DVR} \\ &= 0.992 - 0.774 \\ &= 0.218 \text{ (pu)}\end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 380 \text{ V}$ maka,

$$V_{optimasi} = 0,218 \times 380 \text{ V} = 82,84 \text{ Volt}$$

Fasa C :

$$\begin{aligned}&= V_{with DVR} - V_{without DVR} \\ &= 0.984 - 0.792 \\ &= 0.192 \text{ (pu)}\end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 380 \text{ V}$ maka,

$$V_{optimasi} = 0,192 \times 380 \text{ V} = 72,96 \text{ Volt}$$

3.6.1 Optimasi Pada Panel Grup 5 Berupa Pompa Air Pengisi Ketel Sedudah Pemasangan DVR Dan Sebelum Pemasangan DVR

Tabel 4.5 Sebelum kompesasi DVR

No	V_{ref}	$V_{with\ DVR}$	$V_{with\ out\ DVR}$	$V_{optimasi}$
1	380 Volt	0,983 pu	0,756 pu	86,26 Volt

Tabel 4.6 Sebelum kompesasi DVR Perfasa (Fasa a, Fasa b, Fasa c)

No	Tegangan	$V_{with\ DVR}$	$V_{with\ out\ DVR}$	V_{ref}	$V_{optimasi}$
1	Fasa A	0,983 pu	0,785 pu	380 volt	77,71 volt
2	Fasa B	0,992 pu	0,774 pu	380 volt	82,84 volt
3	Fasa c	0,984 pu	0,792 pu	380 volt	72,92 volt

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengaruh pemasangan *DVR (Dynamic Voltage Restore)* pada sistem jaringan di PT. PG. KREBET BARU 1 BULULAWANG MALANG saat terjadi penurunan tegangan akibat *voltage sag* dengan menginjeksikan beban berupa Pompa Air Penggisi ketel dengan menggunakan bantuan *software PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. *DVR (Dynamic Voltage Restorer)* dapat memperbaiki profile tegangan hingga dapat mencapai kisaran 0.98 pu pada saat terjadi gangguan.
2. Besar nilai kapasitas perbaikan dalam tegangan rms setelah kompensasi tergantung pada nilai sumber tegangan DC.
3. Pada saat terjadi gangguan penurunan tegangan rms sesaat pada sistem, dengan dipasangnya *DVR(Dynamic Voltage Restorer)* maka tegangan pada sistem dapat dikompensasi dengan kenaikan tegangan yang cukup bagus meskipun tegangan tidak sebagus seperti sebelum gangguan.
4. Tegangan mengalami perbaikan terbaik terjadi pada fasa B saat terjadi *voltage sag*, dengan kompensasi *DVR* pada fasa B dari 0.774 (pu) atau 294.12 volt menjadi 0.992 (pu) per unit atau 376.96 volt pada Pompa Air Penggisi ketel
5. setiap fasa dapat terkompensasi dengan nilai $> 0.95(\text{pu})$ sehingga secara umum *DVR(Dynamic Voltage Restorer)* ideal dipasang di PT. PG. KREBET BARU 1 untuk mengatasi *voltage sag*.

5.2 Saran

Bahwa system kualitas tegangan listrik di industry khusus nya di PT. PG KREBET BARU 1, masih sangat perlu untuk meningkatkan kualitas daya elektrik seperti yang

di jabarkan dalam skripsi ini. Penggunaan DVR(Dynamic Voltage Restorer) ntuk meningkatkan performasi system daya listrik sangat di perlukan karna di tempat tersebut merupakan Industri besar di mana ingkat kan kualitas daya sangat di butuhkan guna untuk menjaga oprasional pabrik tetap beroperasi guna stok gula Jawa Timur kusus nya Indonesia tidak berkurang.

Untuk biasa meningkatkan performa atau keandalan DVR (Dynamic Voltage Restorer) dalam kinerja untuk melindungi bebab kritis sebaik nya penempatanya menggunakan metode optimasi penempatan atau letak di pasang nya perangkat tersebut agar kinerja DVR Dynamic Voltage Restorer lebih bagus untuk meminimalisir beban kritis pada sebuah kualitas daya listrik.

Walaupun DVR Dynamic Voltage Restorer menjadi alat untuk menjaga kestabilan system proteksi baik primer maupun secara prinsip juga merupakan peralatan listrik non linier maka dalam prosesnya DVR Dynamic Voltage Restorer juga menghasilkan distorsi kusus nya harmonisa maka di samping pemasangan DVR Dynamic Voltage Restorer juga di pasang sebuah perangkat vilter dalam system proteksi listrik, untuk menambah keandalan kualitas tegangan listrik kusunya di PT PG KREBET BARU I BULULAWANG MALANG.

5.3 Daftar Pustaka

- [1]. Hingorani, N.G., and Gyugyi, L., S. 2000. "*Understanding FACTS concepts and technology of Flexible AC Transmission Systems*": IEEE press, 2000.
- [2]. Basri, Hasan, "*Sistem Distribusi Daya Listrik*", (Jakarta: ISTN, 1997)
- [3]. R.C. Dugan, "*Electrical Power System Quality*", McGraw-Hill, New York, 1996.
- [4]. Djiteng Marsudi, "*Operasi sistem tenaga Listrik*", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993
- [5]. William D. Stevenson, Jr, "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1990