

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT
UNBALANCED VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN DVR (DYNAMIC
VOLTAGE RESTORE) DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER
SIMULATION PADA G.I GRESIK**

SKRIPSI



Disusun Oleh :

DONY OKTRIDIA LEGAWA

NIM. 0712009

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

2012

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT
UNBALANCED VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN DVR (DYNAMIC
VOLTAGE RESTORE) DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC
POWER SIMULATION PADA G.I GRESIK**

SKRIPSI

**Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna
mencapai gelar Sarjana Teknik**

Disusun Oleh :

DONY OKTRIDIA LEGAWA

NIM. 0712009

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

NIP. Y. 1018800189

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y. 1038900209

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

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : DONY OKTRIDIA LEGAWA
NIM : 07.12.009
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
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 dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

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

Malang, 14 Maret 2012

Yang Membuat Pernyataan,



DONY OKTRIDIA LEGAWA

NIM. 0712009

ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT UNBALANCED VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN DVR (DYNAMIC VOLTAGE RESTORE) DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION PADA G.I GRESIK

Dony Oktridia Legawa

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang

Dosen Pembimbing : Ir. Choirul Saleh, MT dan Ir. Teguh Herbasuki, MT

E-mail : dony_fans@yahoo.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 ke dalam sistem untuk kompensasi V_{sag} dan mempertahankan nilai tegangan pada batas-batas yang diinginkan. Dari hasil simulasi kita dapat melihat bahwa masing-masing hasil prosentase Voptimasi berada pada sekitar 15.8 % pada fasa C ke tanah (SLGF) sedangkan 16.1 % pada fasa A dan B ke tanah (LLGF).

Kata kunci : sistem distribusi, DVR, voltage sag tak seimbang

ABSTRACT

Disorders instantaneous voltage drop (sag) is one of common general in a system of power distribution network. This drop in voltage can affect the distribution and continuity of electric energy service to the load. There are two kinds of instantaneous voltage drop (sag) those are balanced and unbalanced. DYNAMIC VOLTAGE RESTORE (DVR) compensation is one tool that can overcome this problems. DVR is installed in series on the network to load the problematic. The basic principle of the DVR injects a voltage into the system for compensation V_{sag} and maintain the value of the voltage at the desired limits. Based on the simulation results we can see that the percentage of each Voptimization is at approximately 15.8% in phase C to ground (SLGF) while 16.1% in phase A and B to the ground (LLGF).

Key words: distribution system, DVR, voltage sag unbalanced

KATA PENGANTAR

Segala puji kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Analisa Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat *Unbalance Voltage Sag* Menggunakan *DVR (Dynamic Voltage Restore)* Dengan Software *PSCAD/EMTDC Power Simulation* Pada Gardu Induk Gresik”** (Studi Kasus di PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Gresik).

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 Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, ITN Malang.
 5. Bapak Bambang Prio Hartono, ST, MT. selaku Penguji Pertama.
 6. Bapak Ir. Eko Nurcahyo. selaku Penguji Kedua.
 7. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT. selaku Dosen Pembimbing I.
 8. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing II.
 9. Bapak Awan Uji Krismanto, ST, MT. selaku Dosen Konsultasi Judul.
 10. Bapak Sudjarwo, ST. selaku Manager PT. PLN (Persero) APJ Gresik.
 11. Bapak Drs. Samsul Hadi selaku Humas PT. PLN (Persero) APJ Gresik.
-

12. Bapak Oka Hadi Sasmita, ST, selaku Supervisor Pemeliharaan PT. PLN (Persero) APJ Gresik.
13. Segenap keluarga yang telah memberikan semangat dan doa restu terutama Papa Djodi Poerwono dan Mama Endang Setyawati.
14. 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.

Malang, 09 Maret 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	2
1.3 Tujuan Pembahasan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.2.1. Sistem Distribusi Primer	6
2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder	7
2.3 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	7
2.3.2 Struktur Jaringan Radial	7
2.3.3 Struktur Jaringan Loop	8
2.3.4 Struktur Jaringan Grid atau Mesh	8
2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan	9
2.4.1 Daya Dalam Sistem Tenaga	9
2.4.1.1 Daya Nyata	10
2.4.1.2 Daya Reaktif	10
2.4.1.3 Daya Semu	10
2.4.2 Daya Reaktif dan Faktor Daya	10

2.5	Sistem Per Unit	12
2.6	Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik	13
2.7	Prinsip Dasar Operasi DVR	15
2.7.1	Model Dynamic Voltage Restore	16
2.8	Peralatan Elektronika Daya	18
2.8.1	Transistor Bipolar	18
2.8.2	Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)	18
2.9	Tegangan Sag (Voltage Sag)	19
2.9.1	Perhitungan Nilai Voltage Sag Dalam Sistem	20
2.10	Sistem Pengendalian PWM Sinusoida	21
2.10.1	PWM Sinusoida	21

BAB III PERBAIKAN *VOLTAGE SAG UNBALANCED* MENGGUNAKAN *DVR (DYNAMIC VOLTAGE RESTORE)*

3.1	Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation	23
3.2	Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation	24
3.3	Sistem Pengendalian PWM Sinusoida	26
3.3.1	PWM Sinusoida	26
3.3.2	Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap DVR	27
3.4	Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)	27
3.4.1	Umum	27
3.4.2	Prinsip-prinsip Pengendalian Proses	29
3.4.3	Prinsip Kerja Pengendali	29
3.4.4	Pengendali Proporsional	30
3.4.5	Pengendali Integral	32
3.4.6	Pengendali Proporsional Integral	33
3.5	Kompensasi DVR Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	34
3.5.1	Input Data Pengendali DVR	35
3.6	Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC	37
3.6.1	Flowchart Penyelesaian Masalah	37
3.6.2	Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM	38

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1 Single Line Sistem Distribusi G.I Gresik Dalam Software PSCAD/EMTDC Power Simulation	39
4.2 Data Sistem Distribusi pada PT. PLN (Persero) APJ. Gresik	39
4.3 Solusi Perbaikan Profil Tegangan Sag Unbalance Menggunakan Software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation	40
4.4 Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Unbalance Voltage Sag Menggunakan DVR	41
4.4.1 Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi DVR	41
4.4.1.1 Sistem Sebelum Mengalami Gangguan	41
4.4.1.2 Sistem Setelah Mengalami Gangguan Sag Unbalance	42
4.5 Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi DVR	45
4.5.1 Kompensasi Dengan DVR Saat Terjadi Voltage Sag Unbalance Selama (300-700 ms)	45
4.5.2 Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi DVR	48
4.5.2.1 Perbandingan Tanpa dan Dengan DVR	48
4.6 Analisa Hasil	51

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Skema Penyaluran Energi Listrik	5
Gambar 2.2 : Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah Dan Sambungan Rumag Ke Pelanggan	6
Gambar 2.3 : Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial	7
Gambar 2.4 : Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari Satu Sumber	8
Gambar 2.5 : Jaringan Menengah Struktur Mesh	9
Gambar 2.6 : Segitiga Daya	10
Gambar 2.7 : Saluran Distribusi Primer	11
Gambar 2.8 : Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	15
Gambar 2.9 : Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah	15
Gambar 2.10 : Prinsip DVR dengan Waktu	16
Gambar 2.11 : Diagram Blok Fungsional Untuk DVR	16
Gambar 2.12 : Ilustrasi <i>Voltage Sag</i>	19
Gambar 2.13 : Gambaran terjadinya <i>Voltage Sag/Dip</i> akibat <i>fault</i>	20
Gambar 2.14 : Model Pembagi Tegangan untuk <i>Voltage Sag</i>	20
Gambar 3.1 : Tampilan Utama <i>Software PSCAD/EMTDC Power Simulation</i>	24
Gambar 3.2 : Tampilan <i>Master Library</i>	25
Gambar 3.3 : Tampilan Modul Utama	25
Gambar 3.4 : Tampilan <i>Single Line</i> Distribusi Tenaga Listrik G.I Gresik Dalam <i>PSCAD</i>	26
Gambar 3.5 : Kontroler dan Diagram Kotaknya	30
Gambar 3.6 : Diagram Blok Kontrol Proporsional	31
Gambar 3.7 : Response Sebuah Kendali Proporsional	32
Gambar 3.8 : Blok Diagram Kontrol Integral	33
Gambar 3.9 : Diagram Kotak Pengendali PI	34
Gambar 3.10 : Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu	34
Gambar 3.11 : (a) Rangkaian Pengendali PI Untuk Mengendalikan <i>DVR</i>	35
(b) Rangkaian PWM Untuk Mengendalikan <i>DVR</i>	35

(c) Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan <i>DVR</i>	36
Gambar 3.12 : <i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah	37
Gambar 3.13 : <i>Flowchart</i> Desain <i>Control DVR</i> Menggunakan <i>PSCAD/EMTDC</i>	38
Gambar 4.1 : Sistem Distribusi G.I Gresik Dalam <i>Software PSCAD/EMTDC</i>	39

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 : Data Beban pada masing-masing Penyulang G.I Gresik	40
Tabel 4.2 : Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag Unbalance</i> <i>Single Line to Ground Fault</i> Sebelum Kompensasi DVR	43
Tabel 4.3 : Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag Unbalance</i> <i>Line to Line Ground Fault</i> Sebelum Kompensasi DVR	44
Tabel 4.4 : Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag Unbalance</i> <i>Single Line to Ground Fault</i> Setelah Kompensasi DVR	46
Tabel 4.5 : Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag Unbalance</i> <i>Line to Line Ground Fault</i> Setelah Kompensasi DVR	47
Tabel 4.6 : Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> <i>Unbalance Single Line to Ground Fault</i> Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi DVR	48
Tabel 4.7 : Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> <i>Unbalance Line to Line Ground Fault</i> Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi DVR	49
Tabel 4.8 : Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah <i>Voltage Sag Unbalance Single</i> <i>Line to Ground Fault</i> Dalam Bentuk Prosentase V_{optimasi}	53
Tabel 4.9 : Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah <i>Voltage Sag Unbalance Line to</i> <i>Line Ground Fault</i> Dalam Bentuk Prosentase V_{optimasi}	56

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 : Bentuk Gelombang Tegangan Normal	41
Grafik 4.2 : Bentuk Gelombang Tegangan Ketika Terjadi <i>Voltage Sag</i>	
<i>Unbalance Single Line to Ground Fault (SLGF)</i>	42
Bentuk Gelombang Tegangan Ketika Terjadi <i>Voltage Sag</i>	
<i>Unbalance Line to Line Ground Fault (LLGF)</i>	42
Grafik 4.3 : Bentuk Gelombang Tegangan Ketika Terjadi <i>Voltage Sag</i>	
<i>Unbalance Single Line to Ground Fault (SLGF)</i> Setelah	
Kompensasi	45
Bentuk Gelombang Tegangan Ketika Terjadi <i>Voltage Sag</i>	
<i>Unbalance Line to Line Ground Fault (LLGF)</i> Setelah Kompensasi	45
Grafik 4.4 : Grafik Tegangan Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi	
Akibat <i>Voltage Sag Unbalance Single Line to Ground Fault</i>	50
Grafik 4.5 : Grafik Tegangan Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi	
Akibat <i>Voltage Sag Unbalance Line to Line Ground Fault</i>	50

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi sangat pesat, hal itu ditandai dengan banyaknya industri maupun rumah tangga yang menggunakan peralatan listrik berkapasitas besar, maka kualitas tegangan yang baik sangat dibutuhkan dalam penyaluran tenaga listrik agar pasokan listrik yang diterima oleh konsumen dapat dinikmati dengan baik pula.

Seiring dengan perkembangan yang pesat di bidang ketenaga listrikan salah satu permasalahan gangguan dalam sistem distribusi tenaga listrik adalah adanya *voltage sag*, dimana *voltage sag* ini didefinisikan sebagai penurunan besaran tegangan efektif (rms) pada frekuensi daya antara 0,1 sampai 0,9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit. Penyebab dari tegangan *sag* adalah akibat dari gangguan hubung singkat, pengasutan motor berkapasitas besar, perubahan beban yang berlebihan / diluar batas dari kemampuan sistem daya.

Di dalam jaringan distribusi tegangan *sag* tidak seimbang lebih sering terjadi daripada tegangan *sag* seimbang. Walaupun tegangan *sag* tiga fasa dianggap sebagai kesalahan terburuk namun pada prakteknya hal itu jarang terjadi. Yang paling sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah *Single Line Ground Fault (SLGF)* dan gangguan antar fasa ke tanah *Line line to ground fault (LLGF)*. Dalam sistem distribusi tenaga listrik 95% gangguan *sag* adalah dari type tak seimbang.

Pada sistem distribusi G.I Gresik, sering terjadi penurunan tegangan sesaat karena pada daerah tersebut banyak pabrik-pabrik besar yang menggunakan motor-motor listrik berkapasitas besar dan hal tersebut membutuhkan suplai daya dan tegangan listrik yang sangat besar. Pada sistem distribusi di G.I Gresik terdiri dari beberapa penyulang/feeder dengan sistem jaring radial dimana antara penyulang yang satu dengan yang lainnya dapat dihubungkan dengan mengoperasikan *sectionalizing switches*. Oleh karena itu G.I Gresik layak untuk menjadi objek penelitian dan diharapkan dapat ditemukan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Salah satu cara untuk me-*reduksi* atau mengurangi tegangan *sags* adalah dengan menggunakan suatu alat kompensator yaitu *Dynamic Voltage Restore (DVR)*. Yaitu

peralatan FACTS yang mampu mereduksi *voltage sag* dan hasil keluaran yang dihasilkan lebih bagus dibandingkan *STATCOM*, serta dapat dioperasikan dengan model injeksi secara langsung saat *STATCOM* tidak dapat melayani operasi tersebut. Dalam penerapannya *STATCOM* yang dihubungkan secara parallel hanya mampu mengkompensasi daya reaktif berkisar antara 90% sampai dengan 94% saja, sedangkan *DVR* yang dihubungkan secara seri mampu mereduksi *voltage sag* hingga 98%. Dengan demikian penggunaan *DVR* lebih efektif untuk mereduksi *voltage sag* dibandingkan alat kompensasi jenis *STATCOM*.

Dengan bantuan *software PSCAD/EMTDC* besarnya tegangan *sag* dapat disimulasikan sehingga pengaruh dari tegangan *sag* dapat dianalisa. Hasil analisa tersebut akan digunakan untuk pertimbangan penggunaan *DVR* untuk mengurangi besarnya tegangan *sag* dalam jaringan distribusi, sehingga kasus penurunan tegangan sesaat pada Jaringan Distribusi G.I Gresik yang dapat diminimalisir ataupun dapat dihilangkan.

1.2. Rumusan Masalah

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen listrik seperti: generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban-beban listrik atau pelanggan. Pendistribusian tenaga listrik adalah bagian dari suatu proses sistem tenaga listrik. Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronik dalam jumlah besar dalam selang waktu kira-kira dua puluh tahun terakhir pada saat ini telah menimbulkan masalah yang tidak terkirakan sebelumnya. Besarnya kenaikan penggunaan beban-beban elektronik yang canggih dan berkapasitas besar menyebabkan penurunan tegangan sesaat (*Voltage sag*).

Penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*) merupakan salah satu masalah serius dalam kualitas daya. Bagaimana solusi untuk meminimalisasikan *voltage sags* tak seimbang ?

Dari permasalahan di atas maka skripsi ini berjudul :

“ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT UNBALANCED VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN DVR (DYNAMIC VOLTAGE RESTORE) DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION PADA G.I GRESIK”

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 unbalanced* pada Gardu Induk Gresik.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

- a. Simulasi yang digunakan dalam menentukan nilai optimal dan lokasi yang tepat dari *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*.
- b. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software PSCAD/EMTDC*.
- c. Studi dilakukan pada PT PLN APJ GRESIK.
- d. Analisa dilakukan dengan menganggap sistem dalam keadaan normal.
- e. Analisa dilakukan hanya sebatas pengkajian beban yang telah ada.
- f. Tidak membahas secara detail mengenai proteksi, sinkronisasi, harmonisa, *voltage sags* balance dan jenis *DVR* yang digunakan.

1.5. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah:

1. Studi literatur berupa pengumpulan dan pembahasan referensi yang berkaitan dengan pokok pembahasan masalah ini, sehingga membantu dalam memahami dasar-dasar dari peralatan yang digunakan dalam sistem dan membantu dalam memahami prinsip dan karakteristik setiap parameter elektronika daya yang digunakan.
 2. Pengumpulan data lapangan sebagai objek penelitian.
 3. Melakukan analisis berdasarkan hasil simulasi program *PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*.
 - a. Analisis aliran daya dan profil tegangan
 - b. Analisis durasi / panjang gangguan *voltage sag* yang terjadi pada sistem
 - c. Analisis sistem pada saat terjadi gangguan *voltage sag unbalanced* sebelum menggunakan *DVR* dan setelah menggunakan *DVR*
 4. Menarik kesimpulan.
-

1.6. Sistematika Penulisan

Bab I : Pendahuluan

Berisi penguraian tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian dan Sistematika Penulisan.

Bab II : Sistem Distribusi Tenaga Listrik dan Aplikasi Perbaikan

Voltage Sag Unbalanced Dengan DVR

Membahas sistem distribusi tenaga listrik secara umum dan pengaruh pemasangan alat kompensasi untuk memperbaiki permasalahan gangguan listrik.

Bab III : Pemodelan Sistem Perbaikan *Voltage Sag Unbalanced*

Menggunakan DVR

Pada bab ini akan dibahas cara kompensasi *DVR (Dynamic Voltage Restore)* untuk mereduksi *Voltage Sag Unbalanced* akibat gangguan hubung singkat.

Bab IV : Hasil dan Analisa Hasil

Menguraikan tentang hasil simulasi dan menganalisa hasil simulasi.

Bab V : Penutup

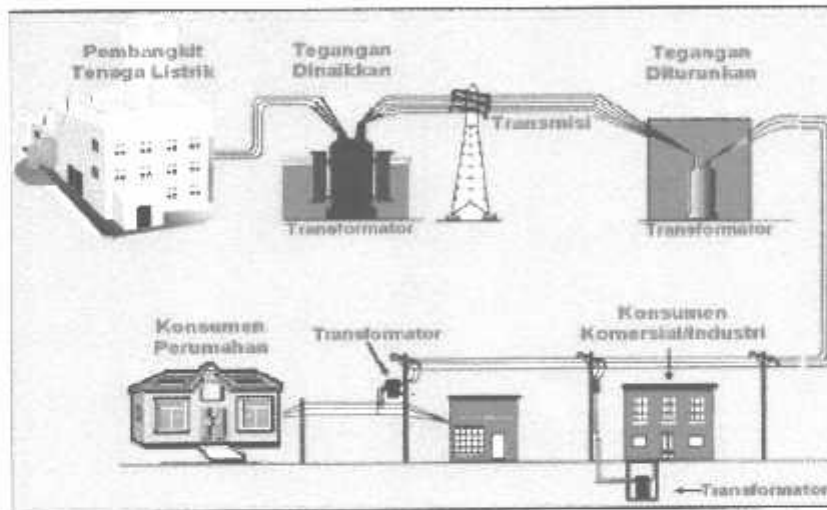
Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.



Gambar 2.1

Skema Penyaluran Energi Listrik

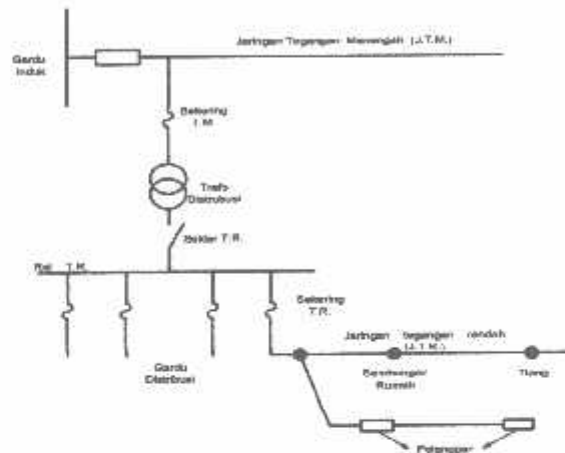
Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit ke bagian sistem distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen

melalui gardu distribusi. Jaringan setelah keluar dari gardu induk bisa disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.



Gambar 2.2

Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20kV 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 sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer (Jaringan Tegangan Menengah)
2. Sistem distribusi sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

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

2.2.1. Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan

tegangan kerja 20 kV atau 6 kV. Oleh karena itu sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah

2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder

Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah yaitu 127/220 volt atau 220/380 volt, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah.

Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

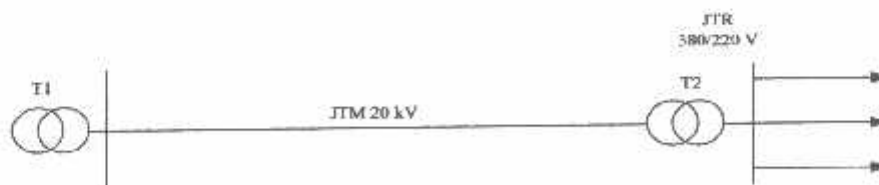
Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dipertimbangkan terlebih dahulu sehingga untuk ekspansi sistem di masa yang akan datang tidak menjadi masalah.

Ada beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik, yaitu :

1. Sistem jaringan distribusi radial
2. Sistem jaringan distribusi rangkaian tertutup (*loop*)
3. Sistem jaringan distribusi mesh

2.3.1. Struktur Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari Gardu Induk ke pusat – pusat beban / konsumen yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*).



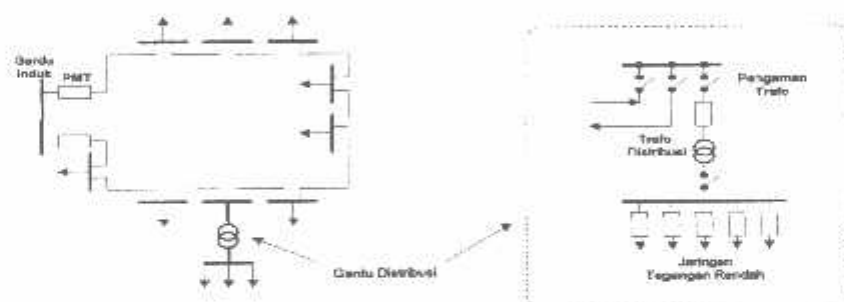
Gambar 2.3

Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial

Pelayanan untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator di sembarang titik pada jaringan sedekat mungkin dengan beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

2.3.2. Struktur Jaringan *Loop* (Lingkaran)

Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (*Circuit Braker*) atau pemisah (*Disconnect Switch*). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Struktur jaringan *loop* mempunyai keandalan yang baik, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan stuktur jaringan radial.

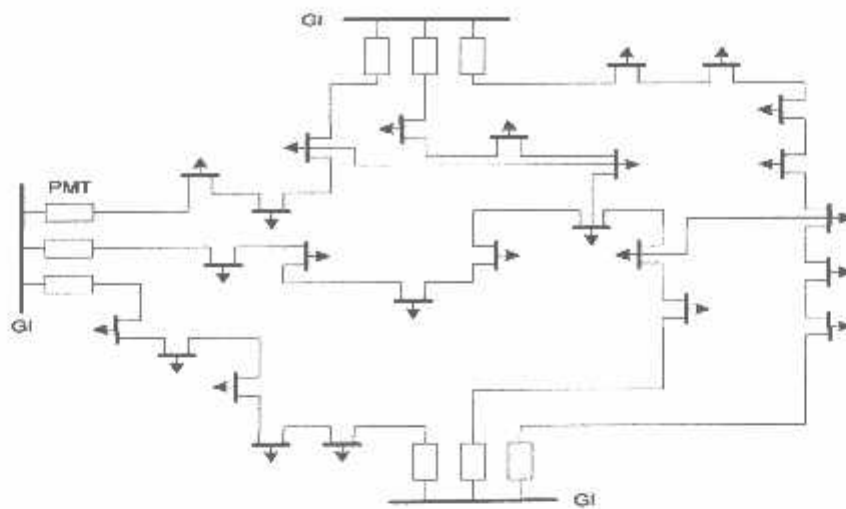


Gambar 2.4

Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Loop* yang dipasok dari satu sumber

2.3.3. Struktur jaringan Grid atau *Mesh* (Anyaman)

Struktur jaringan ini merupakan kombinasi antara struktur jaringan radial dengan struktur jaringan *loop*. Titik beban memiliki lebih banyak alternatif penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain.



Gambar 2.5

Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh

2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan

Dalam melayani beban yang dibutuhkan oleh konsumen dan pengoperasian tenaga listrik perlu dilakukan suatu analisa aliran daya, sehingga sistem yang dioperasikan dapat memenuhi syarat yang baik secara teknis maupun tingkat ekonomisnya. Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan-perhitungan terhadap tegangan, arus, daya aktif, reaktif, dan sudut fasa yang terdapat dalam berbagai titik pada saluran distribusi tenaga listrik.

Tujuan dari analisa daya adalah :

1. Untuk mengetahui keadaan tegangan pada setiap node dari sistem tenaga.
2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada setiap saluran dari struktur jaringan
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya yang mengalir pada setiap saluran.

2.4.1 Daya Dalam Sistem Tenaga

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada, dan hal yang harus diperhatikan adalah sistem yang tetap (konstan). Dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan karena berhubungan dengan daya

Daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah :

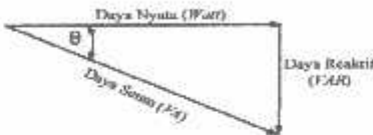
2.4.1.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

$$P = \sqrt{3} \left| V_{j\text{ala-jala}} \right| \left| I_{j\text{ala-jala}} \right| \cos \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$



Gambar 2.6
Segitiga daya

2.4.1.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

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

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$Q = \sqrt{3} \left| V_{j\text{ala-jala}} \right| \left| I_{j\text{ala-jala}} \right| \sin \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

2.4.1.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

$$S = |V| |I| \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} \left| V \right| \left| I \right| \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4.2. Daya Reaktif dan Faktor Daya

Setiap pemakaian daya reaktif akan menyebabkan turunnya faktor daya yang kemudian menyebabkan memburuknya karakteristik kerja peralatan-peralatan sistem pada umumnya, baik dari segi teknik operasional maupun segi ekonomisnya, faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu.

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya Nyata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen daya nyata (kW) dan komponen daya reaktif (kVAR).

Dengan faktor daya = $\text{Cos}\phi = \frac{P}{S}$

$$\text{Cos}\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots\dots\dots(2.8)$$

- Dimana :
- P = Daya Nyata (kW)
 - Q = Daya Semu (kVAR)
 - S = Daya Semu (kVA)
 - ϕ = Sudut Fasa

Faktor daya (Cos ϕ) akan mendahului (*leading*) apabila arus mendahului tegangan dan akan tertinggal (*lagging*) bila arus terbelakang terhadap tegangan. Dengan diketahui besarnya faktor daya yang terjadi maka, berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai masing-masing daya yaitusebagai berikut:

- Daya Semu : $S = P + jQ$ dengan satuan kVA
- Daya Nyata : $P = S \text{ Cos } \phi$ dengan satuan kW
- Daya Reaktif : $Q = S \text{ Sin } \phi$ dengan satuan kVar

Beberapa sebab sistem distribusi mempunyai faktor daya yang rendah, yaitu:

- Banyaknya pemakaian motor asinkron terutama pada industri.
- Makin meningkatnya pemakaian lampu TL untuk penerangan.
- Pemakaian pemanas air.

Menurunnya faktor daya berarti mengecilnya perbandingan antara daya nyata dengan daya semu atau berarti semakin membesarnya kebutuhan beban dan daya aktif.



Gambar 2.7
Saluran Distribusi Primer

Karena pada saluran terdapat resistansi R dan reaktansi X, maka rugi daya (P_L) dirumuskan sebagai berikut:

$$P_L = I^2 R$$

$$= (I \cos \varphi)^2 R + (I \sin \varphi)^2 R \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

I adalah arus dengan satuan Ampere (A)

R adalah tahanan dengan satuan Ohm (Ω)

Dalam hubungan segitiga daya rumus ini mengacu pada gambar 2.6

2.5. Sistem Per Unit

Sistem Tenaga Listrik dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt unit yang sangat memudahkan karena untuk menyatakan tegangan. Karena besarnya daya yang harus disalurkan, kilowatt atau megawatt dan kilovolt-ampere atau megavolt-ampere adalah istilah-istilah yang sudah biasa dipakai. Tetapi kuantitas-kuantitas tersebut diatas bersama-sama dengan ampere dan ohm sering juga dinyatakan sebagai suatu presentase atau per unit dari suatu nilai dasar atau referensi yang ditentukan untuk masing-masing. Definisi nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal.

Tegangan, arus, kilovoltampere dan impedansi mempunyai hubungan sedemikian rupa sehingga pemilihan nilai dasar untuk dua saja dari kuantitas-kuantitas tersebut sudah dengan sendirinya menentukan nilai dasar untuk kuantitas lainnya. Jika nilai dasar antara arus dan tegangan sudah dipilih, maka nilai dasar dari impedansi dan kilovoltampere dapat ditentukan. Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangan (volt drop) padanya sendiri sesuai tegangan dasar, jika arus yang mengalirnya sama dengan arus dasar. Kilovoltampere dasar pada sistem fasa tunggal adalah hasil perkalian dari tegangan dasar dalam kilovolt dan arus dasar dalam ampere. Biasanya megavoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt adalah kuantitas yang dipilih untuk menentukan dasar atau referensi. Jadi untuk sistem tiga fasa tunggal atau sistem tiga fasa dimana istilah arus berarti arus saluran, istilah tegangan berarti tegangan ke netral, dan istilah kilovoltampere berarti kilovoltampere per fasa, berlaku rumus-rumus berikut ini untuk hitungan bermacam-macam kuantitas :

$$\text{Arus Dasar} = \frac{\text{Dasar kVA}_{3\phi}}{\text{Tegangan Dasar, kV}_{LN}} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\text{Impedansi Dasar} = \frac{\text{Tegangan Dasar, V}_{LN}}{\text{Arus Dasar, A}} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\text{Impedansi Dasar} = \frac{(\text{Tegangan Dasar, V}_{LN})^2 \times 1000}{\text{Dasar kVA}_{1\phi}} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$Impedansi\ Dasar = \frac{(Tegangan\ Dasar, V_{LN})^2}{Dasar\ MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Daya\ Dasar, kW_{1\phi} = dasar\ kVA_{1\phi} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Daya\ Dasar, MW_{1\phi} = dasar\ MVA \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Impedansi\ Per\ unit\ Suatu\ elemen\ rangkaian = \frac{Impedansi\ sebenarnya, \Omega}{Impedansi\ Dasar, \Omega} \dots\dots (2.16)$$

Dalam persamaan diatas subkrip 1Ø dan LN berturut-turut menunjukan "per fasa" dan "saluran ke netral", untuk persamaan-persamaan yang berlakubagi rangkaian tiga fasa. Jika rangkaian-rangkaian itu digunakan untuk rangkaian berfasa tunggal, kV_{LN} berarti tegangan pada saluran berfasa tunggal atau tegangan saluran ke tanah jika salah satu salurannya di ketanahkan.

Impedansi Dasar dan arus dasar dapat langsung dihitung dari nilai-nilai tiga dasar untuk kilovolt dasar dan kilovoltampere dasar. Jika kita mengartikan kilovoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt berturtu-turut sama dengan kilovoltampere dasar untuk total tiga fasa dan tegangan dasar antar saluran maka kita peroleh :

$$Arus\ Dasar = \frac{dasar\ kVA_{3\phi}}{\sqrt{3} \times Tegangan\ Dasar, kV_{LL}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dan dari persamaan (2.9)

$$Impedansi\ Dasar = \frac{(Tegangan\ Dasar, kV_{LL}/\sqrt{3})^2 \times 1000}{Dasar\ kVA_{3\phi} / 3dasar} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$Impedansi\ Dasar = \frac{(Tegangan\ Dasar, kV_{LL})^2 \times 1000}{kVA_{3\phi}\ Dasar} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Impedansi\ Dasar = \frac{(Tegangan\ Dasar, kV_{LL})^2}{Dasar\ MVA_{3\phi}\ dasar} \dots\dots\dots (2.20)$$

2.6. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada dasarnya gangguan dalam sistem distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan yang bersifat permanen, gangguan yang bersifat sementara atau *temporary* biasanya hanya terjadi dalam waktu yang sebentar, kemudian normal kembali. Sehingga apabila terjadi gangguan sementara maka diusahakan tidak sampai trip pada sistem secara keseluruhan, karena menyangkut kontonuitas pelayanan ke beban.

Secara umum jenis gangguan yang dapat terjadi dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu:

- a. Gangguan shunt
 1. Gangguan tiga fasa (3ϕ)
 2. Gangguan line to line (L-L)
 3. Gangguan double line to ground (2L-G)
 4. Gangguan single line to ground (SL-G)
- b. Gangguan seri
 1. Gangguan satu saluran terbuka
 2. Gangguan dua saluran terbuka
 3. Impedansi seri tak seimbang
- c. Gangguan simultan, merupakan dua jenis gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan, berupa:
 1. Gangguan shunt dengan gangguan shunt
 2. Gangguan shunt dengan gangguan seri
 3. Gangguan seri dengan gangguan seri

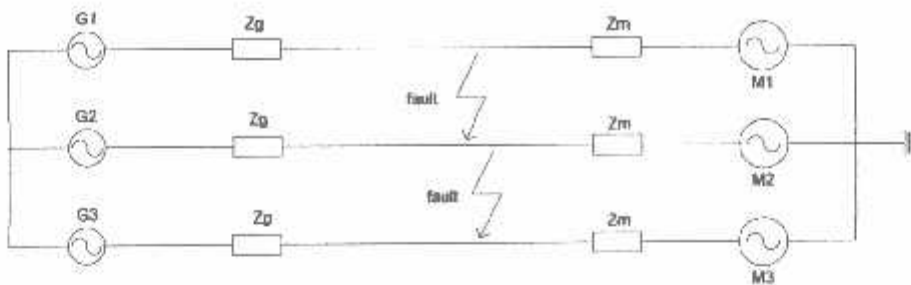
Dari bermacam-macam gangguan di atas tersebut, gangguan dapat dikelompokkan lagi menjadi dua bagian yaitu:

1. 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 kapasitas arus yang diijinkan, adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut:

- Rusaknya peralatan-peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan tersebut sampai mengakibatkan terputusnya *circuit* yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

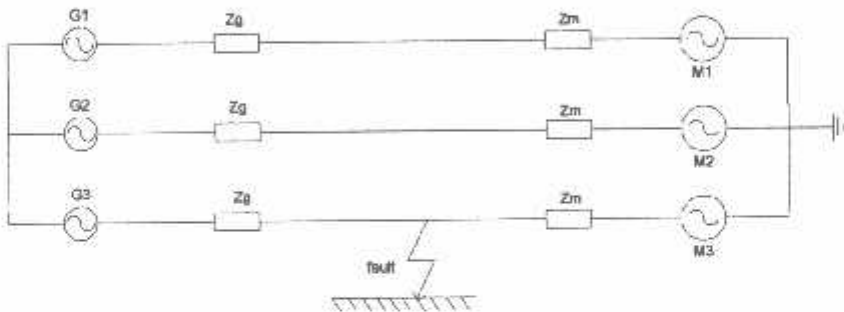
Untuk menganalisa gangguan pada rangkaian tiga fasa seimbang, maka menganalisanya dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara fasa tunggal.



Gambar 2.8
Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

2. Gangguan hubung singkat tak simetris

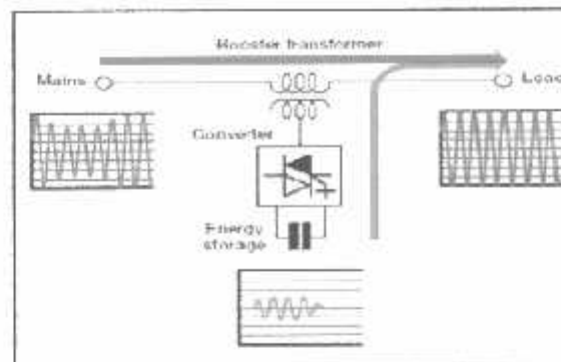
Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat dari gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa atau gangguan dua fasa ke tanah.



Gambar 2.9
Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke-Tanah

2.7. Prinsip Dasar Operasi DVR

DVR adalah *solid state switching* adalah perangkat elektronika daya yang terdiri dari *GTO* maupun *IGBT*, kapasitor bank sebagai perangkat yang menyimpan energi dan injeksi trafo. Hal ini dihubungkan secara seri antara sistem distribusi dan beban yang ditunjukkan pada gambar 2.10 Prinsip dasar dari *DVR* ini adalah menyuntikkan tegangan yang dihasilkan dari merubah tenaga yang diringankan oleh converter dalam bentuk seri ke bus tegangan dalam batas kemampuan injeksi trafo. Sebuah kapasitor bank *DC* yang berfungsi sebagai perangkat penyimpan energi, menyediakan tegangan *DC* yang diatur oleh sumber tegangan. Dalam perpindahan dari *AC* ke *DC* disini inverter mengatur tegangan menghasilkan *PWM* sinusoida.



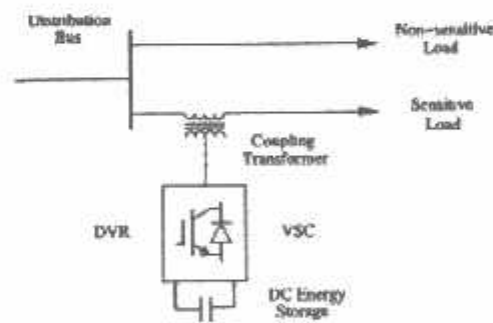
Gambar 2.10

Prinsip *DVR* dengan waktu

Perhatikan bahwa *DVR* mampu menghasilkan atau menyerap daya reaktif tetapi injeksi daya perangkat aktif harus disediakan oleh sumber energi eksternal atau sistem penyimpanan energi. Waktu respon dari *DVR* sangat pendek dan terbatas oleh perangkat elektronika daya dan waktu deteksi voltage sag. Respon yang diharapkan waktu sekitar 25 milidetik, dan jauh lebih kecil daripada metode koreksi tegangan seperti tap-perubahan trafo.

2.7.1 Model Dynamic Voltage Restorer

Dynamic Voltage Restorer merupakan pengontrol yang biasanya digunakan untuk meminimalisasikan *Voltage Sag*. *DVR* biasanya bekerja pada bagian yang sama dengan *D-STATCOM* dimana trafo penghubung dihubungkan secara seri dengan sistem arus bolak balik seperti yang terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.11

Diagram Blok Fungsional untuk *DVR*

Sumber tegangan sinkron adalah analogi tentang generator elektromagnet ideal, yang dapat menghasilkan set tegangan alternatif yang diinginkan oleh frekuensi fundamental dengan *control amplitude* dan sudut fasa, menghasilkan atau menyerap

daya reaktif ketika sistem daya listrik berfungsi seperti kompensator sinkron. Dan pengurangan daya aktif dengan mengubah sistem AC dengan DC dan dapat digabungkan sumber energi listrik atau energi yang disimpan (baterai). SVS untuk aplikasi daya transmisi dapat diimplenentasikan bermacam-macam, converter daya switching static, menggunakan peralatan switching semikonduktor dengan seting yang sudah disesuaikan dengan karakteristiknya. Dan digunakan IGBT thyristor dan dinamakan konfigurasi sirkuit multi pulsa.

SVS harus terdapat sumber internal daya reaktif untuk merubah menjadi terminal AC. Dimana, SVS dapat dipertimbangkan agar lebih fungsional sebagai generator ideal yang dapat dioperasikan dengan sumber kapasitor DC yang relative kecil yang cukup untuk mengubah daya reaktif dengan sistem AC atau, dengan *external DC power supply* atau dengan sumber energi, untuk juga merubah secara independent control daya reaktif.

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

$$P_s = \frac{V^2}{X_L(1-s)} \sin \delta \dots\dots\dots(2.21)$$

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 diseri dengan *irrespective* dari *line current*. Daya kirim P_q dimana menjadi sebuah fungsi parameter dari tegangan injeksi , $V_q = |V_q| \rightarrow \bar{V}_q = \{ \bar{I}/|\bar{I}| \} e^{\mp 90^\circ}$ dan dapat dituliskan dengan persamaan

$$P_q = \frac{V^2}{X_L} \sin \delta + \frac{V}{X_L} V_q \cos(\delta/2) \dots\dots\dots(2.22)$$

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 kapasitor seri dengan menyesuaikan δ .

Sebagian dari kemampuan kompensasi yang ditunjukkan , dasar dari karakteristik operasi *DVR* juga menyarankan suatu perbedaan yang signifikan antara yang dilakukan *DVR* dan kapasitor seri dibawah kondisi dari variabel jaringan reaktansi.



Inti dari perbedaan adalah bahwa *DVR* tidak hanya dapat disesuaikan dengan suatu jaringan induktansi yang terbatas untuk mendapatkan resonansi seri pada frekuensi yang fundamental, karena pesilangan tegangan jaringan reaktansi, dimana dalam semua kasus yang nyata, menjadi lebih besar, dan dibatasi oleh kompensasi tegangan yang disediakan oleh *DVR*. Tegangan mengkompensasi di atur oleh control dan dengan sendirinya impedansi jaringan berubah. Bahwa, tegangan V_x persilangan dengan jaringan ideal untuk reaktansi X ($R = 0$) dan untuk δ ditentukan sebagai fungsi hanya untuk tegangan kompensasi V_q yang diinjeksikan oleh *DVR*, dan memiliki persamaan,

$$V_x = IX = V_q + 2V \sin \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana V adalah *AC* sistem (l-n) tegangan, dan δ adalah sudut transmisi. Dari rumus diatas ditunjukkan bahwa, V_x dapat sama dengan V_q hanya jika $\delta = 0$, dalam beberapa kasus jaringan transmisi dapat dikontrol seluruh sistemnya oleh *DVR* sebagaimana jika generator dan arus jaringan dapat dibatasi untuk operasi pada range $0 \leq I \leq V_q/X$.

2.8. Peralatan Elektronika Daya

2.8.1 Transistor Bipolar

Transistor bipolar sangat lebih lambat daripada MOSFET. Secara prinsip, hal ini disebabkan oleh waktu gulir mati (turn-off) piranti bipolar yang lebih panjang. Kedua adalah resistansi saat kondisi menyambng (on-state) piranti bipolar yang relative tak bergantung (bersifat varian) terhadap temperature, dibandingkan dengan adanya nilai koefisien temperature yang tinggi pada MOSFET. Informasi koefisien temperature ini merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan batas aman thermal pada system system yang berdaya tinggi.

2.8.2 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), merupakan piranti atau komponen aktif pokok yang kini banyak digunakan dalm bidang elektronika Daya, seperti UPS (*Uninterruptible Power Supply*), dan system pengendali daya atau otor motor besar di bidang industry.

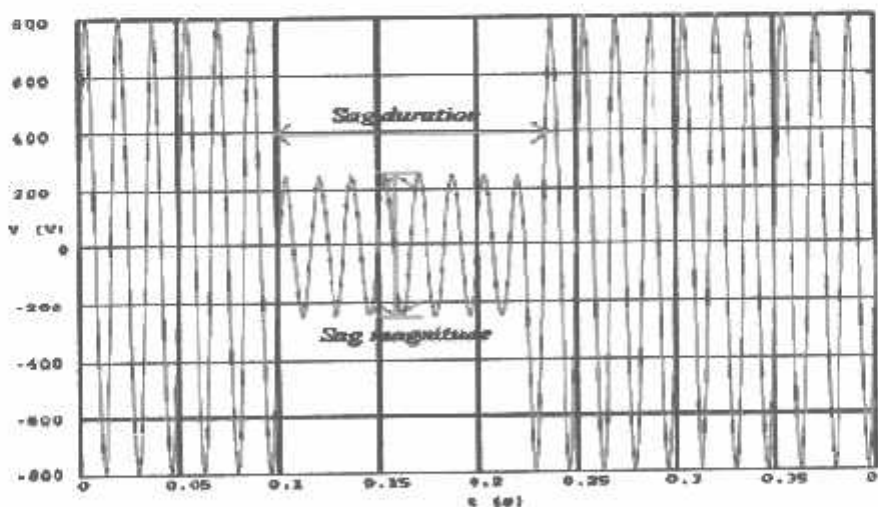
Adanya suatu kendala tentang kecepatan respon penyakelar (Switching Devices) antara lain sulit untuk dimatikan (turn-off) dan lambat. Maka dalam hal ini dipilih IGBT yang memiliki kemampuan lebih baik.

2.9 Tegangan Sag (Voltage Sag)

Kualitas daya listrik (*power quality*) merupakan syarat yang harus dipenuhi agar peralatan listrik dapat berfungsi dengan benar. Jika kualitas daya tidak terpenuhi maka dapat menyebabkan kerusakan peralatan tersebut misalnya disebabkan karena adanya tegangan sag. Tegangan sag dapat terjadi pada suatu sistem distribusi tenaga listrik akibat adanya gangguan hubung singkat.

Voltage Sag merupakan penurunan tegangan sesaat pada frekuensi daya antara 0.1 dan 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 cycles hingga 1 menit dimana nilai 1 cycles = $1/\text{frekuensi}$ atau $1/50\text{Hz}$. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya voltage sag adalah:

1. Starting beban-beban yang besar seperti motor listrik, dimana hal ini akan menghasilkan perubahan yang cepat dari tegangan.
2. Saat de-energisasi kapasitor
3. Gangguan hubung singkat
4. Pengoperasian pemanas elektrik
5. Gangguan kenaikan impedansi sumber
6. Umumnya karena adanya kehilangan koneksi



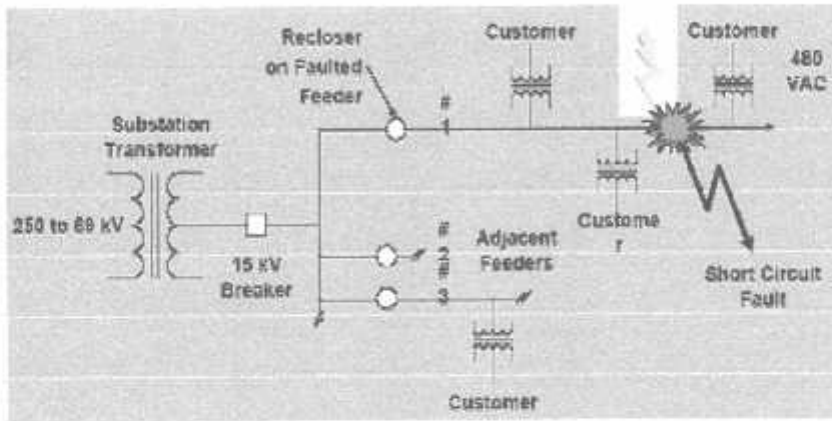
Gambar 2.12

Ilustrasi *Voltage Sag*

Besaran *voltage sag* tergantung pada

1. Lokasi gangguan
2. Tipe gangguan: satu-, dua- atau tiga-fasa; ditanahkan atau tidak ditanahkan
3. Impedansi gangguan / resistansi

Terjadinya *Voltage Sag* akibat *fault* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.13

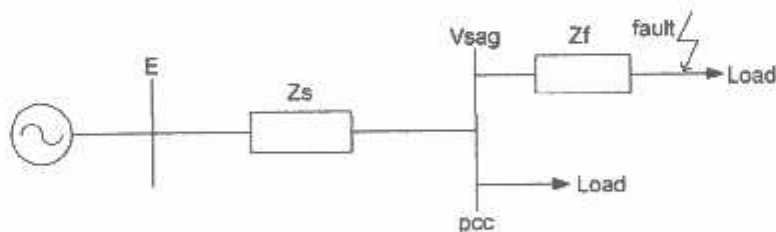


Gambar 2.13

Gambaran terjadinya *voltage sag/dip* akibat *fault*

2.9.1 Perhitungan Nilai *Voltage Sag* Dalam Sistem

Untuk menghitung besaran *voltage sag* pada sistem dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14

Model pembagi tegangan untuk *voltage sag*

Dari gambar 2.14 diatas dilihat adanya 2 impedansi yaitu; Z_s (impedansi sumber pada titik kopling bersama) dan Z_f (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan). Titik kopling bersama (*point of common coupling* atau PCC) adalah titik

dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi off dari arus gangguan. Jadi besaran kedip tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$Vsag = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} \dots\dots\dots (2.24)$$

Persamaan 2.24 dapat digunakan untuk menghitung besaran *voltage sag* sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karenanya dinyatakan $Z_F = Z * L$, dimana Z adalah impedansi dari saluran per unit panjang dan L adalah jarak antara kesalahan dan PCC. Besaran kedip tegangan sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan dinyatakan dengan persamaan:

$$Vsag = \frac{zL}{Z_S + zL} \dots\dots\dots (2.25)$$

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.

2.10. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida

2.10.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga *VSC* dikendalikan dengan teknik *PWM*. Rencana kendali berdasarkan *PWM* untuk *DVR* diterangkan pada bab 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 berdasarkan 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*) dengan tujuan menghasilkan sinyal penyakelaran untuk *VSC*. Parameter utama dalam rencana sinusoidal *PWM* adalah index sinyal amplitudo modulasi (*ma*) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segitiga pada index modulasi frekuensi (*mf*). Index Amplitudo *Ma* dipertahankan tetap pada 1 (*pu*), dalam hal memperoleh komponen dasar tegangan tinggi pada pengontrol keluaran. Frekwensi Switching ditetapkan pada 450 Hz, $Mf=9$ dan kasus

pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkitan 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 simulasi.

BAB III

PERBAIKAN *VOLTAGE SAG UNBALANCED* MENGGUNAKAN *DVR (DYNAMIC VOLTAGE RESTORE)*

3.1. *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation*

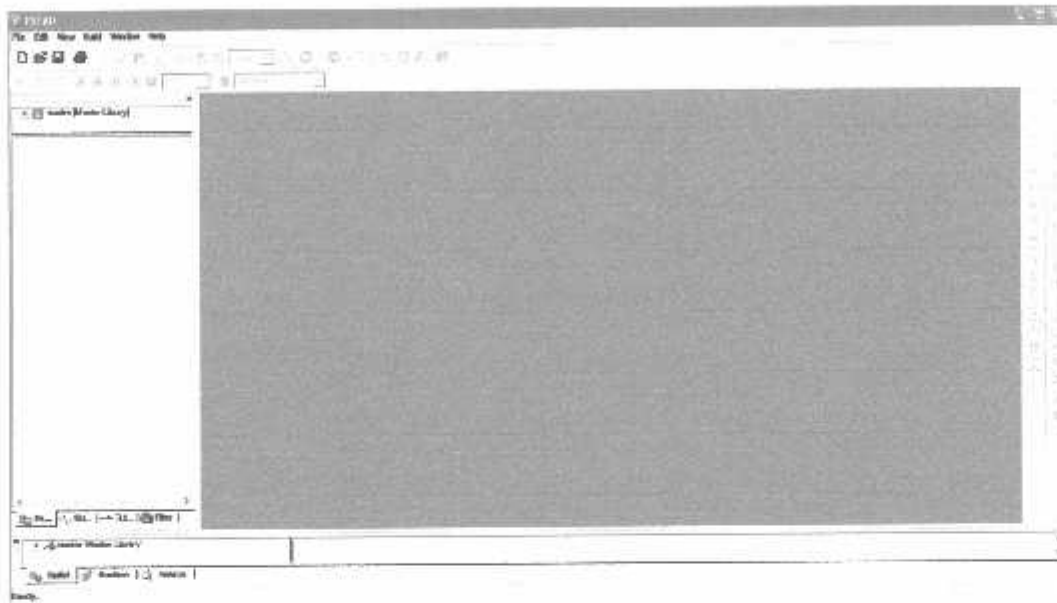
PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga 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*
 - *Wind source, turbines and governor*
-

3.2. Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation*

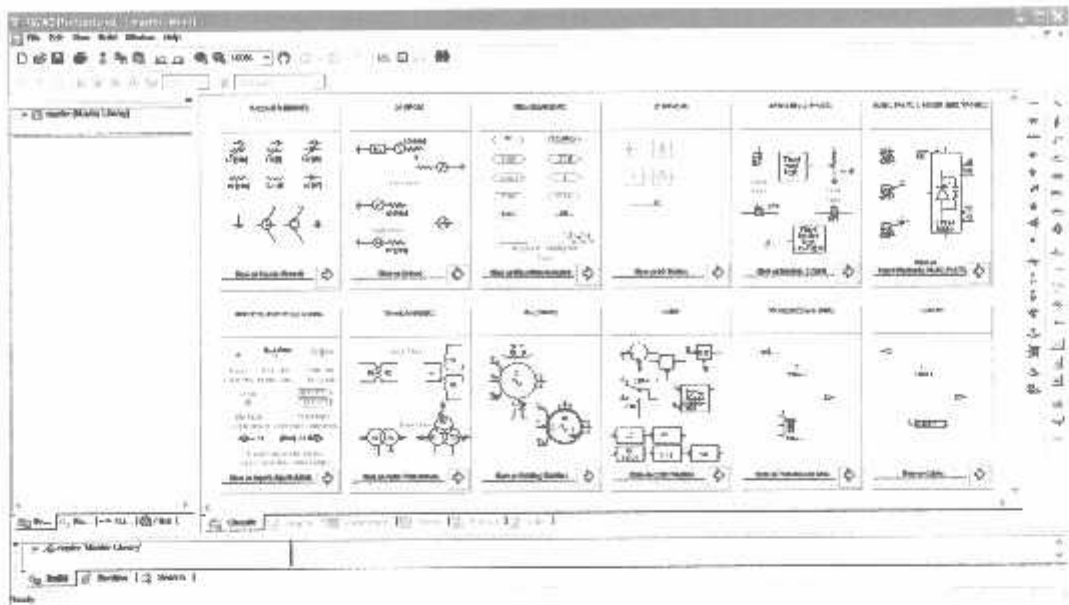
Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1

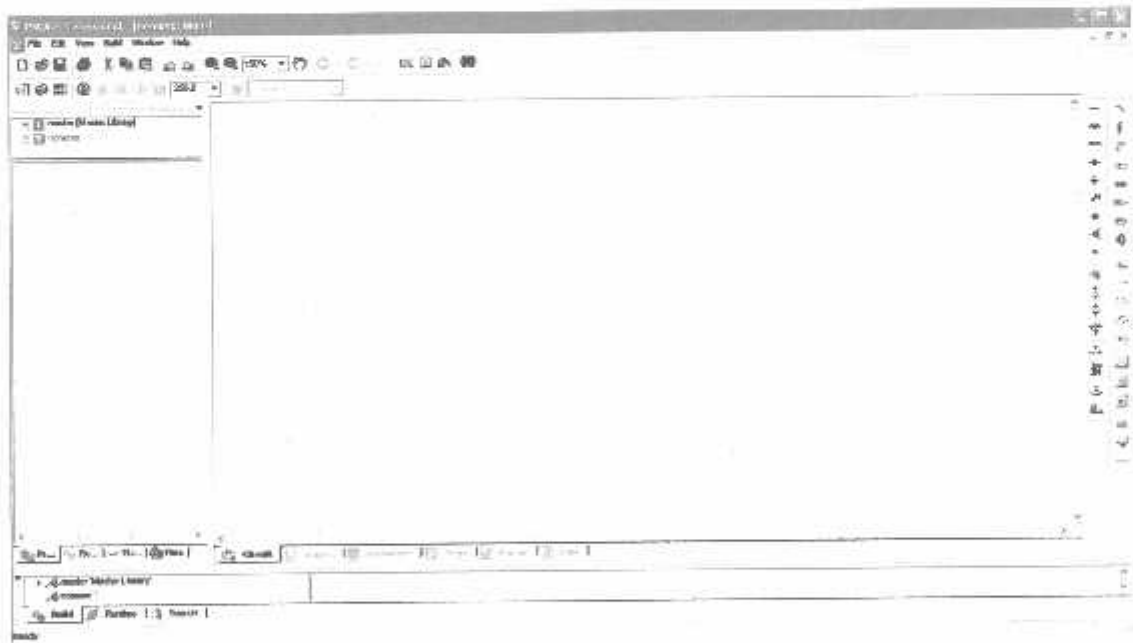
Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- 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.



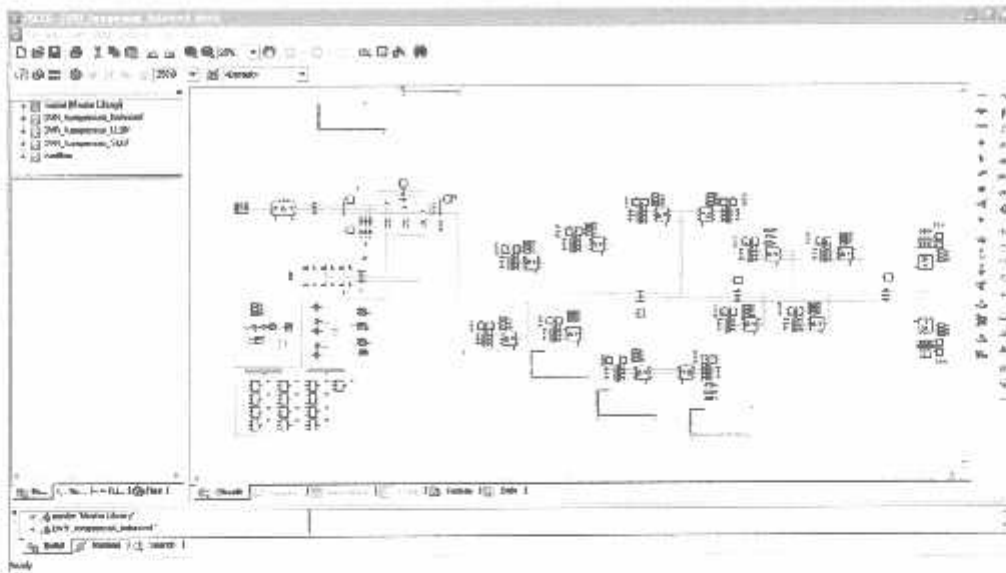
Gambar 3.2
Tampilan Master Library

- 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* Distribusi Tenaga Listrik G.I Gresik
Dalam *PSCAD*

3.3. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida

3.3.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarakan 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 (mf). 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.

3.3.2. Aksi Kontrol *PWM* Sinusoida Terhadap *DVR*

Prinsip dari *DVR* adalah menerima dan memproses sinyal error dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukkan ke *PWM Voltage Source Converter* 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

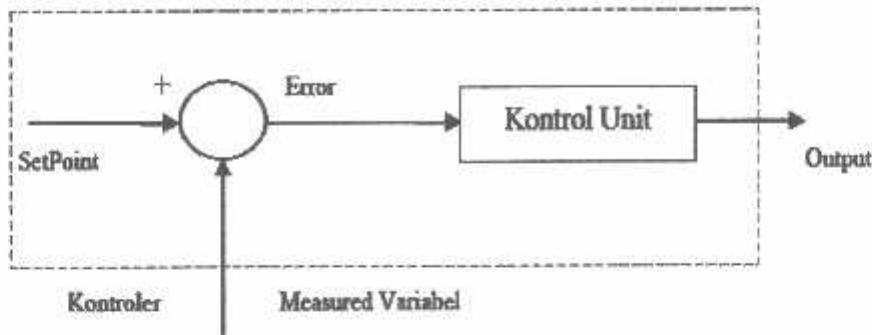
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator 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 kontinyu, 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 kontinyu 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.



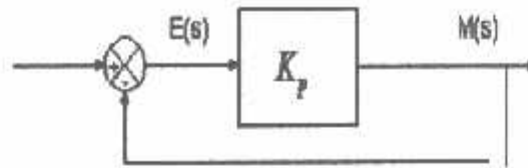
Gambar 3.5

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.

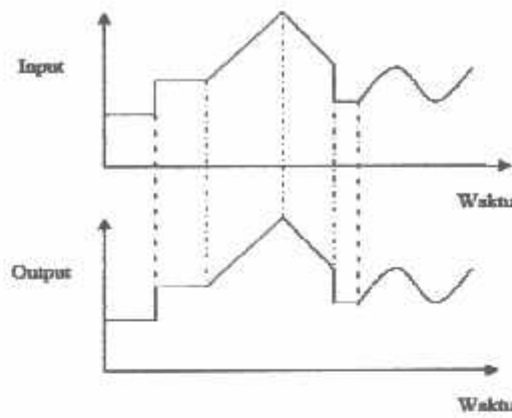
Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

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

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 sebanding dengan ketinggian level. *Set point* dalam hal ini adalah sama dengan ketinggian level maksimum.

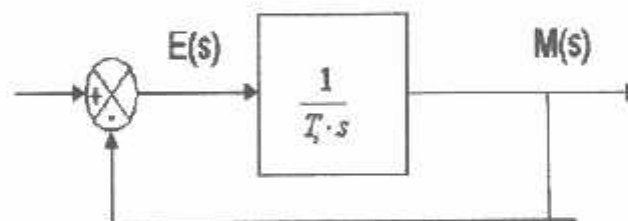
3.4.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*)

Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak. Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input* ke *unit control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

Jadi untuk menghasilkan *offset* dibutuhkan sebuah pengendali lain, yang dapat menghasilkan output walaupun padanya tidak diberikan *input*. Dengan kata lain, diperlukan pengendali yang dapat menghasilkan *output* lebih besar atau lebih kecil dari bias pada saat *input (error)* sama dengan nol. Pengendali yang memenuhi kriteria ini adalah pengendali integral, disingkat I.

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator* ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat 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.

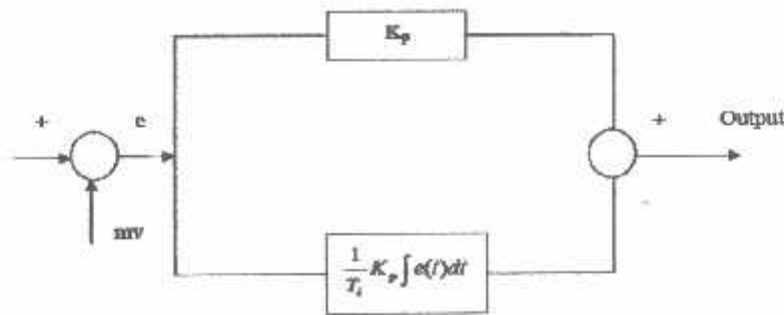


Gambar 3.8

Blok Diagram Kontroler Integral

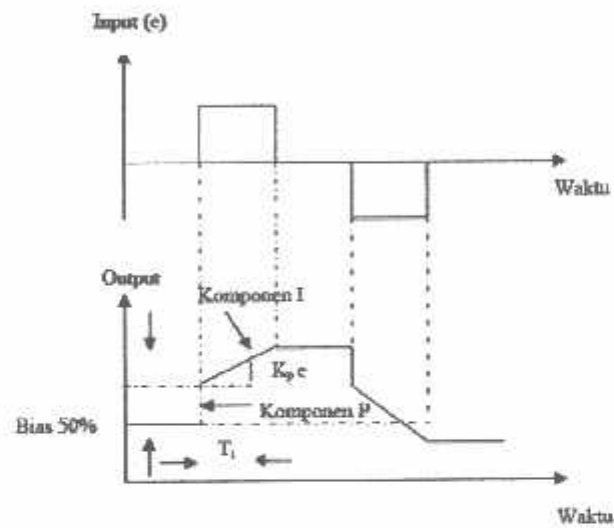
3.4.6. Pengendali Proporsional Integral (PI Controller)

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



Gambar 3.10

Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

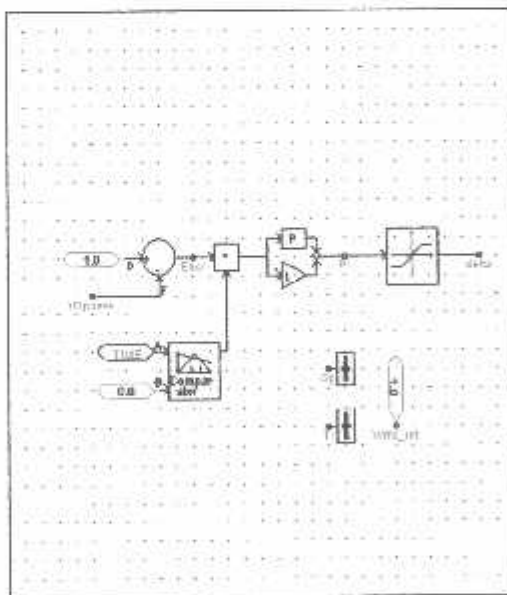
3.5. Kompensasi DVR Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ketidakstabilan tegangan dalam sistem distribusi bisa menyebabkan terjadinya pemborosan energi listrik. Ketidakstabilan itu dapat diartikan tegangan pada suatu fase lebih besar, lebih kecil atau berfluktuasi terhadap tegangan standar. Sedangkan akibat pemborosan energi listrik itu maka timbul panas sehingga bisa menyebabkan pertama kerusakan isolator peralatan yang dipakai. Kedua memperpendek daya isolasi pada lilitan. Sementara itu dengan ketidakseimbangan sebesar 3% saja dapat memperbesar suhu motor yang sedang beroperasi sebesar 18% dari keadaan semula. Hal ini tentunya akan menimbulkan suara bising pada motor dengan kecepatan tinggi.

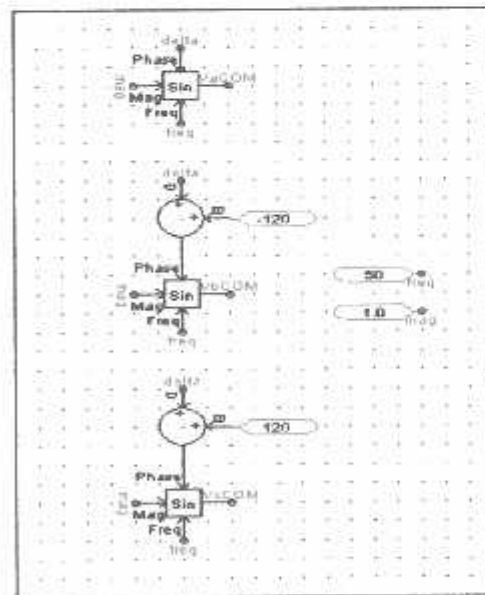
Untuk mengoptimalkan pemakaian energi listrik bisa digunakan beban-beban tiruan berupa LC yang dilengkapi dengan teknologi pengendalian. Sehingga ketepatan dan keandalan dalam mendeteksi kualitas daya listrik bisa diperoleh. Pengendali itu

berfungsi untuk mengolah komponen-komponen yang menentukan kualitas tenaga listrik. Seperti keseimbangan beban antar fasa dan harmonik. Apabila terdapat ketidakseimbangan antara fasa satu dengan fasa yang lainnya, maka pengendali akan memerintahkan beban-beban LC untuk membuka atau menutup agar arus disuplai ke fasa satu sehingga selisih arus antara fasa satu dengan fasa yang 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 SPWM.

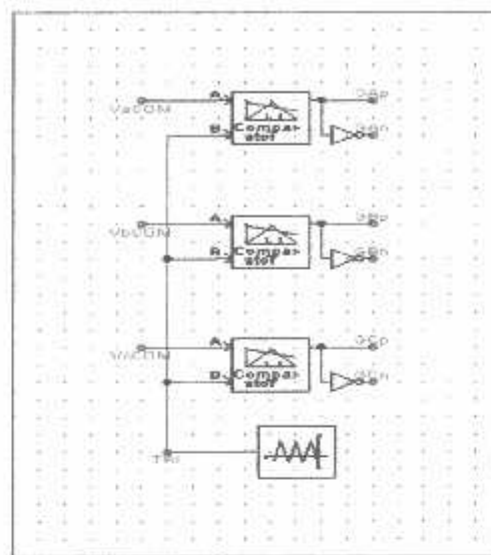
3.5.1. Input Data Pengendali DVR



(a)



(b)



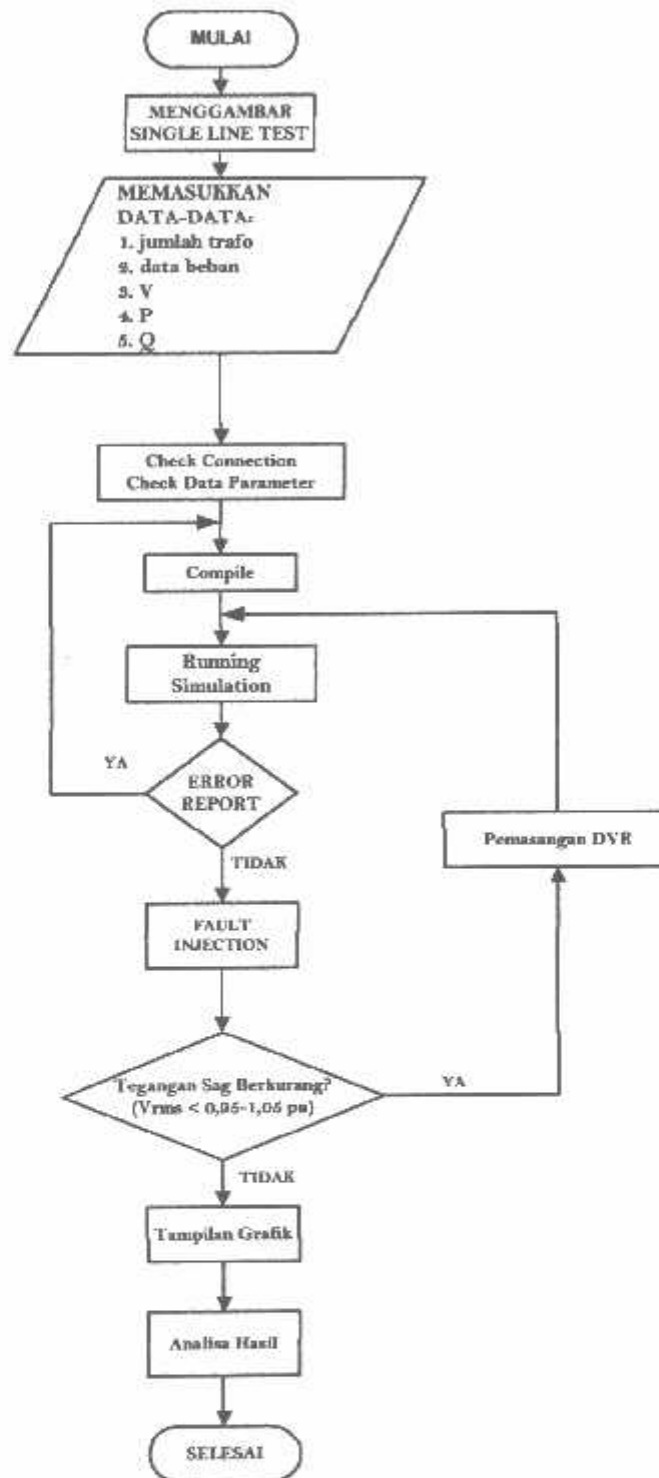
(c)

Gambar 3.11

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

3.6. Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC

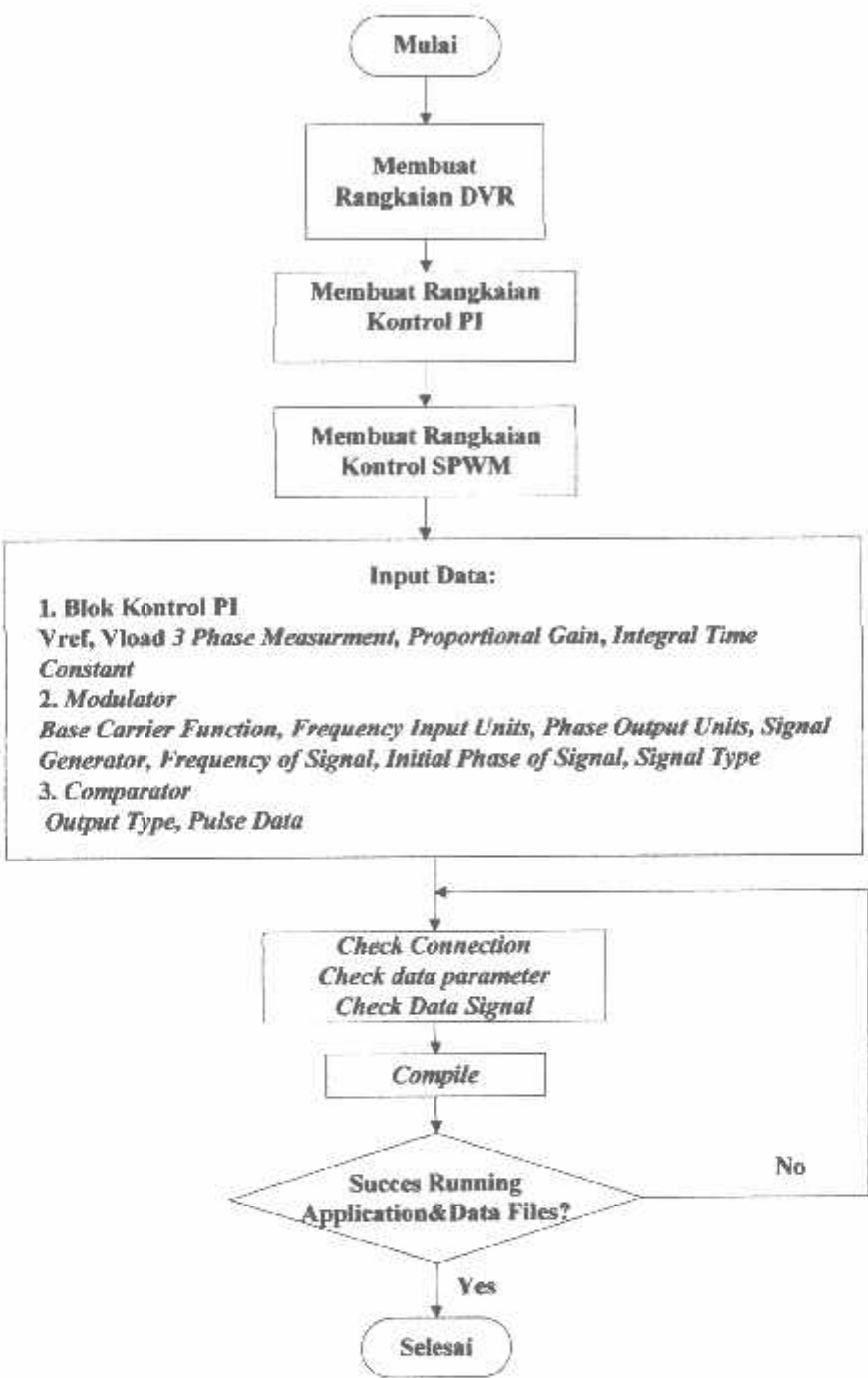
3.6.1. Flowchart Penyelesaian Masalah



Gambar. 3.12

Flowchart Penyelesaian Masalah

3.6.2. Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM



Gambar 3.13

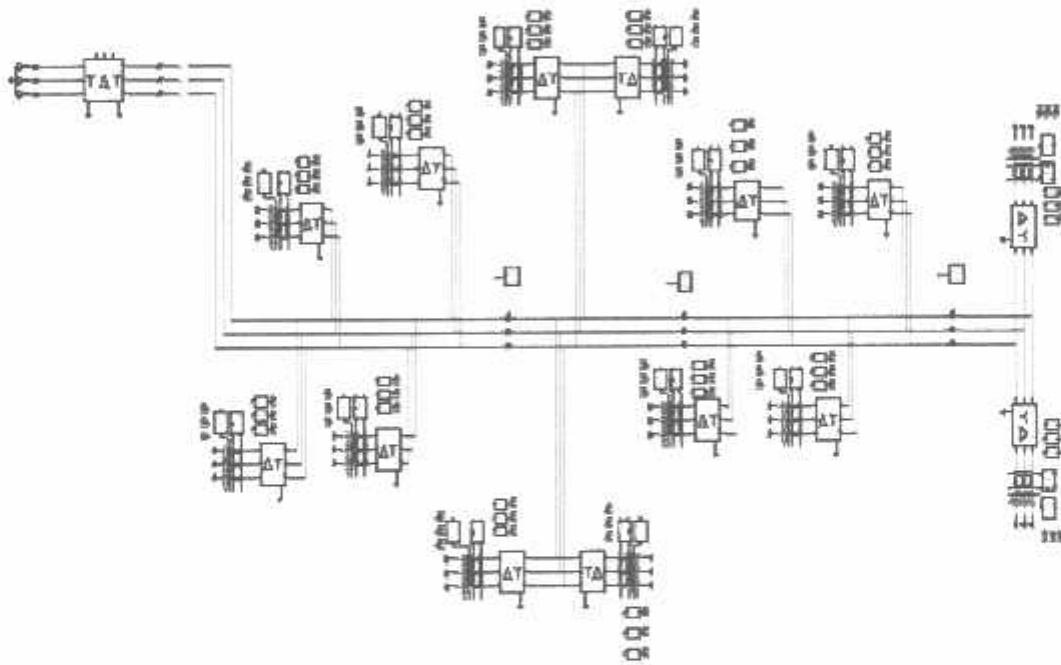
Flowchart Desain Control DVR Menggunakan PSCAD/EMTDC

BAB IV

HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. Single Line Sistem Distribusi G.I. Gresik Dalam Software PSCAD Power Simulation

Untuk mensimulasi sistem dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian distribusi tersebut ke dalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar *single line* G.I. Gresik yang digambarkan menggunakan *software PSCAD/EMTDC SIMULATION*.



Gambar 4.1

Sistem Distribusi G.I. Gresik Dalam *Software PSCAD*

4.2. Data Sistem Distribusi pada PT. PLN (PERSERO) APJ. Gresik.

Sebelum pengisian data dalam program *PSCAD Power Simulation* maka di perlukan data-data hasil penelitian dilapangan, data tersebut meliputi data beban pada penyulang sebagai berikut:

Tabel 4.1
Data Beban pada masing-masing Penyulang G.I. Gresik

GARDU INDUK	Cubicle/ MV. Cell Penyulang	Kbl.Inc.Trf/ Outg Pny		Beban Trafo dan Penyulang							
				Tertinggi				%	%	Rata-2	
		I. nom Amp	I. set Amp	Sng Amp	tgl	Mlm Amp	Tgl	I Nom	I Set	Sng Amp	Mlm Amp
SEGORO MADU	GOLDSTAR /30	1732	2000	1006	14	874	12	58.1	50.3	834	742
	Nusantara 1	385	320	151	22	133	5	39.2	47.2	120	115
	Budi Nyata	385	320	208	22	161	6	54.0	65	141	107
	Nusantara 2	385	320	256	14	265	3	68.8	82.8	184	176
	Veteran Tama	385	320	59	23	35	31	15.3	18.4	13	7
CERME	AEG / 30	866	1200	597	27	735	27	84.9	61.3	364	567
	Morowudi	385	400	94	27	100	27	26.0	25	56	79
	Ngabetan	385	400	141	3	232	5	60.3	58	72	122
	Bunder	385	320	156	25	177	27	46.0	55.3	95	125
	Ambeng-Ambeng	385	400	104	27	170	23	44.2	42.5	58	114
PETROKIMIA	MerlinGerlin / 20	1443	1800	1056	22	845	29	73.2	58.7	709	674
	Esterindo	385	400	115	12	100	1	29.9	28.8	82	80
	Puspetindo	385	400	210	5	185	4	54.5	52.5	88	72
	Gubernur Suryo	385	400	135	25	150	12	39.0	37.5	99	104
	BOC 1	384	384	120	26	165	25	43.0	43	11	16
	BOC 2	384	384	36	22	100	29	26.0	26	2	5
	BOC 3	384	384	36	22	100	29	26.0	26	2	5

4.3 Solusi Perbaikan Profile Tegangan Sag Unbalanced 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

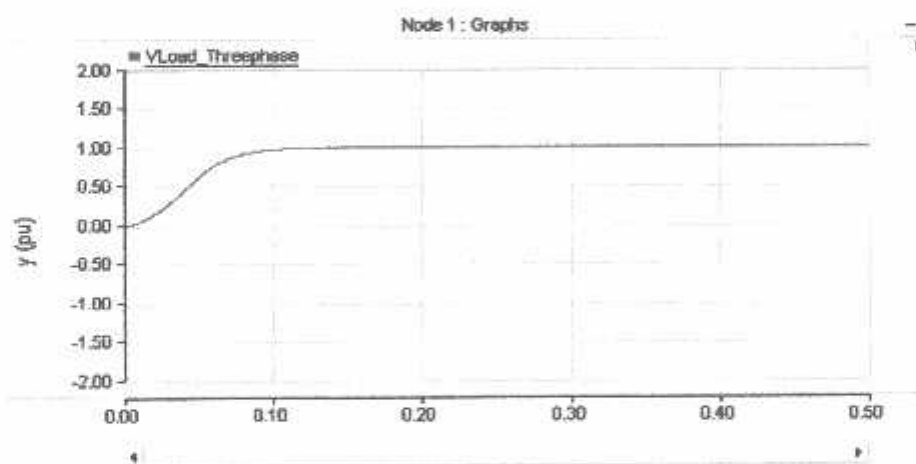
data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada G.I Gresik dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software* PSCAD.

4.4. Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat *Unbalance Voltage Sag* Menggunakan *DVR*

4.4.1 Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi *DVR*

Pada simulasi awal, komponen *DVR* tidak melakukan kompensasi sama sekali baik dalam gangguan seimbang maupun tak seimbang. *DVR* belum bekerja dan tidak memberikan tegangan injeksi ke beban yang mengalami gangguan. maka dengan ini akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan *DVR* dalam hal mereduksi tegangan sag tak seimbang.

4.4.1.1 Sistem Sebelum Mengalami Gangguan



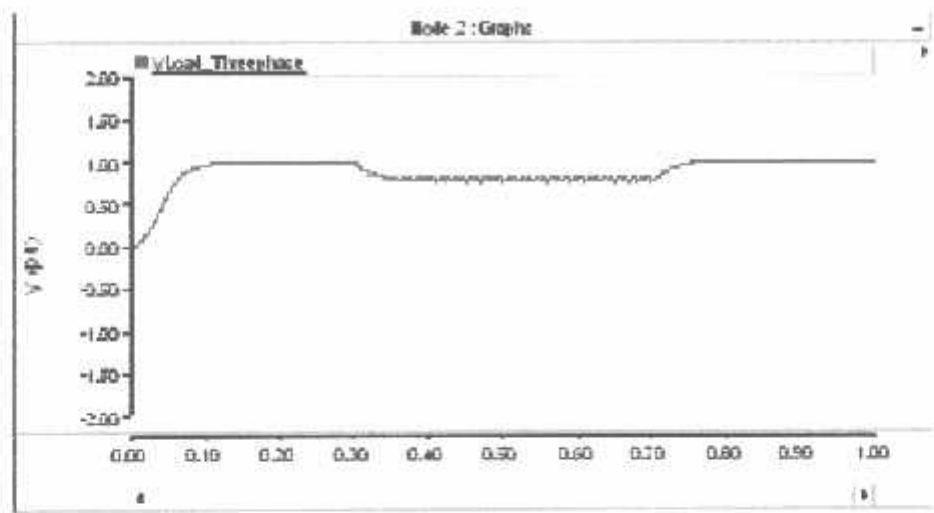
Grafik 4.1

Bentuk Gelombang Tegangan Normal

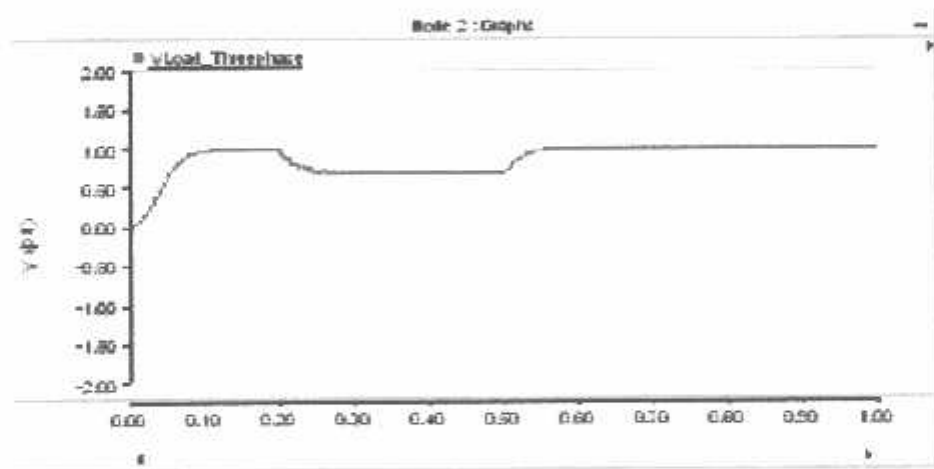
Dari gambar gelombang diatas tampak sistem beroperasi normal. Tegangan berada pada kisaran 1.00 pu.

4.4.1.2 Sistem Setelah Mengalami Gangguan *Sag Unbalance*

Grafik 4.2



Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage sag Unbalanced Single Line Ground Fault (SLGF)*.



Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault (LLGF)*.

Dari grafik di atas, tampak bahwa tegangan muatan kritis table 4.2-4.3 mengalami gangguan karena pengaruh dari *voltage sag* tak seimbang. Besar nilai dari grafik tersebut dapat dilihat pada Table 4.2 – 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.2

Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalanced Single Line to Ground Fault* Sebelum Kompensasi *DVR*

No	Nama Trafo	Tegangan (pu)
1	Nusantara 1	0.800464
2	Budi Nyala	0.798877
3	Nusantara 2	0.797291
4	Veteran Tama	0.803019
5	Morowudi	0.800077
6	Ngabetan	0.794563
7	Bunder	0.796863
8	Ambeng	0.797157
9	Esterindo	0.800819
10	Puspetindo	0.798178
11	Gubernur Suryo	0.799847
12	BOC 1	0.800086
13	BOC 2	0.801178
14	BOC 3	0.801178

Tabel 4.3

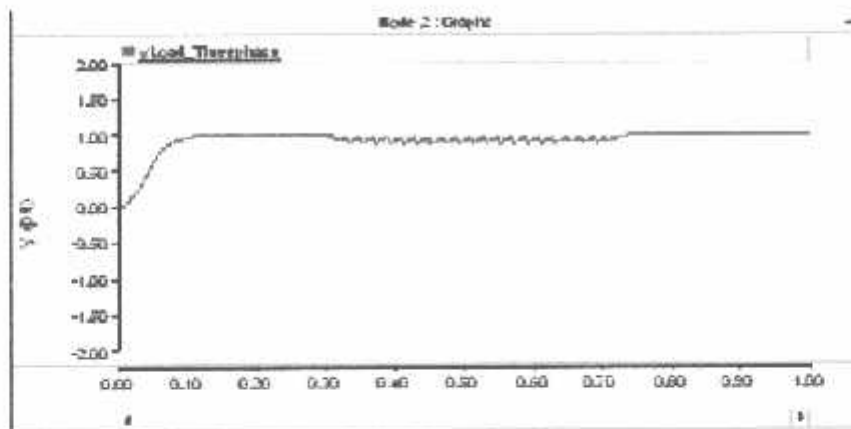
Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalanced Line to Line*
Ground Fault Sebelum Kompensasi *DVR*

No	Nama Trafo	Tegangan (pu)
1	Nusantara 1	0.859404
2	Budi Nyata	0.857604
3	Nusantara 2	0.855811
4	Veteran Tama	0.862296
5	Morowudi	0.858971
6	Ngabetan	0.852726
7	Bunder	0.855332
8	Ambeng	0.855665
9	Esterindo	0.859817
10	Puspetindo	0.856823
11	Gubernur Suryo	0.858714
12	BOC 1	0.858244
13	BOC 2	0.860223
14	BOC 3	0.860223

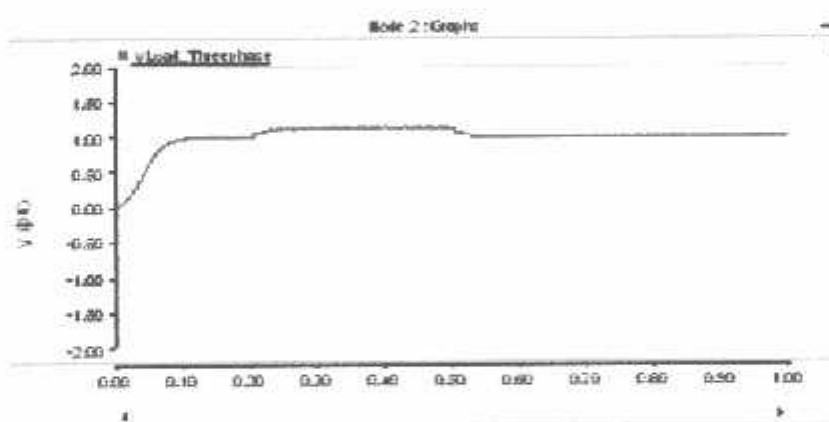
4.5 Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi DVR

4.5.1 Kompensasi dengan DVR Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalance* Selama (300-700 ms)

Grafik 4.3



Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage sag Unbalanced Single Line Ground Fault (SLGF)* Setelah Kompensasi



Bentuk Gelombang Tegangan Ketika terjadi *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault (LLGF)* Setelah Kompensasi

Pada gambar grafik 4.3 suatu gangguan dua fasa (fasa A & B) naik menjadi sekitar 80%. Tegangan rms dari muatan yang dilindungi menjadi mendekati satu. Gambar grafik 4.3 menunjukkan bahwa gangguan kawat ke kawat menghasilkan penurunan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan gangguan fasa tunggal.

Kesimpulannya dari kedua jenis gangguan tersebut, *DVR* mampu memberikan kompensasi yang baik sehingga tegangan dapat kembali pada nilai yang diijinkan pada kisaran (0.95 – 1.05 pu). Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.4.- 4.5.

Tabel 4.4

Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalanced Single Line Ground Fault* Setelah Kompensasi *DVR*

No	Nama Trafo	Tegangan (pu)
1	Nusantara 1	0.951546
2	Budi Nyata	0.949624
3	Nusantara 2	0.9477
4	Veteran Tama	0.954656
5	Morowudi	0.951084
6	Ngabetan	0.944397
7	Bunder	0.947188
8	Ambeng	0.947545
9	Esterindo	0.951998
10	Puspetindo	0.948789
11	Gubernur Suryo	0.95081
12	BOC 1	0.950305
13	BOC 2	0.952436
14	BOC 3	0.952436

Tabel 4.5

Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi *Voltage Sag Unbalanced Line to Line*
Ground Fault Setelah Kompensasi *DVR*

No	Nama Trafo	Tegangan (pu)
1	Nusantara 1	1.025379
2	Budi Nyata	1.023338
3	Nusantara 2	1.021293
4	Vctcran Tama	1.028671
5	Morowudi	1.024865
6	Ngabetan	1.01777
7	Bunder	1.020727
8	Ambeng	1.021106
9	Esterindo	1.025815
10	Puspetindo	1.022417
11	Gubernur Suryo	1.024561
12	BOC 1	1.024028
13	BOC 2	1.026277
14	BOC 3	1.026277

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

4.5.2 Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi dan Sesudah Kompensasi.

4.5.2.1 Perbandingan Tegangan Tanpa dan Dengan DVR

Untuk mengetahui kerja DVR dalam melindungi beban kritis dari ke tiga jenis gangguan tersebut maka yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai tegangan tiap node dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan kompensasi dan tanpa kompensasi.

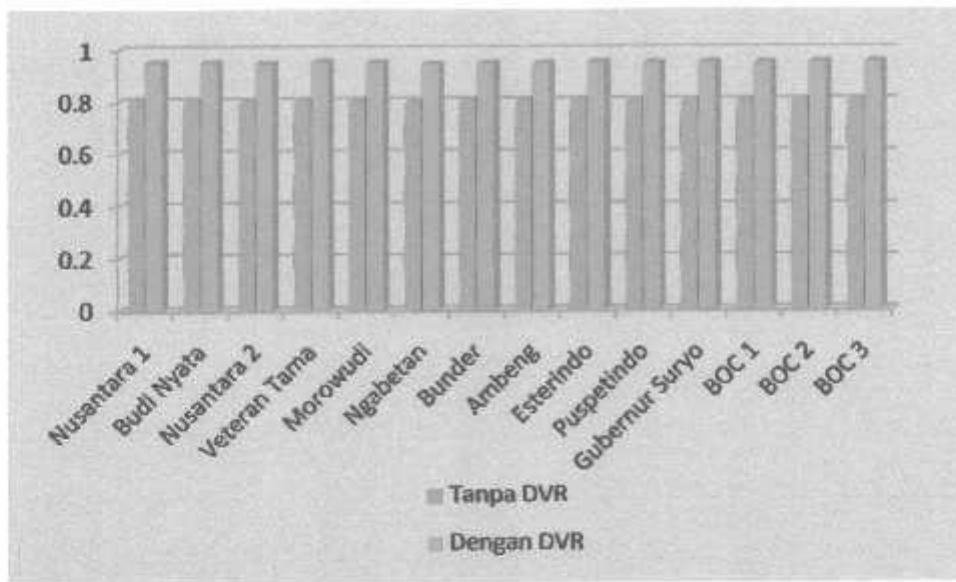
No	Nama Trafo	Tegangan (pu)	
		Tanpa DVR	Dengan DVR
1	Nusantara 1	0.800464	0.951546
2	Budi Nyata	0.798877	0.949624
3	Nusantara 2	0.797291	0.9477
4	Veteran Tama	0.803019	0.954656
5	Morowudi	0.800077	0.951084
6	Ngabetan	0.794563	0.944397
7	Bunder	0.796863	0.947188
8	Ambeng	0.797157	0.947545
9	Esterindo	0.800819	0.951998
10	Puspetindo	0.798178	0.948789
11	Gubernur Suryo	0.799847	0.95081
12	BOC 1	0.800086	0.950305
13	BOC 2	0.801178	0.952436
14	BOC 3	0.801178	0.952436

Tabel 4.6
Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Saat Terjadi
Voltage Sag Unbalanced Single Line to Ground Fault
Tanpa Kompensasi dan Dengan Kompensasi DVR

No	Nama Trafo	Tegangan (pu)	
		Tanpa DVR	Dengan DVR
1	Nusantara 1	0.859404	1.025379
2	Budi Nyata	0.857604	1.023338
3	Nusantara 2	0.855811	1.021293
4	Veteran Tama	0.862296	1.028671
5	Morowudi	0.858971	1.024865
6	Ngabetan	0.852726	1.01777
7	Bunder	0.855332	1.020727
8	Ambeng	0.855665	1.021106
9	Esterindo	0.859817	1.025815
10	Puspetindo	0.856823	1.022417
11	Gubernur Suryo	0.858714	1.024561
12	BOC 1	0.858244	1.024028
13	BOC 2	0.860223	1.026277
14	BOC 3	0.860223	1.026277

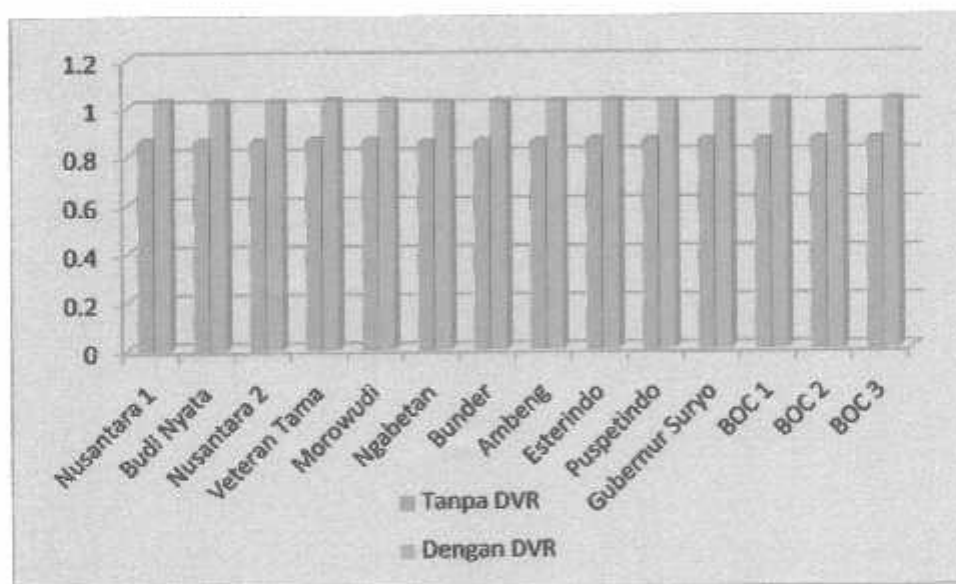
Tabel 4.7

Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Saat Terjadi
Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault
 Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi *DVR*



Grafik 4.4

Grafik Tegangan Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi Akibat *Voltage Sag*
Unbalanced Single Line to Ground Fault



Grafik 4.5

Grafik Tegangan Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi Akibat *Voltage Sag*
Unbalanced Line to Line Ground Fault

Dari tabel 4.4 – 4.7 dan grafik 4.4 – 4.6 terlihat perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah kompensasi *DVR*, dimana peralatan *DVR* yang menggunakan inverter enam pulsa yang bekerja dengan mengukur tegangan rms tiga fasa serta kontrol PWM gelombang sinus mampu mereduksi penurunan tegangan tak seimbang yang diakibatkan oleh gangguan kawat tunggal maupun kawat ke kawat yang terjadi pada sistem dan peralatan *DVR* mampu mengembalikan tegangan pada kisaran nilai yang diijinkan yaitu (0.95 - 1.05 pu).

4.6 Analisa Hasil

Dari tabel 4.4 – 4.7 dan grafik 4.4 – 4.6 dapat dilihat bahwa peralatan *DVR* mampu mereduksi penurunan tak seimbang yang diakibatkan oleh gangguan kawat tunggal maupun kawat ke kawat yang terjadi pada sistem dan peralatan *DVR* mampu mengembalikan tegangan pada kisaran nilai yang diijinkan yaitu (0.95 - 1.05 pu).

Dimana ditunjukkan bahwa :

1. Pada saat gangguan *Voltage Sag Unbalanced Single Line Ground Fault*

a. Trafo 1 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.800464$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.951546$ pu

b. Trafo 2 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.798877$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.949624$ pu

c. Trafo 3 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.797291$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.9477$ pu

d. Trafo 4 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.803019$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.954656$ pu

e. Trafo 5 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.800077$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.951084$ pu

f. Trafo 6 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.794563$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.944397$ pu

- g. Trafo 7 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.796863$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.947188$ pu
- h. Trafo 8 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.797157$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.947545$ pu
- i. Trafo 9 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.800819$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.951998$ pu
- j. Trafo 10 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.798178$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.948789$ pu
- k. Trafo 11 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.799847$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.95081$ pu
- l. Trafo 12 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.800086$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.950305$ pu
- m. Trafo 13 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.801178$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.952436$ pu
- n. Trafo 14 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.801178$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.952436$ pu

Contoh analisa perhitungan besar tegangan yang diinjeksikan pada saluran pada kasus ini diambil contoh pada trafo 6, dimana :

$$V_{tanpa\ DVR} = 0.794563 \text{ pu}$$

$$V_{dengan\ DVR} = 0.944397 \text{ pu}$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar :

$$\begin{aligned} V_{optimasi} &= V_{with\ DVR} - V_{without\ DVR} \\ &= 0.944397 \text{ (pu)} - 0.794563 \text{ (pu)} \\ &= 0.149834 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{ref} = 20$ kV maka,

$V_{\text{optimasi}} = 0.149834 \times 20 \text{ kV} = 2.997 \text{ kVolt}$

Prosentase besar V_{optimasi} yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \% V_{\text{optimasi}} &= \left| \frac{V_{\text{with DVR}} - V_{\text{without DVR}}}{V_{\text{with DVR}}} \right| \times 100 \% \\ &= \left| \frac{0.944397 - 0.794563}{0.944397} \right| \times 100 \% \\ &= 0.158655 \times 100 \% = 15.866 \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, besar $\% V_{\text{optimasi}}$ pada setiap trafo ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.8
Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah Kompensasi
Pada *Voltage Sag Unbalanced Single Line Ground Fault* Dalam Bentuk Prosentase

V _{optimasi}			
No.	Nama Trafo	V _{optimasi} (kVolt)	% V _{optimasi}
1	Nusantara 1	3.022	15.877
2	Budi Nyata	3.015	15.874
3	Nusantara 2	3.008	15.871
4	Veteran Tama	3.033	15.884
5	Morowudi	3.020	15.877
6	Ngabetan	2.997	15.866
7	Bunder	3.007	15.871
8	Ambeng	3.008	15.871
9	Esterindo	3.024	15.880
10	Puspetindo	3.012	15.874
11	Gubernur Suryo	3.019	15.877
12	BOC 1	3.004	15.807
13	BOC 2	3.025	15.881
14	BOC 3	3.025	15.881

2. Pada saat gangguan *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault*

- a. Trafo 1 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.859404$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.025379$ pu
 - b. Trafo 2 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.857604$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.023338$ pu
 - c. Trafo 3 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.855811$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.021293$ pu
 - d. Trafo 4 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.862286$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.028671$ pu
 - e. Trafo 5 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.858971$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.024865$ pu
 - f. Trafo 6 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.852726$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.017770$ pu
 - g. Trafo 7 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.855332$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.020727$ pu
 - h. Trafo 8 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.855665$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.021106$ pu
 - i. Trafo 9 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.859817$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.025815$ pu
 - j. Trafo 10 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.856823$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.022417$ pu
 - k. Trafo 11 :
 Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.858714$ pu
 Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.024561$ pu
-

l. Trafo 12 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.858244$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.024028$ pu

m. Trafo 13 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.860223$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.026277$ pu

n. Trafo 14 :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.860223$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 1.026277$ pu

Contoh analisa perhitungan besar tegangan yang diinjeksikan pada saluran pada kasus ini diambil contoh pada trafo 6, dimana :

$$V_{\text{tanpa DVR}} = 0.852726 \text{ pu}$$

$$V_{\text{dengan DVR}} = 1.017770 \text{ pu}$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar :

$$\begin{aligned} V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{with DVR}} - V_{\text{without DVR}} \\ &= 1.017770 (\text{ pu }) - 0.852726 (\text{ pu }) \\ &= 0.165043 (\text{ pu }) \end{aligned}$$

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

$$V_{\text{optimasi}} = 0.165043 \times 20 \text{ kV} = 3.301 \text{ kV}$$

Prosentase besar V_{optimasi} yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \% V_{\text{optimasi}} &= \left| \frac{V_{\text{with DVR}} - V_{\text{without DVR}}}{V_{\text{with DVR}}} \right| \times 100 \% \\ &= \left| \frac{1.017770 - 0.852726}{1.017770} \right| \times 100 \% \\ &= 0.162161 \times 100 \% = 16.216 \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, besar % V_{optimasi} pada setiap trafo ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4.9

Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah Kompensasi
Pada *Voltage Sag Unbalanced Line to Line Ground Fault* Dalam Bentuk Prosentase

V_{optimasi}			
No.	Nama Trafo	V_{optimasi} (kVolt)	% V_{optimasi}
1	Nusantara 1	3.320	16.187
2	Budi Nyata	3.315	16.195
3	Nusantara 2	3.310	16.203
4	Veteran Tama	3.328	16.174
5	Morowudi	3.318	16.187
6	Ngabetan	3.301	16.216
7	Bunder	3.308	16.204
8	Ambeng	3.309	16.202
9	Esterindo	3.320	16.182
10	Puspetindo	3.312	16.196
11	Gubernur Suryo	3.317	16.187
12	BOC 1	3.316	16.189
13	BOC 2	3.321	16.180
14	BOC 3	3.321	16.180

Beberapa aspek dari studi mitigasi penurunan tegangan telah dikaji. Pertama, DVR yang menggunakan inverter enam pulsa dan pengukuran rms tiga fasa serta kontrol PWM gelombang sinus telah di tampilkan dan dideskripsikan. Hal itu menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam melindungi beban kritis terhadap penurunan tegangan seimbang. Kemudian, DVR juga mampu melakukakn kinerja yang sangat baik terhadap bukan hanya penurunan tegangan seimbang tetapi juga penurunan tegangan tak seimbang yang dihasilkan dari gangguan kawat tunggal maupun kawat ke kawat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengaruh pemasangan *DVR (Dynamic Voltage Restore)* pada sistem jaringan distribusi primer 20 kV G.I Gresik pada saat terjadi penurunan tegangan akibat *voltage sag unbalance* 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 mencapai kisaran 0.95 pu pada setiap type 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* maka tegangan pada sistem dapat dikompensasi dengan kenaikan tegangan yang cukup bagus meskipun tegangan tidak sebgus seperti sebelum gangguan.
 4. Setelah kompensasi, diambil dari *voltage sag* tak seimbang *Single Line Ground Fault*. Dapat dilihat bahwa masing-masing hasil Prosentase Voptimasi berada pada sekitar 15.8 %.
 5. Setelah kompensasi, diambil dari *voltage sag* tak seimbang *Line to Line Ground Fault*. Dapat dilihat bahwa masing-masing hasil Prosentase Voptimasi berada pada sekitar 16.1 %.
 6. Penggunaan perangkat *DVR (Dynamic Voltage Restorer)* dapat meningkatkan performansi sistem jaringan distribusi primer 20 kV pada G.I Gresik.
-

5.2 Saran

Bahwa sistem tenaga listrik di Indonesia khususnya di daerah Gresik, masih sangat perlu untuk meningkatkan kualitas daya elektrik seperti yang dijabarkan dalam skripsi ini. Penggunaan *DVR (Dynamic Voltage Restore)* untuk meningkatkan performansi sistem tenaga listrik sangat diperlukan. Karena ditempat tersebut merupakan wilayah industri besar dimana suplai dan kualitas tegangan sangat dibutuhkan untuk menjaga kualitas penyaluran tenaga listrik sehingga G.I Gresik menjadi penyalur tenaga listrik yang handal dan ideal sebagai penyokong energi di wilayah industri.

Untuk lebih meningkatkan performa atau keandalan *DVR* dalam kinerjanya untuk melindungi beban kritis sebaiknya penempatannya menggunakan metode algoritma dalam optimasi penempatan atau letak dipasangnya perangkat tersebut agar kinerja *DVR* lebih bagus dalam menjaga beban kritis pada sebuah sistem jaringan distribusi listrik.

Walaupun *DVR* menjadi alat untuk menjaga kestabilan sistem jaringan distribusi primer namun secara prinsip juga merupakan sebuah perangkat listrik non linier maka dalam prosesnya *DVR* juga menghasilkan distorsi tegangan khususnya harmonisa maka disamping pemasangan *DVR* juga sebaiknya dipasang sebuah perangkat filter dalam sistem jaringan listrik, untuk lebih menambah keandalan sistem penyaluran tenaga listrik pada daerah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 1(11)2191-2198, 2011
 - [2]. Hingorani, N.G., and Gyugyi, L., S. 2000. "*Understanding FACTS concepts and technology of Flexible AC Transmission Systems*": IEEE press, 2000.
 - [3]. Basri, Hasan, "*Sistem Distribusi Daya Listrik*", (Jakarta: ISTN, 1997)
 - [4]. RC. Dugan, "*Electrical Power System Quality*", McGraw-Hill, New York, 1996.
 - [5]. Djiteng Marsudi, "*Operasi sistem tenaga Listrik*", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993
 - [6]. William D. Stevenson, Jr, "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1990
 - [7]. E.Acha, V.G Agelidis, O Naya-lara, Miller T.J.E, "*Power Electronic Control In Electrical System*", Newnes, USA, 2002
 - [8]. P.T Nguyen and K Tapan Saha, "*Dynamic Voltage Restore Against Balanced And Balanced Voltage Sags : Modelling and Simulation*", IEEE Trans. Power Delivery, 2004
-

LAMPYRAN



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata Satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 16 Februari 2012

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : DONY OKTRIDIA LEGAWA
NIM : 07.12.009
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT UNBALANCE VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN DVR (DYNAMIC VOLTAGE RESTORE) DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI GARDU INDUK GRESIK**

NO	Materi Perbaikan	Paraf Penguji
1	Abstrak	
2	Standart $V_{\text{optimasi}}?$	
3	Kesimpulan	

Anggota Penguji :

Penguji Pertama

Bambang Prio Hartono, ST, MT
NIP.Y. 1028400082

Penguji Kedua

Ir. Eko Nurcahyo
NIP.Y.1028700172

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 101880019

Dosen Pembimbing II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y. 1038900209



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : DONY OKTRIDIA LEGAWA
Nim : 07.12.009
Masa Bimbingan : 08 DESEMBER 2011 s/d 08 JUNI 2012
Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT *UNBALANCE VOLTAGE SAG* MENGGUNAKAN DVR DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC SIMULATION DI GARDU INDUK GRESIK

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	10-12-2011	Konsultasi Bab III mengenai flowchart pemecahan masalah	
2	17-01-2012	Konsultasi Bab I sampai Bab III	
3	20-01-2012	Konsultasi Bab IV sampai Bab V	
4	02-02-2012	Revisi Bab IV mengenai penambahan nilai perbandingan nilai beban resistansi dan induktansi sebelum dan sesudah diinjeksi DVR	
5	06-02-2012	Konsultasi Bab III mengenai flowchart desain control DVR menggunakan PSCAD	
6	09-02-2012	Revisi Bab V makalah seminar hasil mengenai kesimpulan dalam penataan kalimat pada point 4 dan 5	
7			
8			
9			
10			

Malang,
Dosen Pembimbing I

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y. 1018800190



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : DONY OKTRIDIA LEGAWA
Nim : 07.12.009
Masa Bimbingan : 08 DESEMBER 2011 s/d 08 JUNI 2012
Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT *UNBALANCE VOLTAGE SAG* MENGGUNAKAN DVR DENGAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC SIMULATION DI GARDU INDUK GRESIK

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	10-12-2011	Konsultasi Bab III mengenai flowchart pemecahan masalah	
2	18-01-2012	Konsultasi Bab I sampai Bab III	
3	21-01-2012	Konsultasi Bab IV sampai Bab V	
4	07-02-2012	Konsultasi Bab III mengenai flowchart desain control DVR menggunakan PSCAD	
5	14-02-2012	Revisi Bab IV mengenai hasil dari simulasi tersebut yang nilai hasilnya tidak diambil yang mendekati nilai standarisasi PLN yaitu 0.95-1.05 pu.	
6			
7			
8			
9			
10			

Malang,

Dosen Pembimbing II



Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y. 1038900209

Form S-4b



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : DONY OKTRIDIA LEGAWA
NIM : 07.12.009
Semester : 3 (sembilan)
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA
TEKNIK ENERGI LISTRIK
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA
TEKNIK KOMPUTER
TEKNIK TELEKOMUNIKASI
Alamat : Jl. LASEM NO 09 GKB - GRESIK

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi. Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro

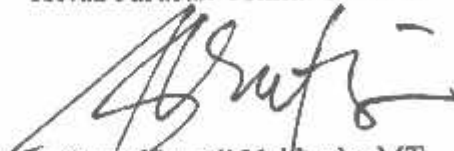
Malang,201
Pemohon


(Puji Handayani)


(DONY OKTRIDIA LEGAWA)

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Mengetahui
Dosen Wali


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


(Ir. Teguh Herbasuki, MT)

Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. 385 / 132 / 2.91
 2. 132
 3. 132 / 132 / 132
- 3A praktikum A



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik / Teknik Elektronika / Teknik Komputer &
Informatika / Teknik Komputer / Teknik Telekomunikasi*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>DANNY OKTRIDIA LEGAWA</u>	Nim: <u>0712009</u>								
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: <u>28</u> Bulan: <u>November</u> Tahun: <u>2011</u>								
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**) <table border="0"><tr><td>a. ☒ Sistem Tenaga Elektrik</td><td>e. ☐ Elektronika & Komponen</td></tr><tr><td>b. ☐ Energi & Konversi Energi</td><td>f. ☐ Elektronika Digital & Komputer</td></tr><tr><td>c. ☐ Tegangan Tinggi & Pengukuran</td><td>g. ☐ Elektronika Komunikasi</td></tr><tr><td>d. ☐ Sistem Kendali Industri</td><td>h. ☐ lainnya</td></tr></table>		a. ☒ Sistem Tenaga Elektrik	e. ☐ Elektronika & Komponen	b. ☐ Energi & Konversi Energi	f. ☐ Elektronika Digital & Komputer	c. ☐ Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. ☐ Elektronika Komunikasi	d. ☐ Sistem Kendali Industri	h. ☐ lainnya
a. ☒ Sistem Tenaga Elektrik	e. ☐ Elektronika & Komponen									
b. ☐ Energi & Konversi Energi	f. ☐ Elektronika Digital & Komputer									
c. ☐ Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. ☐ Elektronika Komunikasi									
d. ☐ Sistem Kendali Industri	h. ☐ lainnya									
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*) <u>Awan Uji Krisyanto, ST, MT</u>	Ketua Jurusan Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT NIP. Y. 1018300189								
5.	Judul yang diajukan mahasiswa:	<u>Analisa Perbaikan Tegangan Akibat Voltage Sag Dan Ketidakeimbangan Menggunakan DVR Dengan Software PSCAD Simulation Di G.I. Gresik</u>								
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu									
Catatan:										
7.	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui Dosen 201								

Perhatian:

1. Formulir pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
**) dilingkari a, b, c,atau g sesuai bidang keahlian



Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
Malang

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **Dony Oktridia Legawa**
Nim : **07.12.009**
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik ~~Elektronika~~/Energi Listrik**

Dengan ini mengajukan permohonan, Kiranya Bapak bersedia menjadi dosen pembimbing Utama / Pendamping *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (Proposal terlampir) :

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT
VOLTAGE SAG DAN KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN
MENGUNAKAN DVR DENGAN *SOFTWARE* PSCAD SIMULATION
DI GARDU INDUK GRESIK**

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 05 Desember 2011

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1


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

Hermat kami,


Dony Oktridia Legawa

*)coret yang tidak perlu

Form S-3a



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl.Raya Karanglo,Km 2
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **Dony Oktridia Legawa**
Nim : **07.12.009**
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Elektronika/Energi Listrik**

Dengan ini mengajukan permohonan, Kiranya Bapak bersedia menjadi dosen pembimbing Utama / Pendamping *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (Proposal terlampir) :

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT
VOLTAGE SAG DAN KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN
MENGUNAKAN DVR DENGAN SOFTWARE PSCAD
SIMULATION DI GARDU INDUK GRESIK**

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

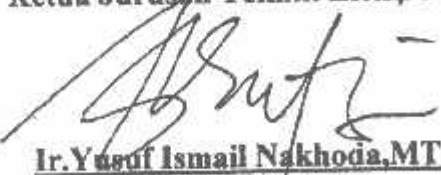
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 05 Desember 2011

Mengetahui

Hormat kami,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. 1018800189


Dony Oktridia Legawa

*)coret yang tidak perlu

Form S-3a



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : Dony Oktridia Legawa
Nim : 07.12.009
Semester : IX (Sembilan)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia *) menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping **, untuk penyusunan Skripsi Mahasiswa tersebut dengan judul :

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT VOLTAGE
SAG DAN KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN MENGGUNAKAN
DVR DENGAN SOFTWARE PSCAD SIMULATION DI GARDU INDUK
GRESIK**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat digunakan seperlunya.

Malang, 05 Desember 2011

Hormat kami,

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y.1018800190

Catatan

1. Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.
2. *) Coret yang tidak perlu



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : Dony Oktridia Legawa
Nim : 07.12.009 /
Semester : IX (Sembilan)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan **bersedia / tidak bersedia** *) menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping **), untuk penyusunan Skripsi Mahasiswa tersebut dengan judul :

**ANALISA PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT VOLTAGE
SAG DAN KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN MENGGUNAKAN
DVR DENGAN SOFTWARE PSCAD SIMULATION DI GARDU INDUK
GRESIK**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat digunakan seperlunya.

Malang, 06 Desember 2011

Hormat kami,

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1038900209

Catatan :

1. Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan mahasiswa/I yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.
2. *) Coret yang tidak perlu

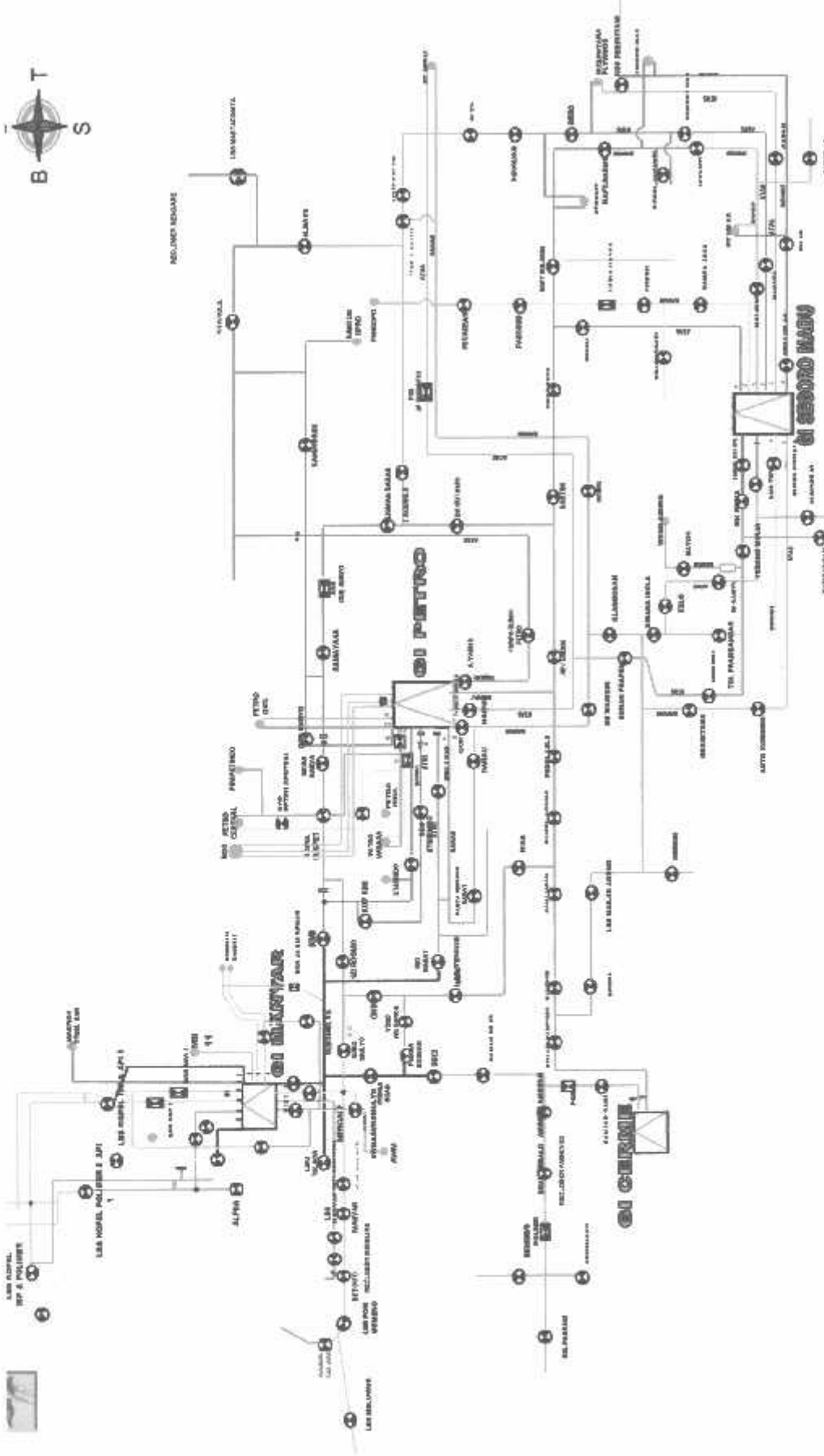


LARI ALPINE
REP & POLIMER

LARI MOSEL POLIMER & LPT

LARI MOSEL TIKAL 2P1

INDONESIA



GI CERME

TRAFIK I	
1. ALPINE	
2. BANDER	

GI MANYAR

TRAFIK II	
1. DETERMINA	
2. HEDALAN	
3. ETEL BANGUNAN	
4. JAWA	
5. MEKAR	
6. SUDHAWA	
7. MIA	
8. SIA	

GI PETRO

TRAFIK I	
1. POK 1	
2. POK 2	
3. POK 3	
4. POK 4	
5. POK 5	
6. POK 6	
7. POK 7	
8. POK 8	
9. POK 9	
10. POK 10	
11. POK 11	
12. POK 12	
13. POK 13	
14. POK 14	
15. POK 15	
16. POK 16	
17. POK 17	
18. POK 18	
19. POK 19	
20. POK 20	
21. POK 21	
22. POK 22	
23. POK 23	
24. POK 24	
25. POK 25	
26. POK 26	
27. POK 27	
28. POK 28	
29. POK 29	
30. POK 30	
31. POK 31	
32. POK 32	
33. POK 33	
34. POK 34	
35. POK 35	
36. POK 36	
37. POK 37	
38. POK 38	
39. POK 39	
40. POK 40	
41. POK 41	
42. POK 42	
43. POK 43	
44. POK 44	
45. POK 45	
46. POK 46	
47. POK 47	
48. POK 48	
49. POK 49	
50. POK 50	
51. POK 51	
52. POK 52	
53. POK 53	
54. POK 54	
55. POK 55	
56. POK 56	
57. POK 57	
58. POK 58	
59. POK 59	
60. POK 60	
61. POK 61	
62. POK 62	
63. POK 63	
64. POK 64	
65. POK 65	
66. POK 66	
67. POK 67	
68. POK 68	
69. POK 69	
70. POK 70	
71. POK 71	
72. POK 72	
73. POK 73	
74. POK 74	
75. POK 75	
76. POK 76	
77. POK 77	
78. POK 78	
79. POK 79	
80. POK 80	
81. POK 81	
82. POK 82	
83. POK 83	
84. POK 84	
85. POK 85	
86. POK 86	
87. POK 87	
88. POK 88	
89. POK 89	
90. POK 90	
91. POK 91	
92. POK 92	
93. POK 93	
94. POK 94	
95. POK 95	
96. POK 96	
97. POK 97	
98. POK 98	
99. POK 99	
100. POK 100	

GI ALTA PRIMA

TRAFIK I	
1. BURELO	
2. BURELO 1	
3. BURELO 2	
4. BURELO 3	
5. BURELO 4	
6. BURELO 5	
7. BURELO 6	
8. BURELO 7	
9. BURELO 8	
10. BURELO 9	
11. BURELO 10	
12. BURELO 11	
13. BURELO 12	
14. BURELO 13	
15. BURELO 14	
16. BURELO 15	
17. BURELO 16	
18. BURELO 17	
19. BURELO 18	
20. BURELO 19	
21. BURELO 20	
22. BURELO 21	
23. BURELO 22	
24. BURELO 23	
25. BURELO 24	
26. BURELO 25	
27. BURELO 26	
28. BURELO 27	
29. BURELO 28	
30. BURELO 29	
31. BURELO 30	
32. BURELO 31	
33. BURELO 32	
34. BURELO 33	
35. BURELO 34	
36. BURELO 35	
37. BURELO 36	
38. BURELO 37	
39. BURELO 38	
40. BURELO 39	
41. BURELO 40	
42. BURELO 41	
43. BURELO 42	
44. BURELO 43	
45. BURELO 44	
46. BURELO 45	
47. BURELO 46	
48. BURELO 47	
49. BURELO 48	
50. BURELO 49	
51. BURELO 50	
52. BURELO 51	
53. BURELO 52	
54. BURELO 53	
55. BURELO 54	
56. BURELO 55	
57. BURELO 56	
58. BURELO 57	
59. BURELO 58	
60. BURELO 59	
61. BURELO 60	
62. BURELO 61	
63. BURELO 62	
64. BURELO 63	
65. BURELO 64	
66. BURELO 65	
67. BURELO 66	
68. BURELO 67	
69. BURELO 68	
70. BURELO 69	
71. BURELO 70	
72. BURELO 71	
73. BURELO 72	
74. BURELO 73	
75. BURELO 74	
76. BURELO 75	
77. BURELO 76	
78. BURELO 77	
79. BURELO 78	
80. BURELO 79	
81. BURELO 80	
82. BURELO 81	
83. BURELO 82	
84. BURELO 83	
85. BURELO 84	
86. BURELO 85	
87. BURELO 86	
88. BURELO 87	
89. BURELO 88	
90. BURELO 89	
91. BURELO 90	
92. BURELO 91	
93. BURELO 92	
94. BURELO 93	
95. BURELO 94	
96. BURELO 95	
97. BURELO 96	
98. BURELO 97	
99. BURELO 98	
100. BURELO 99	

GI SEGORO MADU

TRAFIK I	
1. BURELO	
2. BURELO 1	
3. BURELO 2	
4. BURELO 3	
5. BURELO 4	
6. BURELO 5	
7. BURELO 6	
8. BURELO 7	
9. BURELO 8	
10. BURELO 9	
11. BURELO 10	
12. BURELO 11	
13. BURELO 12	
14. BURELO 13	
15. BURELO 14	
16. BURELO 15	
17. BURELO 16	
18. BURELO 17	
19. BURELO 18	
20. BURELO 19	
21. BURELO 20	
22. BURELO 21	
23. BURELO 22	
24. BURELO 23	
25. BURELO 24	
26. BURELO 25	
27. BURELO 26	
28. BURELO 27	
29. BURELO 28	
30. BURELO 29	
31. BURELO 30	
32. BURELO 31	
33. BURELO 32	
34. BURELO 33	
35. BURELO 34	
36. BURELO 35	
37. BURELO 36	
38. BURELO 37	
39. BURELO 38	
40. BURELO 39	
41. BURELO 40	
42. BURELO 41	
43. BURELO 42	
44. BURELO 43	
45. BURELO 44	
46. BURELO 45	
47. BURELO 46	
48. BURELO 47	
49. BURELO 48	
50. BURELO 49	
51. BURELO 50	
52. BURELO 51	
53. BURELO 52	
54. BURELO 53	
55. BURELO 54	
56. BURELO 55	
57. BURELO 56	
58. BURELO 57	
59. BURELO 58	
60. BURELO 59	
61. BURELO 60	
62. BURELO 61	
63. BURELO 62	
64. BURELO 63	
65. BURELO 64	
66. BURELO 65	
67. BURELO 66	
68. BURELO 67	
69. BURELO 68	
70. BURELO 69	
71. BURELO 70	
72. BURELO 71	
73. BURELO 72	
74. BURELO 73	
75. BURELO 74	
76. BURELO 75	
77. BURELO 76	
78. BURELO 77	
79. BURELO 78	
80. BURELO 79	
81. BURELO 80	
82. BURELO 81	
83. BURELO 82	
84. BURELO 83	
85. BURELO 84	
86. BURELO 85	
87. BURELO 86	
88. BURELO 87	
89. BURELO 88	
90. BURELO 89	
91. BURELO 90	
92. BURELO 91	
93. BURELO 92	
94. BURELO 93	
95. BURELO 94	
96. BURELO 95	
97. BURELO 96	
98. BURELO 97	
99. BURELO 98	
100. BURELO 99	

NO GI	GARDU INDUK	TRAFO			Kabel Incoming Trf & Outgoing penyulang Jenis d kbl (mm²)	N O Ur	Cubicle/ MV Cell Penyulang	Sca da (R)	Kbl Inc Trf/ Outg Phy I, nom I, set (Amp) (Amp)	AP/ A P J	Beban Trafo dan Penyulang										TTG	RAT	LF	
		NO Trf	Prim (kV)	Sec (kV)							Daya (MVA)	Tertinggi				% I Nom		% I Set		Rata-2				
												Sng Amp	tgl Amp	Mlm Amp	Tgl Amp	Sng Amp	Mlm Amp	Sng Amp	Mlm Amp					
	SEGOROMADU	3	150	20	60	XLPE 2 X 3 X 800		GOLDSTAR /30	1732 2000		1000	14	874	12	58.1	50.3	834	742	940	788	0.84			
						XLPE 3 X 240	1	Nusantara 1	385 320	GSK	151	22	133	5	38.2	47.2	120	115	142	117.5	0.83			
						XLPE 3 X 240	2	Budi Nyata	385 320	GSK	204	22	161	6	54.0	65	141	107	184.5	124	0.67			
						XLPE 3 X 240	3	Nusantara 2	385 320	GSK	255	14	205	3	55.8	62.6	184	176	260.5	180	0.69			
						XLPE 3 X 240	4	Veteran Tama	385 320		59	23	36	31	15.3	18.4	13	7	47	10	0.21			
						2 X 3 X 800		Merlin Gerlin																
						XLPE 3 X 240	1	Gulumanung 1	292 400	GSK	98	13	85	24	33.6	24.5	77	62	91.5	69.5	0.76			
						XLPE 3 X 240	2	Gulumanung 2	385 400	GSK	105	22	5	2	27.3	26.3	8	3	55	5.5	0.10			
						3 X 240	3	Iglas	400 400	GSK	143	22	113	31		35.8	96	88	128	92	0.72			
						3 X 240	4	Pang. Sudirman	400 400	GSK	221	1	210	2		55.3	167	141	215.5	164	0.71			
						XLPE 3 X 240	5	Kartini	292 400	GSK	184	25	72	1	63.0	46	63	65	128	64	0.50			
		2	150	20	20	XLPE 2 X 3 X 400		EGANUSA	577 1000	GSK	438	13	349	8	75.9	43.8	272	168	393.5	220	0.56			
						XLPE 3 X 240	1	Prambangan	292 320	GSK	171	9	119	9		53.4	115	76	145	95.5	0.66			
						XLPE 3 X 240	2	Sekar purung	292 320	GSK	185	1	196	8	67.1	61.3	111	46	190.5	78.5	0.41			
								PT, Barata Steel (70 kV)			150	13	90	29			52	34	120	43	0.36			
								PT, Semen Gresik (70 kV)			90	29	65	26			50	44	77.5	47	0.61			
	MANYAR	2	150	20	60	XLPE 2 X 3 X 1 X 800		AEG	1732 2000		1045	9	1414	25	81.6	70.7	834	939	1230	886.5	0.72			
						XLPE 3 X 240	1	Ujung Pangkah	385 400	GSK	219	27	250	6	64.9	62.5	121	207	234.5	164	0.70			
						XLPE 3 X 240	2	AWM	385 400	GSK	53	22	129	25	33.5	32.3	43	45	91	44	0.48			
						XLPE 3 X 240	3	Sukomulyo	385 400	GSK	178	11	246	25	63.9	61.5	84	103	212	93.5	0.44			
						XLPE 3 X 240	4	Mengare	385 400	GSK	222	29	250	8	64.9	62.5	146	163	236	154.5	0.65			
						XLPE 3 X 240	5	Dukun	385 400	GSK	190	27	217	9	56.4	54.3	113	188	203.5	150.5	0.74			
							6	API 1	385 400	GSK	164	10	162	4	42.6	41	128	80	163	104	0.64			
						XLPE 3 X 240	7	API 2	385 400	GSK	167	10	164	4	43.4	41.8	129	76	165.5	102.5	0.62			
						XLPE 3 X 150	8	Semenanjung	292 320	GSK	99	9	95	29	33.9	30.9	63	66	97	64.5	0.66			
						XLPE 3 X 150	9	MSI 1	385 400	GSK	55	25	58	15	15.1	14.5	2	2	56.5	2	0.04			
						XLPE 3 X 240	10	(Cell) MSI 2	385 400	GSK	187	29	77	25	48.6	46.8	30	27	132	28.5	0.22			
		3	150	20	60	N A 2 X 5 Y 1 X 630		FUJI	1732 1800	GSK	951	14	767	7	54.9	52.8	703	513	859	608	0.71			
							1	Indosat	385 400	GSK	172	28	84	26	44.7	43	96	56	128	76	0.59			
						XLPE 3 X 240	2	Inti Sentosa	480 360	GSK	199	25	55	8	41.5	55.3	126	15	127	70.5	0.56			

NO GI	GARDU INDUK	TRAFO			Kabel Incoming Trf & Outgoing penyalang Jenis d.kbl (mm²)	N O Ur	Cubicle/ MV Cell Penyalang	Soa da (R)	Kbl.Inc.Trf/ Outg Pny I, nom (Amp)	AP/ A P J	Beban Trafo dan Penyalang										TTG	RAT	LF	
		NO Trf	Prim (kV)	Sec (kV)							Daya (MVA)	Tertinggi				% I Nom		% I Set		Rata-2				
												Sng Amp	Tgl Amp	Mlm Amp	Tgl Amp	Nom	Set	Sng Amp	Mlm Amp					
					XLPE	3 X 240	3	Polymer	R	385	360	GSK	136	20	108	3	35.3	37.8	83	80	122	81.5	0.67	
					XLPE	3 X 240	4	ISP	R	385	360	GSK	144	1	125	28	37.4	40	102	87	134.5	94.5	0.70	
					XLPE	3 X 240	5	Fuguy 1	R	385	400	GSK	120	8	106	1	31.2	30	88	92	113	90	0.80	
					XLPE	3 X 240	6	Fuguy 2	R	385	400	GSK	246	2	245	27	63.9	61.5	215	205	245.5	210	0.86	
					XLPE	3 X 240	7	Jindal SS		400		GSK	212	31	204	25		53	158	163	208	160.5	0.77	
								Line Maspion (70 kV)				GSK	220	11	200	27			153	152	210	152.5	0.73	
								PT. SILBAR (MASPION)											93	101	131.5	97	0.74	
								MerlinGerlin	R	1732	2000		747	9	566	9	43.1	37.4	575	407	656.5	491	0.75	
								Berkat Bersama	R	385	320	GSK	230	25	122	9	59.7	71.9	94	51	176	72.5	0.41	
								Eganusa		1732	2000		673	19	457	9	38.9	33.7	503	370	565	436.5	0.77	
								Sukorejo	R	385	320	GSK	250	9	130	27	64.9	78.1	184	95	190	139.5	0.73	
																					0			
								AEG / 30		866	1200		597	27	735	27	84.9	61.3	364	567	666	465.5	0.70	
								Marowudi	R	385	400	GSK	94	27	100	27	26.0	25	56	79	97	67.5	0.70	
								Nagbetan	R	385	400	GSK	141	3	232	5	60.3	58	72	122	186.5	97	0.52	
								Bunder	R	385	320	GSK	156	25	177	27	46.0	55.3	95	125	166.5	110	0.66	
								Ambeng-Ambeng	R	385	400	GSK	104	27	170	23	44.2	42.5	58	114	137	86	0.63	
								Balongpanggang	R	385	400		190	25	210	23	54.5		102	137	200	119.5	0.60	
								ESA		866	1200		482	27	542	20	62.6	45.2	143	271	512	207	0.40	
								Mantup	R	385	320	GSK	138	20	176	20	45.7	55	37	72	157	54.5	0.35	
								AREVA		866	1200		350	29	316	23	40.4	29.2	250	259	333	254.5	0.76	
								Panca Putra (ex.Ba	R	385	400	GSK	124	29	100	23	32.2		26	32	112	29	0.26	
								PON 1	R	304	400	GSK	280	11	213	4	92.1	70	192	188	246.5	190	0.77	
								Petro Kujang	R	385	400	GSK	103	25	123	31	31.9	30.8	26	36	113	31	0.27	
								MerlinGerlin / 20		1443	1800		1066	22	845	29	73.2	56.7	709	674	950.5	691.5	0.73	
								Esterinda (Ex. Sid	R	385	400	GSK	115	12	100	1	29.9	28.8	82	80	107.5	81	0.75	
								Puspeterindo	R	385	400	GSK	210	5	185	4	54.5	52.5	88	72	197.5	80	0.41	
								Gubernur Suruyo	R	385	400	GSK	135	25	150	12	39.0	37.5	99	104	142.5	101.5	0.71	
								BOC 1	R	384	364	GSK	120	26	165	25	43.0	43	11	16	142.5	13.5	0.09	
								BOC 2	R	384	364	GSK	36	22	100	29	26.0	26	2	5	68	3.5	0.05	

[illegible]