

SKRIPSI

**ANALISA KUALITAS TEGANGAN TERHADAP PENGARUH
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT MENGGUNAKAN
UNIFIED POWER QUALITY CONDITIONER DI GI
POLEHAN DENGAN *SOFTWARE PSCAD POWER SYSTEM
SIMULATION***



Disusun Oleh :

ROYB FATKHUR RIZAL

NIM 07.12.903

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA KUALITAS TEGANGAN TERHADAP PENGARUH
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT MENGGUNAKAN *UNIFIED
POWER QUALITY CONDITIONER* DI GI POLEHAN DENGAN
SOFTWARE PSCAD POWER SYSTEM SIMULATION

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Energi Listrik Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

ROYB FATKHUR RIZAL

NIM : 07.12.903

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Choirul Saleh, MT
NIP. Y. 101 8800 190



Bambang Prio Hartono, ST, MT
NIP. Y. 102 8400 082

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1



H. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y 103 9500274

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2009

ABSTRAK

ANALISA KUALITAS TEGANGAN TERHADAP PENGARUH GANGGUAN HUBUNG SINGKAT MENGGUNAKAN *UNIFIED POWER QUALITY CONDITIONER* DI GI POLEHAN DENGAN *SOFTWARE PSCAD POWER SYSTEM SIMULATION*

Royb Fatkhur Rizal

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro S-1

Kosentrasi Teknik Energi Listrik

Institut Teknologi Nasional Malang

Jl.Raya Karanglo Km 2 Malang

Email : Fatkhur_23@yahoo.com

(Dosen Pembimbing Ir. Choirul Saleh, MT – Bambang Prio Hartono, ST, MT)

Dalam permasalahan kualitas daya gangguan hubung singkat merupakan salah satu factor yang diperhitungkan karena dapat menimbulkan *Voltage Sag*^[1]. Instalasi *Facts Device* adalah salah satu dari solusi penghematan biaya untuk permasalahan kualitas tegangan sejenisnya. Sasaran yang utama dari penelitian ini adalah penerapan *Unified Power Quality Conditioner* untuk peningkatan kualitas tegangan. Dari hasil simulasi pada Sistem Penyulang gardu Induk Polehan dengan kompensasi UPQC, diambil nilai referensi dari saat terjadinya gangguan hubung singkat yang menyebabkan timbulnya *Voltage Sag*, sebesar 0.089 (pu) atau 1.26 % dari 0.799 (pu) menjadi 0.889 (pu) pada Trafo I sisi *Incoming* (Bus 70 kV). Sedangkan untuk Sisi *Outgoing* (Bus 20 kV) mengalami perbaikan sebesar 0.133 (pu) atau 1.825 % dari 0.734 (pu) menjadi 0.868 (pu). Sedangkan untuk Trafo II pada saat kondisi *Voltage Sag*, mengalami perbaikan sebesar 0.114 (pu) atau 1.363 % dari 0.836 (pu) menjadi 0.950 (pu) , Sedangkan untuk Sisi *Outgoing* (Bus 20 kV) mengalami perbaikan sebesar 0.186 (pu) atau 2.54 % dari 0.735 (pu) menjadi 0.922 (pu). PSCAD/EMTDC adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi.

Kata kunci : UPQC, *Voltage Sag*, *Power Quality*

Page 1

THE UNITED STATES OF AMERICA
DEPARTMENT OF JUSTICE
OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL
WASHINGTON, D. C. 20530

MEMORANDUM

TO : THE ATTORNEY GENERAL
FROM : THE DEPARTMENT OF JUSTICE
SUBJECT: [Illegible]

DATE: [Illegible]

[The following text is extremely faint and largely illegible due to the quality of the scan. It appears to be the main body of a memorandum, containing several paragraphs of text.]

[Illegible signature or name]

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur Kehadirhot Allah SWT yang dengan segala Kasih dan Anugerah – Nya, telah memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :
“ ANALISA KUALITAS TEGANGAN TERHADAP PENGARUH GANGGUAN HUBUNG SINGKAT MENGGUNAKAN *UNIFIED POWER QUALITY CONDITIONER* DI GI POLEHAN DENGAN *SOFTWARE PSCAD POWER SYSTEM SIMULATION*”

Pembuatan skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan pendidikan jenjang Strata I di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan baik moril maupun materiil, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor ITN Malang
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
4. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Choirul saleh, MT selaku Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Bambang Prio Hartono, ST.MT selaku Dosen Pembimbing II.
7. Bapak/Ibuku yang selalu memberikan doa serta dorongannya dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak yang perlu disempurnakan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata, penulis mohon maaf kepada semua pihak bilamana selama penyusunan skripsi ini penyusun membuat kesalahan secara tidak sengaja dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Oktober 2009

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi	6
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Penyaluran	7
2.2.1.Jaringan.....	7
2.2 Gardu Induk Secara umum	10
2.2.1.Jenis Gardu Induk	11
2.2.2.Jenis Gardu Induk	12

2.2.3 Jenis Gardu Induk	14
2.2.4 Komponen dan Fasilitas Gardu Induk	15
2.3 Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik	16
2.4 Kualitas Tegangan	18
2.5 Kualitas Daya Elektrik	19
2.5.1 Klasifikasi Kualitas Daya	19
2.5.2 Variasi Tegangan.....	21
2.5.3 Besar Jatuh Tegangan (<i>Drop Voltage</i>)	29
2.5.4 <i>Voltage Sag</i> dan <i>Voltage Swell</i>	30
2.5.5 Penyebab <i>Voltage Sag</i>	30
2.5.6 Perhitungan Nilai <i>Volatge Sag</i> dan <i>Voltage Swell</i> Sistem	32
2.6 <i>Unified Power Quality Conditioner</i>	33
2.7 Sistem Pengendalian PWM Sinusoida	34
2.7.1 PWM Sinusoida.....	34
2.8 Aksi Kontrol Proporsional Integral	35
2.8.1 Umum	35
2.8.2 Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses	37
2.8.3 Prinsip-prinsip Kerja Pengendali.....	38
2.8.4 Pengendali proporsiaonal (<i>Propoortional Controler</i>)	39
2.8.5 Pengendali Intergal (<i>Intergal Controler</i>).....	41
2.8.6 Pengendali Proporsional Intergal (<i>PI Controler</i>)	43

BAB III METODE ANALISA	45
3.1 Flowchart simulasi system GI Polehan	45
3.1.1 Menggambar <i>Single Line Dengan Software</i>	
PSCAD/EMTDC V 4.2 <i>Power Simulation</i>	45
3.1.2 Memulai PSCAD/EMTDC <i>Power Simulation</i>	46
3.2 <i>Input data dalam PSCAD Power simulation</i>	49
3.2.1 <i>Input data Transformator</i>	49
3.3 Analisa pengaruh Gangguan yang diakibatkan	50
3.3.1 Jenis gangguan pada sistem penyulang GI Polehan	50
3.3.2 Pengaruh gangguan pada system sisi <i>Incoming dan Outgoing</i>	
70/20 kV GI Polehan	51
3.3.2.1 Profil kualitas tegangan pada saat terjadi gangguan 2 Fasa	
Ke tanah	51
3.3.2.2 Profil kualitas tegangan pada saat terjadi gangguan 1 Fasa	
Ke tanah	53
3.3.2.3 Profil kualitas tegangan pada saat terjadi gangguan	
2 Fasa (antar fasa).....	55
3.4 Flowchart simulasi system dengan memakai kompensator	
<i>Unified Power Quality Conditioner</i>	58
3.5 Peralatan Kompensator <i>Unified Power Quality Conditioner</i>	59
3.5.1 <i>Shunt Inverter Control</i>	60
3.5.2 <i>DC Link Voltage Control</i>	62

3.5.3 <i>Series Inverter Control</i>	63
BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL	64
4.1 <i>Single Line</i> Sistem Penyaluran GI Polehan	64
4.2 Data Penyaluran dan Pembebanan pada GI Polehan.....	65
4.3 Analisa perbaikan Kualitas Tegangan memakai kompensator	
<i>Unified Power Quality Conditioner</i> dengan <i>software</i> PSCAD	66
4.3.1 Profil kualitas tegangan sebelum menggunakan	
Kompensator UPQC	67
4.3.2 Profil kualitas tegangan setelah menggunakan	
Kompensator UPQC	69
4.4 Perbandingan Hasil simulasi sebelum Kompensasi	
dan sesudahKompensasi	72
4.4.1 Optimasi perbaikan kualitas tegangan pada kondisi	
<i>Voltage Sag</i>	73
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Keuntungan dan Kekurangan Jaringan Sistem Radial, Ring dan Interkoneksi	9
Tabel 2.2	Standart Kualitas Daya (IEEE 519 <i>Voltage Limits</i>)	21
Tabel 4.1.	Data Pembebanan Tertinggi Penyulang Gardu Induk Polehan.....	65
Tabel 4.2	Nilai Tegangan Busbar Penyulang pada Saat Terjadi Gangguan (Pemantauan Gangguan Bulan April).....	65
Tabel 4.3	Data Hasil Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> sebelum Kompensasi.....	68
Tabel 4.4	Hasil Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> Setelah Kompensasi.....	71
Tabel 4.5	Hasil Perbandingan Sebelum dan Sesudah Menggunakan Kompensasi pada Trafo I	72
Tabel 4.6	Hasil Perbandingan Sebelum dan Sesudah Menggunakan Kompensasi pada Trafo II.....	73
Tabel 4.7	Hasil Perbandingan Tegangan Busbar setelah Kompensasi.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Single Line Jaringan System Radial</i>	7
Gambar 2.2	<i>Single Line Jaringan Sistem Ring</i>	8
Gambar 2.3	<i>Single Line Jaringan Interkoneksi</i>	9
Gambar 2.4	Skema Penyaluran Distribusi Tenaga Listrik.....	11
Gambar 2.5	Bagan Sistem Tenaga Listrik untuk Pelanggan Besar.....	13
Gambar 2.6	Aliran Daya melalui Saluran Pendek	18
Gambar 2.7	Perubahan Tegangan sebagai Fungsi aliran Daya Reaktif	19
Gambar 2.8	Profil Interupsi Sesaat pada Sisi Pemakai	24
Gambar 2.9	Profil Variasi tegangan saat terjadi gangguan Fasa ke Tanah	26
Gambar 2.10	Profil Tegangan karena gangguan Fasa ke tanah	26
Gambar 2.11	Profil Tegangan (<i>sag</i>) karena Gangguan yang jauh	27
Gambar 2.12	Profil kenaikan Tegangan adanya gangguan fasa ke tanah	29
Gambar 2.13	Ilustrasi <i>Voltage Sag</i> dan <i>Swell</i>	30
Gambar 2.14	Ilustrasi <i>Voltage Sag</i> karena motor starting	31
Gambar 2.15	Gambaran terjadinya <i>Voltage Sag</i>	31
Gambar 2.16	Model Pembagi Tegangan untuk <i>Voltage Sag</i> dan <i>Swell</i>	32
Gambar 2.17	Skema UPQC	33
Gambar 2.18	Diagram Rangkaian control PWM dengan UPQC	35
Gambar 2.19	Kontroler dan Diagram Kontrol	39
Gambar 2.20	Diagram Blok Kontroler <i>Proporsional</i>	40

Gambar 2.21	Respon sebuah Pengendali <i>Proporsional</i>	41
Gambar 2.22	Blok Diagram <i>Kontroler Intergal</i>	43
Gambar 2.23	Diagram pengendali Kontak Pengendali PI	43
Gambar 2.24	Hubungan <i>Input-Output</i> Pengendali PI dalam Fungsi Waktu	44
Gambar 3.1	Flowchart pembuatan <i>Single Line Diagram</i> <i>System</i> GI Polehan	45
Gambar 3.2	Tampilan Utama <i>Software PSCAD Power Simulation</i>	46
Gambar 3.3	Tampilan <i>Master Library</i>	47
Gambar 3.4	Tampilan Modul Utama	48
Gambar 3.5	Tampilan <i>Single Line</i> GI Polehan dalam PSCAD	48
Gambar 3.6	Tampilan Input Data Transformator I	49
Gambar 3.7	Tampilan Input Data Transformator II	49
Gambar 3.8	Grafik Profil tegangan pada saat Gangguan 2 Fasa	50
Gambar 3.9	Grafik profil Tegangan pada saat Gangguan 1 Fasa ke Tanah	50
Gambar 3.10	Grafik Profil Tegangan pada saat gangguan 2 Fasa ke Tanah	51
Gambar 3.11	Profil Tegangan <i>Incoming</i> Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa ke Tanah	51
Gambar 3.12	Profil Tegangan <i>Outgoing</i> Saat terjadi Gangguan 2 Fasa ke Tanah	52
Gambar 3.13	Profil Tegangan Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa ke Tanah Dalam Satuan (pu)	53
Gambar 3.14	Profil Tegangan <i>Incoming</i> Saat terjadi gangguan 1 Fasa ke Tanah	53

Gambar 3.15	Profil Tegangan <i>Outgoing</i> Saat Terjadi Gangguan	
	1 Fasa ke Tanah	54
Gambar 3.16	Profil Tegangan Saat terjadi Gangguan	
	1 Fasa ke Tanah dalam satuan (pu)	55
Gambar 3.17	Profil Tegangan <i>Incoming</i> saat Terjadi gangguan 2 Fasa	55
Gambar 3.18	Profil Tegangan <i>Outgoing</i> saat terjadi Gangguan 2 Fasa	56
Gambar 3.19	Profil Tegangan saat terjadi Gangguan 2 Fasa dalam satuan (pu) .	57
Gambar 3.20	<i>Flowchart</i> analisa kualitas tegangan dengan UPQC.....	58
Gambar 3.21	<i>Single line</i> system GI Polehan dengan kompensator UPQC	59
Gambar 3.22	Blok diagram Control UPQC	60
Gambar 3.23	Blok Diagram Shunt Inverter Control	62
Gambar 3.24	Blok diagram DC Link Voltage Control	63
Gambar 3.25	Blok Diagram Series Inverter Control	63
Gambar 4.1	<i>Single Line</i> GI Polehan dalam simulasi	64
Gambar 4.2	Profil Tegangan akibat <i>Voltage Sag</i> disisi 70 kV	67
Gambar 4.3	Profil Tegangan akibat <i>Voltage Sag</i> disisi 20 kV	68
Gambar 4.4	Profil Tegangan dengan Kompensasi	
	UPQC disisi 70 kV.....	70
Gambar 4.5	Profil Tegangan dengan Kompensasi	
	UPQC disisi 20 kV.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam permasalahan kualitas daya gangguan hubung singkat merupakan salah satu factor yang diperhitungkan karena dapat menimbulkan *Voltage Sag*^[1]. Maka dari itu diperlukan kehandalan system dan kualitas daya terutama saat terjadi gangguan pada suatu system tenaga listrik. Keandalan system selalu dijaga namun kualitas dayanya harus diperhatikan juga terhadap pengaruh-pengaruh gangguan terutama gangguan hubung singkat yang sering terjadi, terutama pada gangguan yang terjadi pada penyulang di Gardu induk Polehan mengakibatkan kualitas daya terutama tegangannya mengalami fluktuatif secara temporer^[1].

Gangguan tegangan terhadap kualitas tegangan selalu ada pada setiap bagian dari sistem tenaga, mulai dari sumber sampai ke pelanggan. Oleh karena itu tegangan tersebut perlu dikendalikan. Adapun tujuan pengendalian dan perbaikan tegangan system adalah agar penggunaan daya dan tegangan menjadi lebih ekonomis yaitu tegangan yang digunakan sesuai dengan tegangan yang di desain dari peralatan yang dipakai, sampai pada suatu batas tertentu^[2]. Skripsi ini menganalisa kualitas tegangan pada system di GI polehan. Sehingga besarnya tegangan keluaran dari transformator daya dapat dikendalikan dan mampu meningkatkan kualitas tegangan pada tegangan ujung terima dan sisi kirim di gardu induk.

Sehubungan dengan itu perlu adanya penganalisaan yang akurat mengenai pengaruh gangguan pada tegangan tersebut, walaupun nilainya relative kecil dan waktunya temporer namun ini mengganggu kontinuitas dan mempengaruhi kualitas

THE STATE OF TEXAS

County of _____

Know all men by these presents, that _____ of the County of _____ State of Texas

do hereby certify that _____ of the County of _____ State of Texas

is the true and correct owner of the above described premises, and that he

has the right to sell the same, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

to execute these presents, and that he has authorized _____ of the County of _____ State of Texas

Witness my hand and seal of office this _____ day of _____ 19____.

penyaluran daya ke konsumen. Dalam kaitan dengan perkembangan pesat industri elektronika daya, sejumlah besar semikonduktor dengan kapasitas daya yang tinggi tersedia untuk aplikasi sistem tenaga. *FACTS Device* yang menggunakan komponen elektronika daya terbaru dan metode kendali untuk mengontrol sisi tegangan tinggi pada jaringan sistem tenaga listrik. Maka dari itu perlu adanya pengontrolan dan penganalisaan tentang pengaruh gangguan tersebut supaya bisa digunakan sebagai acuan untuk menjaga keandalan penyaluran tenaga listrik di masa mendatang^[3].

Alternatif yang paling efektif dan sering dipakai untuk memperbaiki kondisi tersebut pada jaringan akibat adanya gangguan kualitas tegangan adalah dengan menginjeksikan daya reaktif tambahan atau dengan kata lain memasang kompensator daya tambahan yang dibutuhkan oleh sistem disisi beban ^[2]. Salah satu kompensator yang telah dibuat dan dipakai untuk menghadapi masalah ini adalah kompensator *Unified Power Quality Conditioner*^[5].

1.2 Rumusan Masalah

Dari Latar belakang diatas, Maka masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana pengaruh kualitas tegangan di GI Polehan pada saat terjadi gangguan hubung singkat yang menyebabkan penurunan tegangan sesaat (*Voltage Sag*) dengan menggunakan *Software PSCAD Power System Simulation*.
2. Bagaimana pengaruh kualitas tegangan yang didapat setelah menggunakan kompensator *Unified Power Quality Conditioner*.

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..

... ..

... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..

... ..

... ..

1.3 Tujuan

Menganalisa kualitas tegangan di Gardu induk Polehan pada saat terjadi gangguan hubung singkat yang mengakibatkan gangguan *Voltage sag* dengan menggunakan kompensator *Unified Power Quality Conditioner* memakai *Software PSCAD Power System Simulation*.

1.4 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan dan untuk menyederhanakan pembahasan agar dapat tercapai tujuan dengan baik, maka penulis perlu membatasi permasalahan yang akan dibahas sehingga pembahasan tidak terlalu luas.

Adapun batasan – batasan masalah sebagai berikut :

- a) Membahas kualitas tegangan akibat gangguan hubung singkat di saluran distribusi GI Polehan dengan kompensator *Unified Power Quality Conditioner*.
- b) Hanya membahas pengaruh gangguan hubung singkat yang terjadi dipenyulang GI polehan yaitu jenis gangguan hubung singkat Tak Simetris.
- c) Tidak membahas prinsip kerja peralatan dan sistem Transmisi di Gardu Induk Polehan.
- d) Tidak membahas Sistem proteksi dan Pentanahan peralatan dan Pentanahan sistem 70 kV dan 20 kV di Gardu induk Polehan.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang dipakai penulis dalam menyajikan dan menganalisa Skripsi ini adalah :

1. Study Literatur dengan mempelajari teori – teori yang terkait melalui literature yang ada, yang berhubungan dengan pengaruh gangguan hubung singkat pada Gardu Induk Polehan.

2. Pengumpulan Data.

Pengumpulan data lapangan yang di pakai dalam objek penelitian yakni data single line, nameplate, data peralatan terpasang dan data pembebanan bulan April 09 yang ada di GI Polehan Malang.

- Data kuantitatif yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka.
- Data kualitatif yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini adalah gambar single line GI Polehan.

3. Melakukan analisa data dengan menggunakan program simulasi *Software PSCAD Power System Simulation*.

Analisa pengaruh system dan kualitas tegangan saluran pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada penyulang Gardu Induk Polehan..

4. Pembahasan Masalah

Analisa kualitas tegangan system akibat gangguan hubung singkat di GI Polehan dengan memakai kompensator *Unified Power*

Quality Conditioner dengan memakai simulasi *Software PSCAD*
Power System Simulation

5. Kesimpulan

Menarik kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah dari pokok pembahasan yang saling terkait antara satu dengan yang lainnya, yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini meliputi beberapa uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi serta sistematika pembahasan.

BAB II. DASAR TEORI

Pada bab ini diuraikan mengenai teori tentang Gardu Induk, jenis jaringan penyaluran dan jenis gangguan hubung singkat dan kompensator UPQC (*Unified Power Quality Conditioner*).

BAB III. METODE ANALISA

Pada bab ini berisikan data – data tentang GI Polehan berupa data transformator, peralatan yang terpasang dan analisa kualitas tegangan akibat pengaruh gangguan hubung singkat di system GI polehan dengan *software* PSCAD yaitu berupa data grafik, table dan gambar rangkaian.

BAB IV. ANALISA HASIL

Pada bab ini berisikan tentang hasil analisa simulasi dengan menggunakan kompensator UPQC memakai *software* PSCAD yaitu berupa tampilan data berupa grafik dan table.

BAB V. KESIMPULAN

Merupakan bab terakhir yang merupakan intisari dan hasil pembahasan berisikan kesimpulan.

1.7. Relevansi

Dengan menggunakan teknologi baru yaitu kombinasi dua filter tegangan dalam mengatasi permasalahan kualitas daya dalam hal ini *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC), diharapkan dapat diperoleh keandalan dalam suatu produsen tenaga listrik dan memberikan kepuasan bagi konsumen. Hal ini mungkin dengan adanya keunggulan yang ditawarkan oleh *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) dalam mengatasi permasalahan perbaikan kualitas tegangan akibat pengaruh gangguan hubung singkat yaitu (*Voltage Sag*) pada system penyaluran di GI Polehan diharapkan dapat dijadikan pembelajaran untuk meningkatkan kualitas daya agar kebutuhan pelanggan terhadap kualitas tegangan yang bagus dapat tercapai di masa mendatang.

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Penyaluran^[6]

Penyaluran adalah proses menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke gardu induk melalui saluran transmisi. Tegangan pada generator berkisar antara 13,8 kV dan 24 kV, tegangan ini akan dinaikkan ke tingkat – tingkat yang dipakai untuk transmisi yaitu : 70 kV, 150 kV^[6].

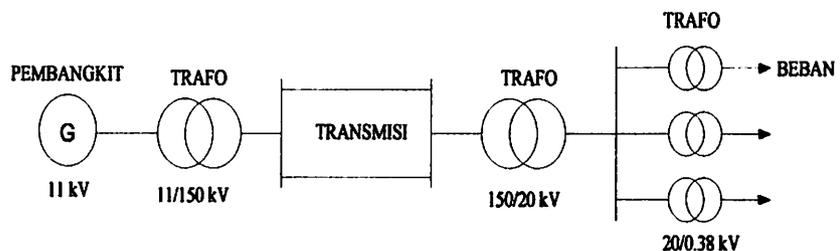
Terdapat beberapa kategori saluran transmisi yang ada, dan dapat dibedakan menurut^[6] :

2.1.1. Jaringan

Dilihat dari system jaringan yang dipakai maka pada jaringan transmisi dapat dibedakan menjadi 3, yaitu :

1. Radial

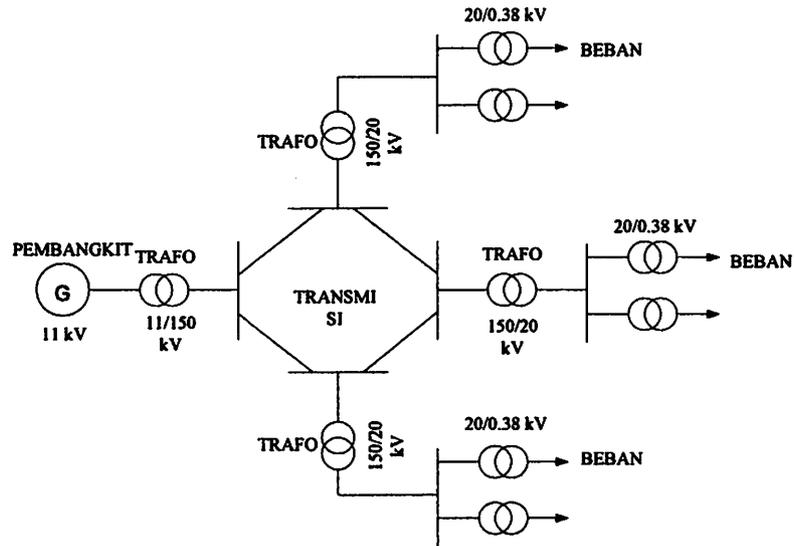
System jaringan radial adalah system jaringan yang menghubungkan pembangkit tenaga listrik dengan gardu induk kemudian disalurkan ke konsumen melalui jaringan distribusi. Untuk system ini mempunyai hubungan terbuka.



Gambar. 2.1
Single Line Jaringan Sistem Radial^[6]

2. Ring (tertutup)

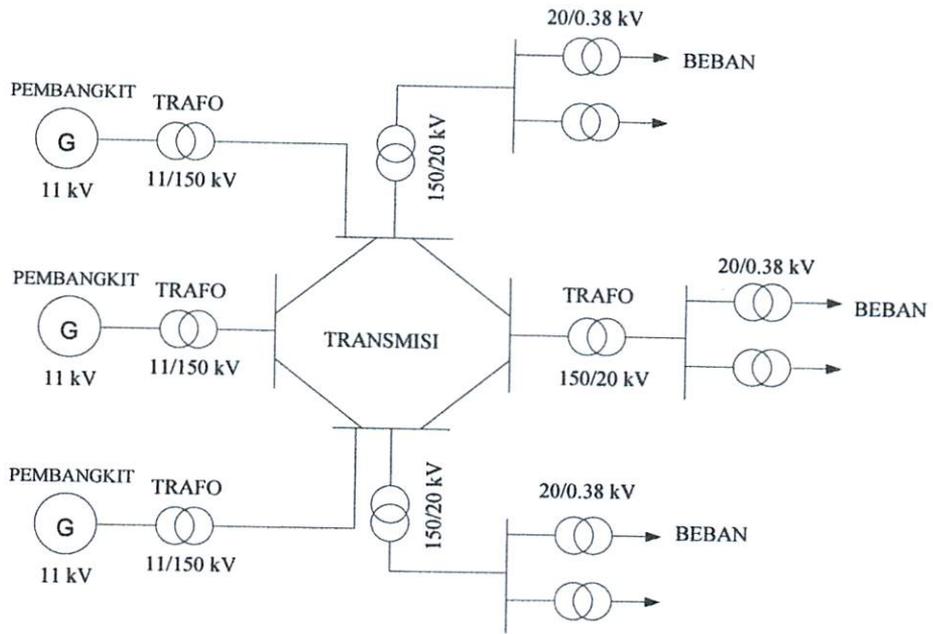
Sistem ring memanfaatkan beberapa gardu induk yang dapat dihubungkan sehingga merupakan rangkaian tertutup dan sumber tenaganya berasal dari satu pusat tenaga listrik.



Gambar. 2.2
Single Line Jaringan Sistem Ring^[6]

3. Interkoneksi

Sistem interkoneksi merupakan gabungan dari pusat pembangkit tenaga listrik melalui jaringan transmisi.



Gambar 2.3
Single Line Jaringan Sistem Interkoneksi^[6]

Tabel. 2.1
Keuntungan dan Kekurangan Jaringan Sistem Radial, Ring, dan Interkoneksi

Jaringan	Keuntungan	Kekurangan
Radial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konstruksi sederhana ▪ Pembangunannya murah ▪ Mudah dalam mengalirkan energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lain 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keandalan kurang baik ▪ Untuk perluasan kurang baik ▪ Jika terjadi gangguan terjadi pemadaman (membukanya pemutus daya substation)
Ring	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontinuitas penyaluran baik ▪ Drop tegangan lebih baik ▪ Untuk perluasan cukup baik ▪ Dapat mensupplay beban dengan kerapatan cukup tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biaya investasinya lebih mahal ▪ Pengaturan sulit dilakukan terutama gardu induk yang letaknya jauh
Interkoneksi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontinuitas penyaluran lebih baik ▪ Handal ▪ Pusat pembangkit tidak perlu bekerja secara optimal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biaya pembangunannya mahal karena menghubungkan beberapa pusat pembangkit

2.2. Gardu Induk Secara Umum^[6]

Gardu induk merupakan salah satu komponen utama dalam suatu proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen. Fungsi dari gardu induk diantaranya adalah^[4] :

1. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan tinggi lainnya (500 KV/150KV, 150 KV/70 KV) atau dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/20KV, 70 KV/20 KV).
2. Pengukuran, pengawas operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan pelayanan beban (daya) ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu-gardu distribusi setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah

Dari fungsi-fungsi tersebut terlihat bahwa peralatan didalam gardu induk harus memiliki keandalan yang tinggi sehingga kualitas tenaga listrik sampai kekonsumen dapat secara optimal dan konsumen tidak merasa dirugikan.

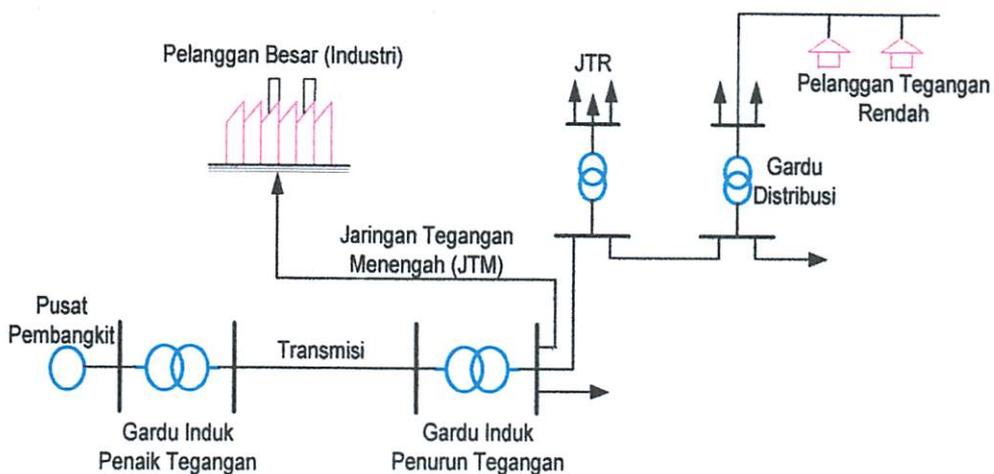
Kontinuitas pelayanan yang baik dan keandalan yang tinggi dari peralatan ditetapkan dengan memperhatikan segi ekonomis dan standar yang berlaku, sehingga keandalan dari peralatan tersebut dapat secara optimal, sedangkan untuk penempatan peralatan direncanakan sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasia dan perawatan dapat dilakukan dengan mudah, aman dan efektif.

Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energy listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi

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

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 system distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

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

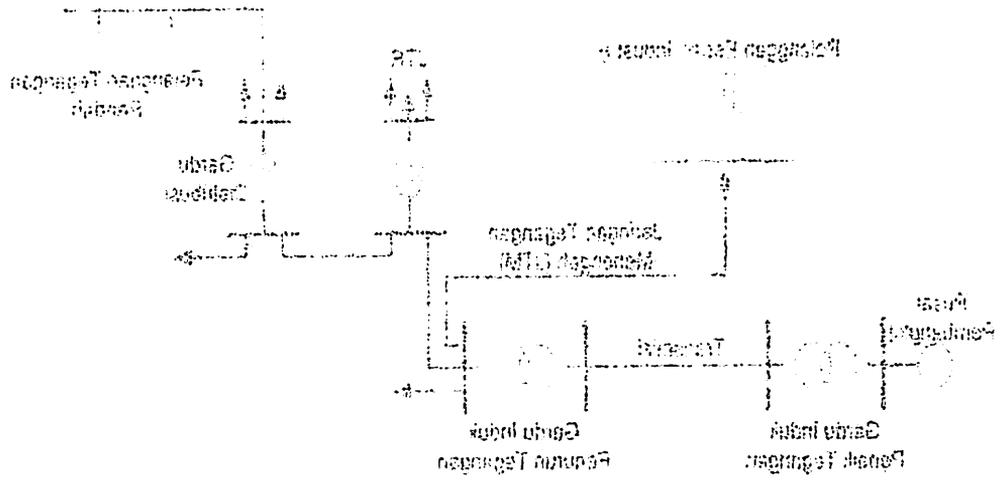


Gambar. 2.4
Skema Penyaluran System Distribusi Tenaga Listrik^[6]

2.2.1 Jenis Gardu Induk^[6]

Gardu induk (GI) diklasifikasikan menurut jenis pasangan luar, pasangan dalam, pasangan setengah luar, jenis pasangan bawah tanah, jenis mobil, dan sebagainya sesuai dengan konstruksinya.

The text in this section is extremely faint and largely illegible. It appears to be a series of paragraphs or a list of items, but the specific content cannot be discerned.



The text in this section is also very faint and difficult to read. It seems to be a continuation of the document's content, possibly providing details or a conclusion related to the diagram above.

1. Gardu Induk Jenis Pasangan Luar

Adalah Gardu Induk yang peralatan tegangan tingginya terpasang di luar {transformator utama, peralatan penghubung (switchgear)} dan sebagainya. Sedangkan peralatan kontrolnya berada didalam seperti meja penghubung (switchboard) dan betere. Jenis pasangan luar memerlukan tanah yang luas tetapi biayanya konstruksinya murah dan pendinginnya mudah karena itu gardu induk jenis ini biasa dipakai dipingir kota dimana harga tanah murah.

2. Gardu Induk Jenis Pasangan Dalam

Adalah gardu induk yang peralatan tegangan tinggi dan peralatan kontrolnya berada didalam. Jenis pasangan dalam ini dipakai dipusat kota dimana harga tanah mahal dan dipakai didaerah pantai ada pengaruh kontaminasi garam.

3. Gardu Induk Jenis Pasangan Bawah Tanah

Adalah gardu induk yang semua peralatannya terpasang didalam bangunan bawah tanah. Jenis ini biasanya dipakai dipusat kota dimana tanah sukar didapatkan, misalnya dibagian kota yang sangat ramai, di jalan-jalan pertokoan dan di jalan-jalan dengan gedung yang bertingkat tinggi.

2.2.2. Gardu Induk Pembangkit Listrik

Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besarnya tidak sama dengan tegangan yang disalurkan pada sistem transmisi, akan tetapi tegangannya masih berkisar antara 11 KV sampai dengan 13,8 KV untuk pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan daya kurang dari 400 MVA/unit. Sedangkan pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan daya di atas 400 MVA/unit, tegangan yang dihasilkan (output voltage) adalah antara 18 KV sampai dengan 24 KV. Tegangan tersebut tidak langsung disalurkan (ditransmisikan) ke

Small Business Administration (SBA) is a federal agency that provides support and assistance to small businesses.

The SBA's primary mission is to help small businesses start, grow, and succeed.

It offers a variety of services, including counseling, training, and financial assistance.

The SBA also plays a key role in representing small businesses in federal government contracts.

By providing these services, the SBA helps small businesses contribute to the economy.

Small businesses are the backbone of the U.S. economy, and the SBA is committed to their success.

Small Business Administration (SBA) Overview

The Small Business Administration (SBA) is a federal agency that provides support and assistance to small businesses.

Its primary mission is to help small businesses start, grow, and succeed.

The SBA offers a variety of services, including counseling, training, and financial assistance.

Small Business Administration (SBA) Services

The SBA provides a variety of services to help small businesses start, grow, and succeed.

These services include counseling, training, and financial assistance.

The SBA also plays a key role in representing small businesses in federal government contracts.

By providing these services, the SBA helps small businesses contribute to the economy.

Small Business Administration (SBA) Programs

The SBA offers a variety of programs to help small businesses start, grow, and succeed.

These programs include counseling, training, and financial assistance.

The SBA also plays a key role in representing small businesses in federal government contracts.

By providing these programs, the SBA helps small businesses contribute to the economy.

Small businesses are the backbone of the U.S. economy, and the SBA is committed to their success.

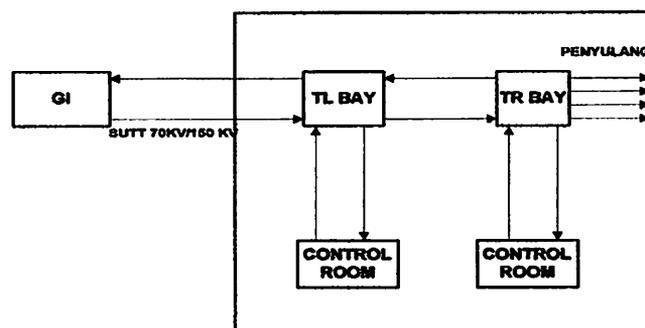
The SBA's primary mission is to help small businesses start, grow, and succeed.

It offers a variety of services, including counseling, training, and financial assistance.

pusat-pusat beban, akan tetapi masih dinaikkan terlebih dahulu dengan menggunakan trafo penaik tegangan (step up transformer) menjadi tegangan 150 KV atau 500 KV, tergantung pada transmisi yang akan dimasuki. Dengan demikian di lokasi pembangkit tenaga listrik tersebut harus ada gardu induk. Dari gardu induk inilah, selanjutnya energi listrik tersebut disalurkan ke gardu induk di pusat-pusat beban melalui jaringan transmisi SUTET 500 KV, SUTT 150 KV dan SUTT 70 KV.

Di dalam gardu induk pembangkit listrik ini selain terdapat energi listrik yang ditransmisikan melalui sistem tegangan tinggi, juga terdapat energi listrik tegangan menengah dan rendah untuk pemakaian sendiri, misalnya untuk penerangan pada pembangkit tenaga listrik dan lingkungan sekitarnya, untuk menggerakkan sistem proteksi dan juga untuk kepentingan lainnya untuk menunjang operasional pembangkit listrik tersebut serta gardu induknya.

Gardu induk yang ada di pelanggan pada umumnya terdiri dari dua sisi yang dipisah, yaitu sisi transmision line bay (TL Bay) yang biasa disebut gardu induk pelanggan sisi PLN, dan sisi trafo bay (TR Bay) yang biasa disebut gardu induk pelanggan sisi pelanggan. Dengan demikian akan terdapat dua ruang control (control room), yaitu control room TL Bay dan control room TR Bay.



Gambar. 2.5
Bagan Sistem Tenaga Listrik untuk Pelayanan Pelanggan Besar^[6]

2.2.3. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah bagian dari system tenaga listrik yang terdiri dari trafo tenaga dengan peralatan penghubung dan pemutus tenaga serta peralatan hubung bagi tegangan rendah yang terletak pada suatu bangunan / konstruksi.

- Trafo tenaga berfungsi sebagai pembagi daya sekaligus sebagai penurun tegangan atau atep down. Trafo tenaga ini dilindungi oleh pemutus tenaga yang bernama cut out dan saklar pemisah.
- PHB TR adalah perlengkapan gardu distribusi pada sisi tegangan rendah yang berfungsi sebagai panel distribusi unit konsumen tegangan rendah dan unit keperluan penerangan jalan umum.
- Pada trafo distribusi ini ada 3 sistem pentanahan, yaitu :
 - Pentanahan untuk pengaman tegangan lebih karena sambaran petir.
 - Pentanahan netral untuk mengambil system netral dari tanah.
 - Pentanahan sebagai pengamanan terhadap kebocoran arus.

Klasifikasi berdasarkan distribusi pemasanganya :

- Gardu distribusi trafo pada bangunan.

Jenis ini trafo tenaga dan PHB TR nya dipasang pada bangunan beton bertulang. Sistem pendinginanya secara alami melalui lubang angin yang ada dibagian atas atau bawah dari bangunan. Bangunan ini diberi pintu yang selalu terkunci. Peralatan berada didalam bangunan. Jadi termasuk dalam (*indoor*). Ruangan terbagi dua yaitu ruang disisi tegangan tinggi dan ruangan sisi tegangan rendah. Pada sisi tegangan tinggi terdapat, rel, penghubung pemutus dan trafo tenaga. Pada sisi tegangan rendah terdapat PHB TR dan peralatan lain.

- Gardu trafo distribusi pada bangunan distribusi

Jenis gardu induk ini pemasangannya bersifat sementara, terdiri dari :

1. Penggantian gardu trafo yang sedang mengalami perbaikan / perubahan kapasitas daya.
2. Penambahan diluar gardu trafo yang sudah ada karena adanya beban yang sangat meningkat.

- Gardu trafo tiang Fortial

Gardu jenis ini semua peralatannya terpasang diluar (*out door*), sehingga semua peralatan harus kedap air. Trafo tenaga ditumpu oleh dua tiang yang dipasang kuat. PMB TR terpasang dibagian bawahnya. Instalasi listrik dilindungi dengan baik bila ada kemungkinan kebocoran arus. Selain itu secara mekanik juga terlindungi dengan baik. Jenis gardu ini dibangun didaerah yang sering terkena bencana banjir atau daerah pedesaan, mengingat biaya banguannya relatif murah, kapasitas daya trafo maximal 160 – 20 KV

2.2.4. Komponen dan Fasilitas Gardu Induk

1. Rel (bus bar)
2. Transformator daya
3. Pemisah, PMS (*Disconnecting Switch, DS*)
4. Pemutus Tenaga, PMT (*Circuit Breaker, CB*)
5. Trafo Arus (*Current Transformer, CT*)
6. Trafo Tegangan (*Potensial Transformer, PT*)
7. Arester
8. Band Trapp (*Wave trapp*)
9. *Coupling Capacitor Device, CCD*

10. Reaktor

11. Kapasitor Daya

2.3. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik^[4]

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^[4]:

- 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.

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.

Investment in the future

The first step in the process of investment is the identification of the investment opportunity. This is often done through market research and analysis, which helps to determine the potential return on investment and the associated risks. Once an opportunity has been identified, the next step is to evaluate the investment. This involves a thorough analysis of the investment's financial performance, its competitive advantage, and the overall market conditions.

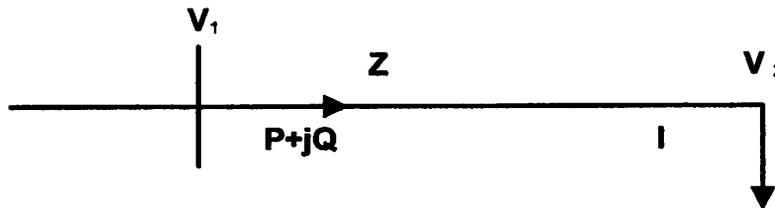
After the investment has been evaluated, the next step is to develop an investment strategy. This strategy should take into account the investor's goals, risk tolerance, and the time horizon of the investment. The strategy should also consider the current market conditions and the potential for future growth. Once the investment strategy has been developed, the next step is to execute the investment. This involves the purchase of the investment asset, which can be done through a variety of methods, including direct purchase, brokerage, or mutual funds.

Finally, the last step in the investment process is to monitor the investment. This involves tracking the investment's performance over time and making adjustments as needed. This can be done through regular reviews and reports, which help to ensure that the investment is performing as expected and that the investor is able to make informed decisions about the investment's future.

2.4. Kualitas Tegangan^[6]

Keseimbangan daya reaktif yang dihasilkan dan digunakan harus dapat dipertahankan agar tidak terjadi perubahan tegangan. Bila besaran tegangan ini mengalami perubahan, maka daya reaktif pada simpul tersebut tidak dapat dipertahankan lagi. Ini perlu aliran daya reaktif pada sistem.

Dari gambar dibawah ini terlihat bahwa pembangkit memberikan daya sebesar $P + jQ$ ke beban. Misalkan R dianggap jauh lebih kecil dari X , maka resistansi saluran dapat diabaikan. Sehingga impedansi saluran dituliskan $Z = jX$.



Gambar 2.6
Aliran Daya Melalui Saluran Pendek^[6]

Jatuh tegangan yang terjadi sepanjang saluran disebabkan oleh adanya impedansi sehingga hubungan yang terjadi :

$$V_2 = V_1 - I.Z \dots\dots\dots (2.1)$$

Karena daya yang mengalir pada simpul I adalah $P + jQ$, maka :

$$I = \frac{P + jQ}{V_1^*} \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika V_1 dipilih sebagai referensi maka dapat dianggap mempunyai sudut nol maka persamaan menjadi :

$$I = \frac{P - jQ}{V_1} \dots\dots\dots (2.3)$$

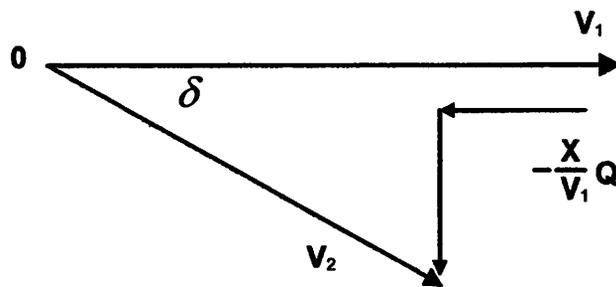
Substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) diperoleh :

$$V_2 = V_1 - \left(\frac{P - jQ}{V_1} \right) \cdot Z \dots\dots\dots (2.4)$$

$$V_2 = V_1 - \left(\frac{jXP}{V_1} + \frac{XQ}{V_1} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_2 = V_1 - \frac{X}{V_1} Q - j \frac{X}{V_1} P \dots\dots\dots (2.6)$$

Persamaan diatas dapat dilihat dalam bentuk gambar sebagai berikut :



Gambar 2.7
Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif

Dari persamaan diatas dapat dijelaskan :

1. Perubahan daya aktif ΔP pada dasarnya hanya mempengaruhi sudut fasa tegangan sedangkan magnitude tegangan hampir tidak berubah.
2. Perubahan daya reaktif ΔQ pada dasarnya hanya mempengaruhi magnitude tegangan [V] dan hampir tidak berpengaruh pada sudut fasa tegangan.

2.5. Kualitas Daya Elektrik^[2]

2.5.1. Klasifikasi Kualitas Daya

Istilah kualitas daya digunakan secara luas dalam fenomena elektromagnetik pada system daya. Peningkatan penggunaan peralatan elektronika telah memberikan keinginan yang sangat tinggi dalam menganalisis kualitas

system dengan pengembangan terminologi khusus untuk menggambarkan fenomena tersebut^[6].

Gangguan pada kualitas daya elektrik dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Transien tegangan lebih : Transien tegangan lebih ini berupa transien implus yang disebabkan oleh sambaran petir dan transien osilasi disebabkan oleh energisasi kapasitor bank, energisasi saluran dan Transformator.
2. Gangguan Variasi tegangan : gangguan variasi tegangan ini disebabkan pengasutan motor mengakibatkan terjadinya tegangan seperti *voltage Dip*, *Swell* dan interupsi.
3. Distorsi Harmonisa : Harmonisa ini muncul sebagai akibat dari beroperasinya beban nonlinier satu fasa dan harmonisa ketiga serta beban nonlinier tiga fasa.
4. Fluktuasi Tegangan : Gangguan ini disebabkan oleh adanya flicker dan gangguan tidak seimbang.

Dengan semakin tingginya biaya atau tarif listrik, maka tuntutan keandalan kualitas daya listrik menjadi pertimbangan utama. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh penggunaan jenis-jenis beban tertentu, salah satunya pemakaian beban non linier. Dengan adanya pengoperasian beban seperti ini maka akan menghasilkan kualitas tegangan yang buruk dan dampaknya mempengaruhi kualitas daya, sehingga menimbulkan banyak kerugian-kerugian. Untuk mendapatkan kualitas tenaga listrik yang baik, maka perlu dilakukan langkah-langkah perbaikan kualitas daya, yaitu dengan cara melakukan audit *power quality* guna menentukan langkah-langkah serta upaya yang tepat untuk mengurangi kualitas tegangan yang buruk, contohnya dengan menggunakan alat kompensasi.

Sehingga kerugian dapat diminimalkan agar kualitas tenaga listrik dapat optimal sehingga kontinuitas pelayanan semakin terjaga^[6].

Tabel. 2.2
Standart Kualitas Daya (IEE 519 Voltage Limits)

Bus Voltage (PCC Voltage)	Maximum Individual Harmonic Components (%)	Maximum THD (%)
69 kV ke bawah	3	5
115 – 161 kV	1,5	2,5
Diatas 161 kV	1	1,5

Ket : PCC (Point of Common Coupling)
THD (Total Harmonic Distortions)

2.5.2. Variasi Tegangan^[2]

Variasi tegangan dibagi dalam dua kategori yaitu variasi tegangan dalam durasi pendek dan durasi panjang. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang dominan dari variasi tegangan yang berdurasi pendek. Sedangkan gangguan dalam durasi panjang umumnya sebagai akibat dari perubahan pada konfigurasi sistem daya, seperti penyambungan beban-beban besar atau pengoperasian peralatan regulasi tegangan yang tidak sesuai. Beberapa kejadian seperti pengasutan langsung motor-motor berbeban besar yang dapat menimbulkan variasi tegangan yang bisa dikategorikan sebagai variasi tegangan durasi pendek atau panjang, sangat tergantung dari waktu yang digunakan untuk mengasut motor hingga mencapai kecepatannya. Motor induksi akan menarik arus sebesar 6 hingga 10 kali arus beban penuhnya selama pengasutan. Jika besaran arus relatif lebih besar dari arus gangguan yang terjadi pada sistem pada titik tertentu, maka akan mengakibatkan tegangan *sag* yang signifikan. Dalam kasus

1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

2. The second part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

3. The third part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

4. The fourth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

5. The fifth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

6. The sixth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

7. The seventh part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

8. The eighth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

9. The ninth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

10. The tenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

11. The eleventh part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

12. The twelfth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

13. The thirteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

14. The fourteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

15. The fifteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

16. The sixteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

17. The seventeenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

18. The eighteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

19. The nineteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

20. The twentieth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

21. The twenty-first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

22. The twenty-second part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

23. The twenty-third part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

24. The twenty-fourth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

25. The twenty-fifth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

26. The twenty-sixth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

27. The twenty-seventh part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

28. The twenty-eighth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

ini tegangan sag tiba-tiba menurun hingga 80 % dan kemudian secara perlahan kembali ke besaran normal dalam waktu tiga detik .

Variasi tegangan dan interupsi sulit dicegah pada sistem daya, karena hal ini terjadi selama terjadinya gangguan pada sistem daya. Karena gangguan ini tidak mungkin diselesaikan secara menyeluruh sehingga variasi tegangan akan selalu muncul.

1. Variasi tegangan durasi panjang

Variasi tegangan dalam durasi lama dapat berupa tegangan lebih (*Over Voltage*) atau tegangan rendah (*Under voltage*). Kedua kondisi ini pada umumnya bukan sebagai akibat dari gangguan sistem, akan tetapi disebabkan oleh variasi beban pada sistem dan sistem operasi pensaklaran (*switching*). Variasi tegangan ini dinyatakan dalam besaran tegangan *rms* terhadap waktu.

a. Tegangan lebih (*Over Voltage*)

Tegangan lebih merupakan kenaikan nilai tegangan *rms* yang lebih besar dari pada 110 % dalam durasi yang lebih dari 1 menit. Tegangan lebih pada umumnya sebagai akibat dari *switching* beban (pelepasan beban yang besar atau energisasi kapasitor bank). Tegangan lebih juga terjadi karena sistem tidak mampu (lemah) terhadap regulasi tegangan atau pengaturan tegangan yang tidak sesuai. Penyetingan tap transformator yang tidak sesuai dapat juga menyebabkan terjadinya tegangan lebih pada sistem.

b. Tegangan Rendah (*Under Voltage*)

Tegangan rendah merupakan penurunan nilai tegangan *rms* lebih kecil dari 90 % dalam durasi waktu yang lebih dari 1 menit. Tegangan rendah sebagai akibat adanya pensaklaran masuk beban atau pelepasan kapasitor bank

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

hingga peralatan regulasi tegangan pada sistem mengembalikan tegangan ke batas toleransi yang diperbolehkan. Sirkuit yang terbebani lebih dapat menyebabkan terjadinya tegangan rendah.

c. Interupsi Permanen

apabila tegangan suplai mencapai nilai nol dan berlangsung dalam waktu melebihi 1 menit, variasi tegangan dalam durasi panjang dipandang sebagai interupsi bertahan. Interupsi tegangan yang melebihi 1 menit biasanya merupakan gangguan yang permanen dan membutuhkan intervensi manusia dalam pemulihannya.

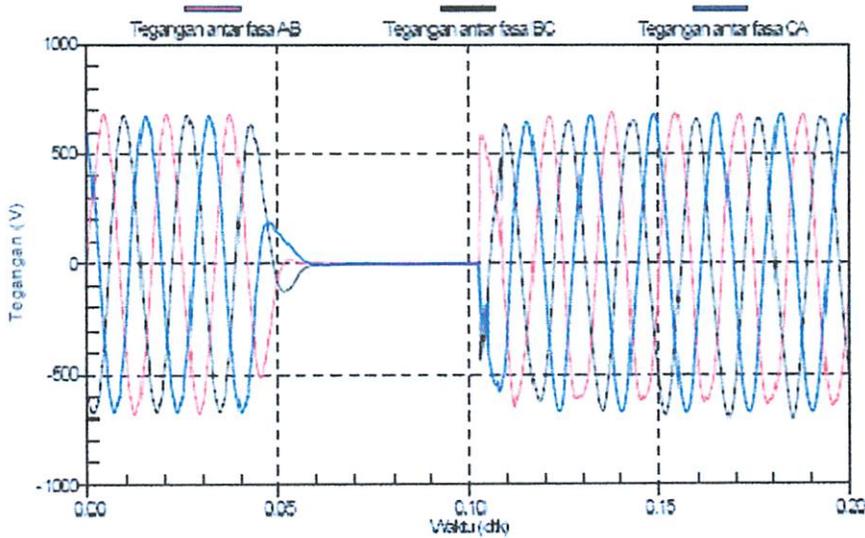
2. Variasi tegangan Durasi pendek

Variasi tegangan durasi pendek disebabkan oleh kondisi gangguan, energisasi beban besar yang membutuhkan arus awal yang besar, atau terjadinya kehilangan sambungan sementara pada pengawatan sistem. Tergantung dari lokasi gangguan dan kondisi sistem, gangguan ini dapat berupa jatuh tegangan temporer (*sag*) atau kenaikan tegangan (*swell*), atau terjadi kehilangan tegangan sama sekali (interupsi). Lokasi gangguan bisa dekat atau jauh dari titik yang ditinjau. Dalam kasus lain dampak pada tegangan selama terjadinya kondisi gangguan yang sebenarnya adalah variasi dalam durasi yang singkat hingga peralatan proteksi memulihkan gangguan.

a. Interupsi

suatu interupsi terjadi ketika tegangan suplai atau arus beban mengalami penurunan hingga dibawah 0,1 pu dalam periode waktu yang tidak melebihi satu menit. Interupsi dapat terjadi karena adanya gangguan sistem, kegagalan peralatan dan tidak berfungsinya alat kontrol. Interupsi diukur

dengan durasi waktu karena besaran tegangan selalu lebih kecil dari 10% tegangan nominal. Durasi suatu interupsi yang disebabkan gangguan pada sistem utility ditentukan waktu operasi dari peralatan proteksi utility.



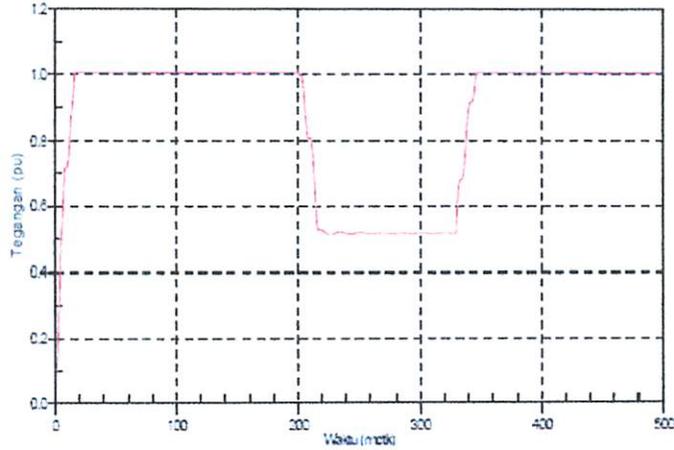
Gambar. 2.8
Profil Tegangan Interupsi Sesaat pada Sisi Pemakai^[2]

Penutupan sesaat (instantaneous reclosing) umumnya akan membatasi interupsi yang disebabkan oleh gangguan tidak permanen lebih kecil dari 30 siklus. Penundaan penutupan dari peralatan proteksi dapat menyebabkan interupsi temporer. Durasi interupsi yang disebabkan oleh gagal berfungsinya peralatan atau kehilangan koneksi bisa tidak tentu.

Beberapa interupsi terjadi setelah terlebih dahulu adanya penurunan tegangan (sag) dan interupsi seperti ini terjadi karena adanya gangguan pada sistem sumber. Penurunan tegangan terjadi antara waktu awal gangguan dan waktu beroperasinya peralatan proteksi

b. Penurunan Tegangan (*Sag*)

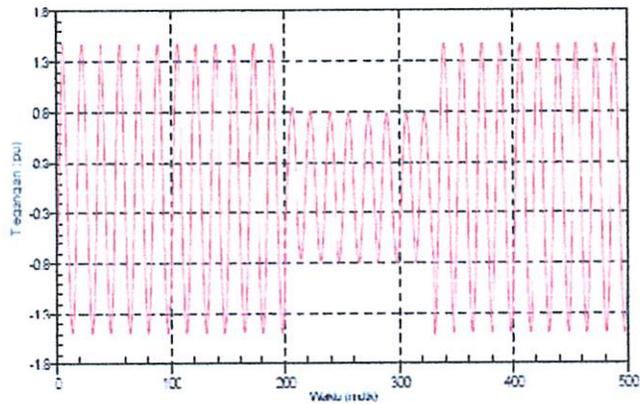
Penurunan tegangan (*sag*) merupakan penurunan tegangan *rms* sesaat berkisar antara 0.1 pu hingga 0.9 pu pada frekuensi daya dengan durasi antara 0.5 siklus hingga 1 menit. Variasi tegangan seperti penurunan tegangan dan interupsi tegangan temporer merupakan dua masalah kualitas daya yang sangat penting bagi konsumen. Konsumen mengerti bahwa interupsi tidak dapat dicegah secara menyeluruh pada sistem daya, namun konsumen tidak memberikan sedikit toleransi terhadap peristiwa ini bila terjadi kegagalan operasi dari peralatannya dengan adanya gangguan temporer yang sering terjadi hingga terjadi pemadaman. Gangguan tegangan ini dikarakteristikan oleh perubahan besaran tegangan dalam durasi singkat yang dirasakan oleh konsumen. Sebagai efek yang dirasakan oleh konsumen sangat tergantung pada besaran tegangan selama terjadinya gangguan, lama terjadinya gangguan, dan sensitifitas dari peralatan konsumen. Penurunan tegangan biasanya terjadi karena gangguan pada sistem, juga adanya enerjisasi beban-beban berat atau pengasutan motor induksi yang besar. Gambar 18a berikut ini memperlihatkan variasi penurunan tegangan yang disebabkan oleh gangguan fasa ke tanah (SLG) pada feeder lain di *substasion* yang sama.



Gambar. 2.9

Profil Variasi Tegangan RMS Saat Terjadi Gangguan Fasa ke Tanah^[2]

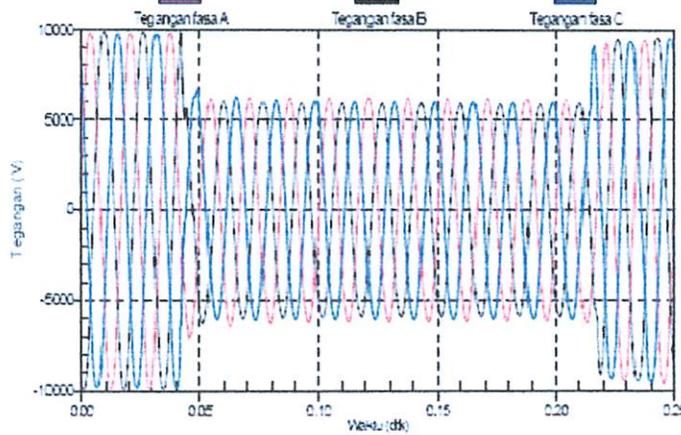
Gambar dibawah memperlihatkan profil penurunan tegangan karena adanya gangguan fasa ke tanah yang berlangsung sekitar 125 mdetik.



Gambar. 2.10

Profil Tegangan karena Gangguan Fasa ke Tanah^[2]

Penurunan tegangan juga dibagi dalam tiga kategori, yaitu penurunan tegangan sesaat, penurunan tegangan sementara dan penurunan tegangan temporer. Gambar 19 berikut ini memperlihatkan profil penurunan tegangan yang disebabkan oleh gangguan yang terjadi pada lokasi yang jauh.



Gambar. 2.11

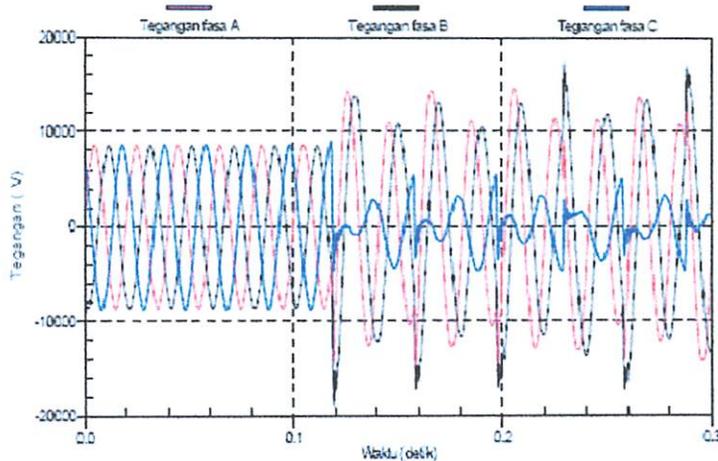
Profil Tegangan (*Sag*) karena adanya Gangguan pada Tempat yang Jauh^[2]
 c. Kenaikan Tegangan (*Swell*)

Durasi kenaikan tegangan terbagi dalam tiga kategori yaitu sesaat (*instantaneous*), sementara (*momentary*), dan temporer (*temporary*) yang juga terbagi dalam kategori interupsi (*interruptions*) kenaikan tegangan (*swells*). Kenaikan tegangan (*swell*) didefinisikan sebagai kenaikan tegangan atau arus *rms* antara 1.1 pu hingga 1.8 pu pada frekuensi daya selama durasi waktu 0.5 siklus hingga 1 menit. Seperti halnya penurunan tegangan, kenaikan tegangan biasanya berhubungan dengan kondisi gangguan sistem, tetapi tidak umum seperti kenaikan tegangan. Suatu hal yang bisa dilihat bahwa kenaikan tegangan dapat terjadi karena kenaikan tegangan temporer pada fasa yang tidak mengalami gangguan selama terjadinya gangguan satu fasa ke tanah (*SLG*). Kenaikan tegangan juga dapat terjadi karena adanya pelepasan beban yang besar (*switch off*) atau energisasi suatu kapasitor bank yang besar

Kenaikan tegangan dikarakteristikan oleh besaran nilai *rms* dan durasi waktunya. Karakteristik dari penurunan tegangan selama kondisi gangguan

merupakan fungsi dari lokasi gangguan, impedansi sistem, dan pentanahan. Pada sistem yang tidak ditanahkan, dengan impedansi urutan nol yang tak terbatas, tegangan fasa ke tanah pada fasa yang tidak ditanahkan menjadi 1.73 per-unit selama gangguan satu fasa ke tanah. Kenaikan tegangan sesaat kurang umum dibandingkan penurunan tegangan sesaat dan besarnya tidak terlalu tinggi. Penyebab yang paling umum munculnya kenaikan tegangan karena kondisi gangguan satu fasa ke tanah. Selama gangguan satu fasa ke tanah, tegangan pada fasa yang tidak terganggu akan mengalami kenaikan tegangan sehubungan adanya impedansi urutan nol. Pada sistem yang tidak ditanahkan, tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan dapat meningkat hingga 173%. Pada hampir sebagian besar sistem, kenaikan tegangan lebih kecil dari 144%. Kenaikan tegangan dapat di kontrol oleh transformator tegangan konstan. Saluran daya aktif dengan elemen seri dapat juga mengontrol kenaikan tegangan.

Pendekatan terhadap gardu induk (*substation*) pada sistem yang ditanahkan, akan ada tegangan kecil atau sama sekali tidak ada tegangan yang muncul pada fasa yang tidak terjadi gangguan karena transformator substation biasanya terkoneksi delta-wye, yang memberikan alur impedansi urutan nol yang rendah untuk arus gangguan. Gangguan pada titik yang berbeda sepanjang 4 kawat, feeder dengan multi pentanahan akan mempunyai variasi derajat kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gambar 2.12 berikut ini memperlihatkan profil kenaikan tegangan yang terjadi pada fasa yang tidak terganggu pada gangguan satu fasa ke tanah pada suatu feeder distribusi.



Gambar. 2.12

Profil Kenaikan Tegangan pada Dua Fasa karena Adanya Gangguan Satu Fasa ke Tanah^[2]

2.5.3. Besar Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)^[8]

Jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 kV diakibatkan oleh nilai resistansi dan reaktansi dari saluran. Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada:

- Penyulang utama 7%
- Trafo distribusi 4%
- JTR 5%
- Sambungan Rumah 2%

Jumlah 18%

Sesuai dengan definisi, jatuh tegangan adalah:

$$\Delta V = V_k - V_t \dots\dots\dots(2.7)$$

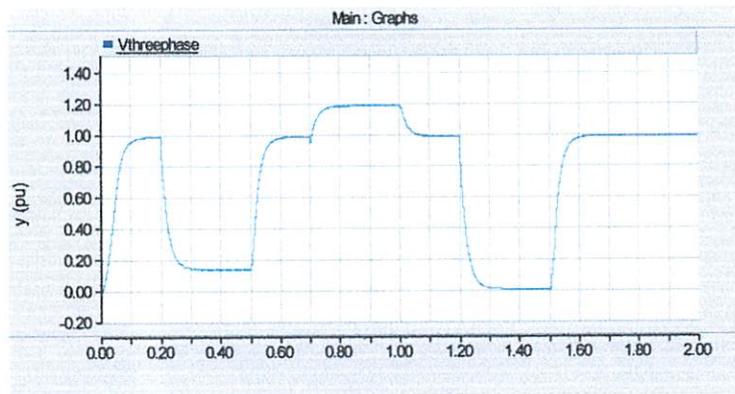
Dengan,

V_k = nilai mutlak tegangan ujung kirim

V_t = nilai mutlak tegangan ujung terima

2.5.4. *Voltage Sag* dan *Voltage Swell*^[5]

Kebutuhan akan energi listrik yang terus berkembang menghendaki suatu kontinuitas pencatutan dan juga memerlukan kualitas dari bentuk tegangannya. Gangguan terhadap tegangan yang biasa terjadi antara lain, *Voltage Sag*, *Voltage Swell*, fluktuasi tegangan, harmonisa, dan juga ketidakseimbangan tegangan. Gangguan yang sangat berpengaruh pada kualitas tegangan adalah *Voltage Sag* dan *Voltage Swell*.

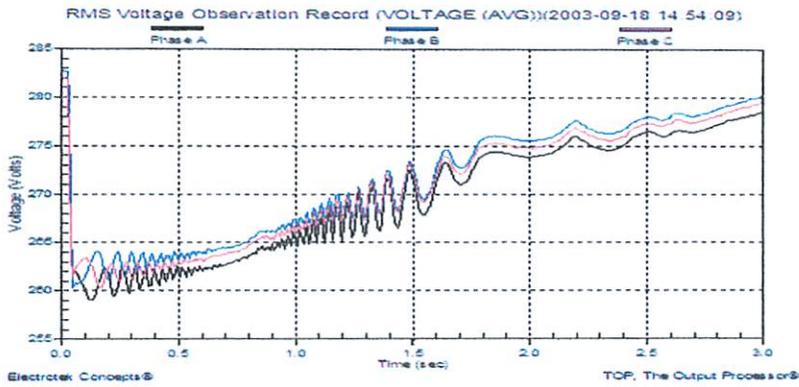


Gambar. 2.13
Ilustrasi *Voltage Sag* dan *Voltage Swell*^[5]

2.5.5. Penyebab *Voltage Sag*^[2]

Voltage Sag atau *Voltage Dip* merupakan penurunan tegangan pada frekuensi daya antara 0.1 dan 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit yang disebabkan oleh :

1. Starting beban-beban yang besar seperti motor listrik, dimana hal ini akan menghasilkan perubahan yang cepat dari tegangan.



Gambar 2.14

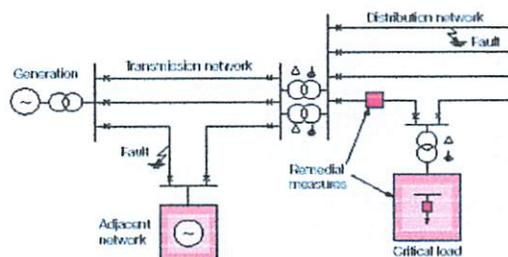
Ilustrasi *Voltage Sag* Gambar di atas menunjukkan suatu besaran rms *voltage sag* untuk suatu peristiwa *motor starting*. Peristiwa ini direkam dengan *Dranetz-BMI 5530 Data Node*^[4].

2. Saat de-energisasi kapasitor
3. Gangguan hubung singkat
4. Pengoperasian pemanas elektrik
5. Umumnya karena adanya kehilangan koneksi

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 2.15

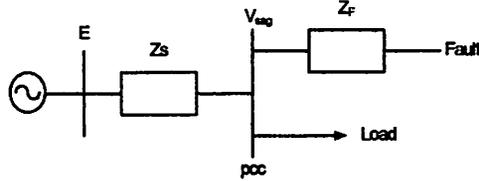


Gambar. 2.15

Gambaran Terjadinya *Voltage Sag*^[4]

2.5.6. Perhitungan Nilai *Voltage Sag* dan *Voltage Swell* Sistem

Untuk menghitung besaran *voltage sag* dan *voltage swell* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 2.16



Gambar. 2.16
Model Pembagi Tegangan untuk *Voltage Sag* dan *Voltage Swell*^[4]

Dari Gambar 2.16 diatas dilihat adanya 2 impedansi yaitu; Z_s (impedansi sumber pada titik kopling bersama) dan Z_f (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan). Titik kopling bersama (*point of common coupling* atau PCC) adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi off dari arus gangguan. Jadi besaran kedip tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{sag} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} * E \dots\dots\dots(2.8)$$

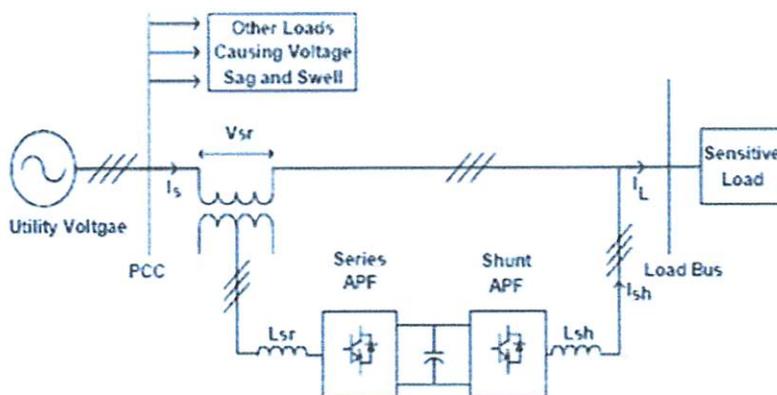
Persamaan 1 dapat digunakan untuk menghitung besaran *voltage sag* sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karenanya dinyatakan $Z_f = Z * L$, dimana Z adalah impedansi dari saluran per unit panjang dan L adalah jarak antara kesalahan dan PCC. Besaran kedip tegangan sebagai fungsi dari jarak terhadap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

$$V_{sags} = \frac{zL}{Z_s + zL} * E \dots\dots\dots(2.9)$$

Perhitungan nilai *voltage sag* di atas juga dapat diterapkan untuk perhitungan *voltage swell*^[5].

2.6. Unified Power Quality Conditioner^[1]

Unified Power Quality Conditioner, merupakan konsep baru suatu kompensator yang dapat memperbaiki kualitas daya dalam system tenaga listrik. Selain itu juga kompensator UPQC ini dapat mengkompensasi kerugian daya reaktif, arus harmonic, *voltage sag dan swell*, ketidak seimbangan tegangan, dan gangguan tegangan(*voltage interruption*). Keandalan dari suatu sistim dapat dianalisa memakai simulasi-simulasi *software PSCAD power system simulation*. Kelayakan pelaksanaan system ini pada awalnya adalah digunakan yang bersifat percobaan. Namun pada akhirnya kompensator UPQC mempunyai kemampuan untuk perbaikan kualitas daya, hampir pada instalasi di sistem distribusi daya dan sistem daya industry pada umumnya. UPQC, adalah kombinasi filter daya aktif shunt dan series (APF), adalah solusi terbaik untuk mengurangi *voltage sag dan swell* di jaringan distribusi. Analisis itu didasarkan pada daya aktif dan reaktif yang mengalir bersama filter daya shunt dan series (APF), dimana di dalam series APF juga dapat menyerap atau mengirim daya aktif sedangkan daya reaktif secara total ditangani oleh shunt APF sendiri dalam semua kondisi.



Gambar. 2.17
Skema Unified Power Quality Conditioner^[1]

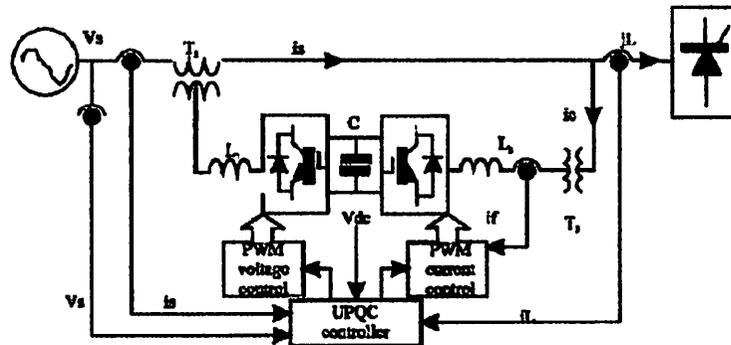
2.7. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida^[9]

2.7.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarkan PWM diterangkan pada bagian ini.. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban. Tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. Strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. Pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan (δ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut δ . Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC. Parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi (m_a) pada sinyal $V_{control}$, dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi (m_f). Index Amplitudo M_a dipertahankan tetap pada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tagangan tinggi pada pengontrol keluaran. Frekwensi *Switching* ditetapkan pada 450 Hz, $M_f= 9$, dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A. Untuk fasa B dan C dengan pergeseran berturut-turut 120° dan 240° . Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan

The first part of the document is a list of names and titles, including "The Hon. Mr. Justice" and "The Hon. Mr. Justice". The text is very faint and difficult to read, but it appears to be a list of names and titles, possibly a list of judges or officials. The names are arranged in a list format, with some names appearing on multiple lines. The text is very faint and difficult to read, but it appears to be a list of names and titles, possibly a list of judges or officials.

menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan.



Gambar. 2.18
Diagram Rangkaian Kontrol PWM dengan UPQC^[9]

2.8. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)^[9]

2.8.1. 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.

2.8.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

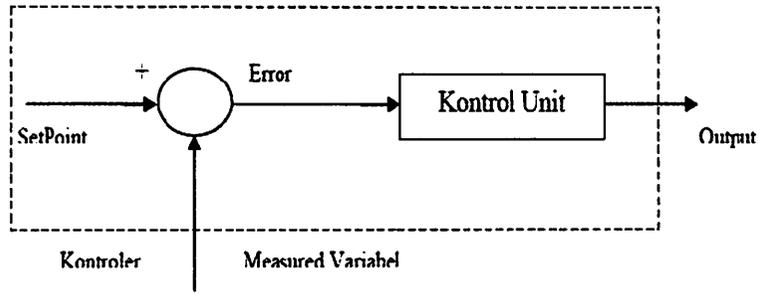
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh

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 (*automatik 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*.

2.8.3. 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. 2.19
Kontroler dan Diagram Kotaknya^[9]

2.8.4. Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)^[9]

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 2.20. 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

...

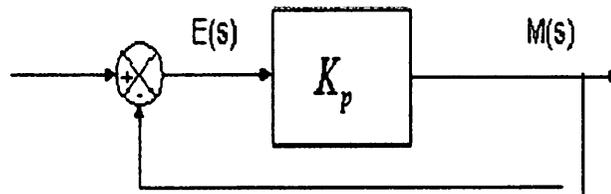
...

...

...

...

positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar. 2.20
Diagram Blok Kontroler Proporsional^[9]

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 :

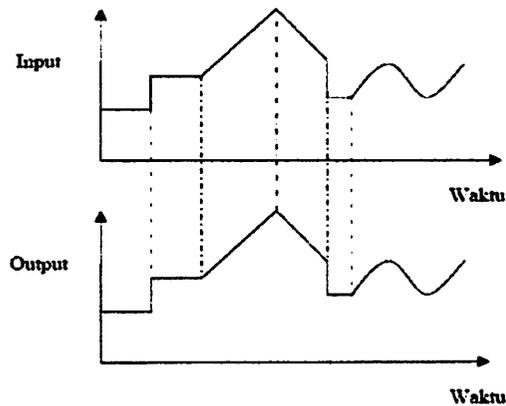
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

PB = Proporsional Band

K_p = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.7 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. 2.21
Response Sebuah Pengendali Proporsional^[9]

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.

2.8.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*)^[9]

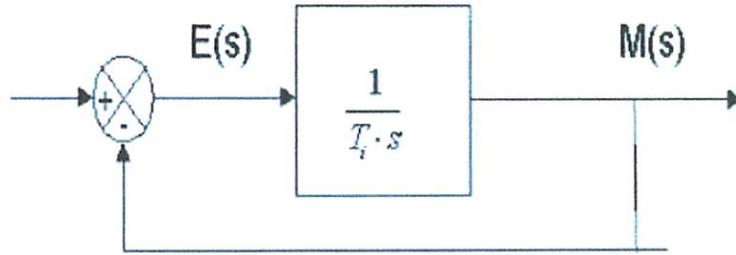
Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain 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.

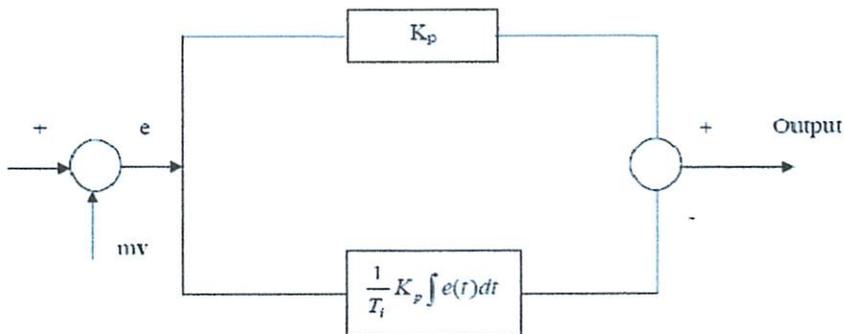
Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



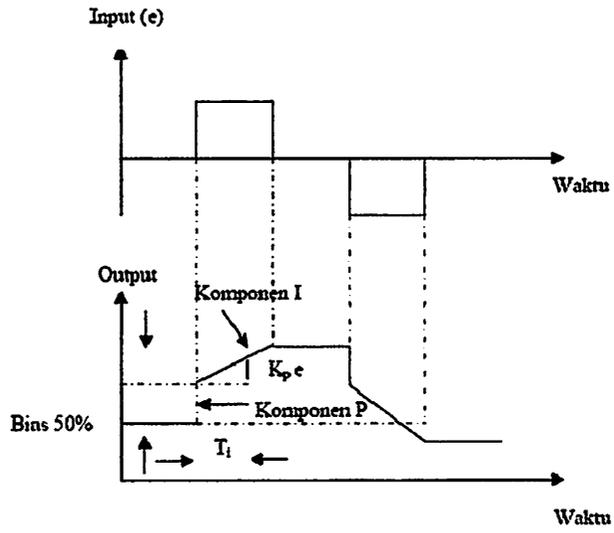
Gambar. 2.22
Blok Diagram Kontroler Integral^[9]

2.8.6. Pengendali Proporsional Integral (PI Controller)^[9]

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 2.22) Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



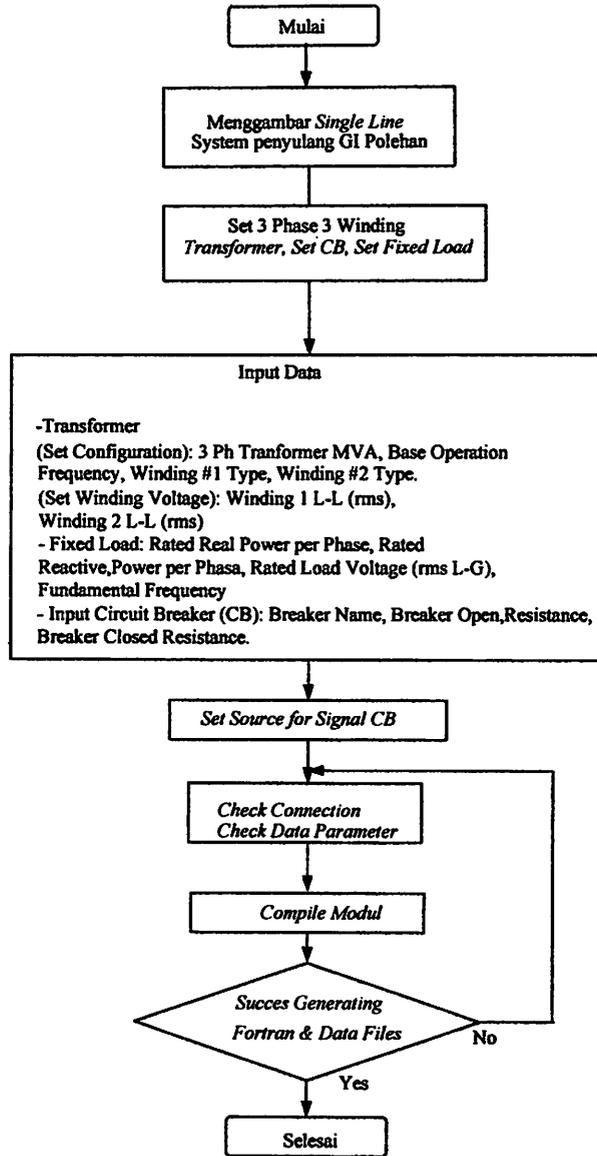
Gambar. 2.23
Diagram Kotak Pengendali PI^[9]



Gambar. 2.24
 Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu^[9]

BAB III METODE ANALISA

3.1. Flowchart Simulasi System Penyulang GI Polehan



Gambar. 3.1
Flowchart Pembuatan Single Line Diagram System GI Polehan

3.1.1 Menggambar Single Line Dengan Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation

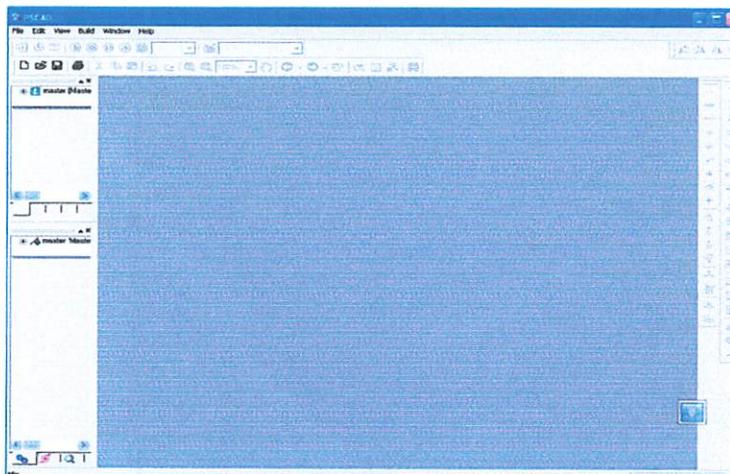
PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar

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 governors*

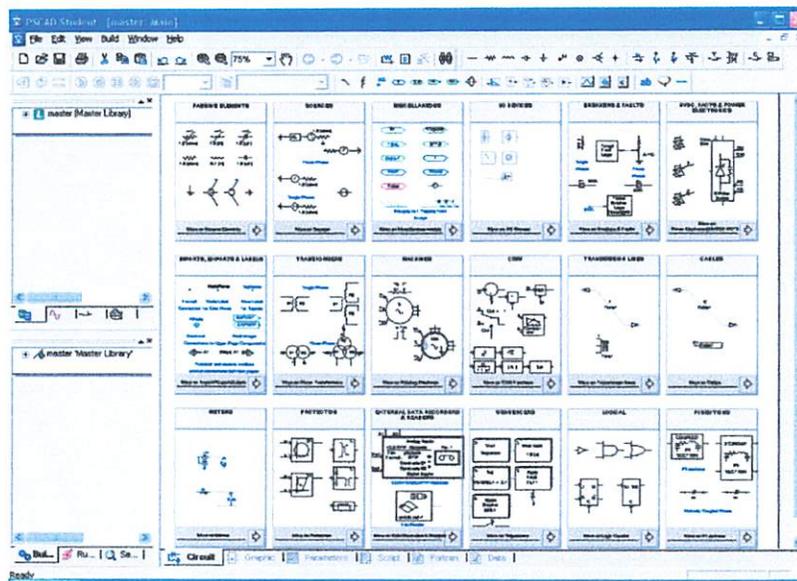
3.1.2. Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation



Gambar. 3.2

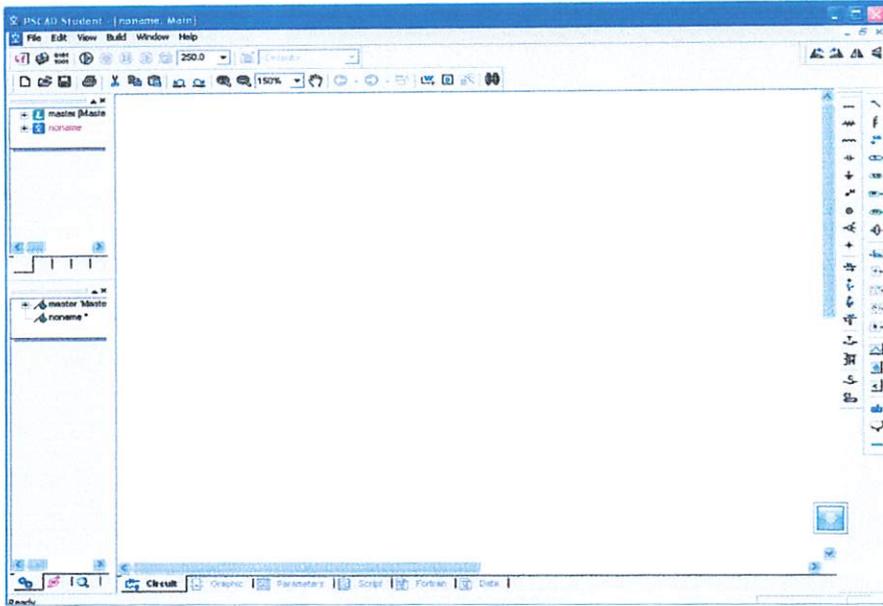
Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- 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.



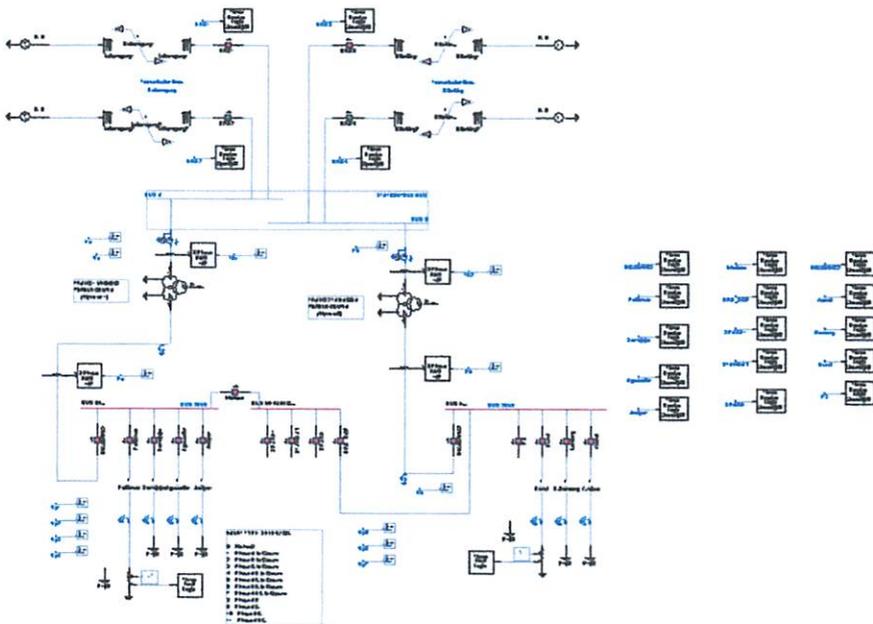
Gambar. 3.3
Tampilan *Master Library*

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



Gambar. 3.4
Tampilan Modul Utama

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

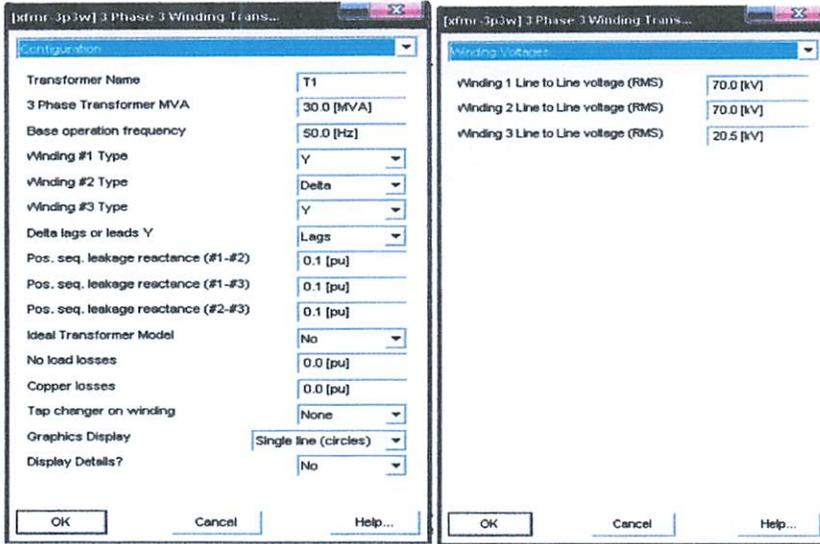


Gambar. 3.5
Tampilan *Single Line* GI Polehan Dalam *PSCAD*

3.2. Input Data Dalam PSCAD/EMTDC Power Simulation

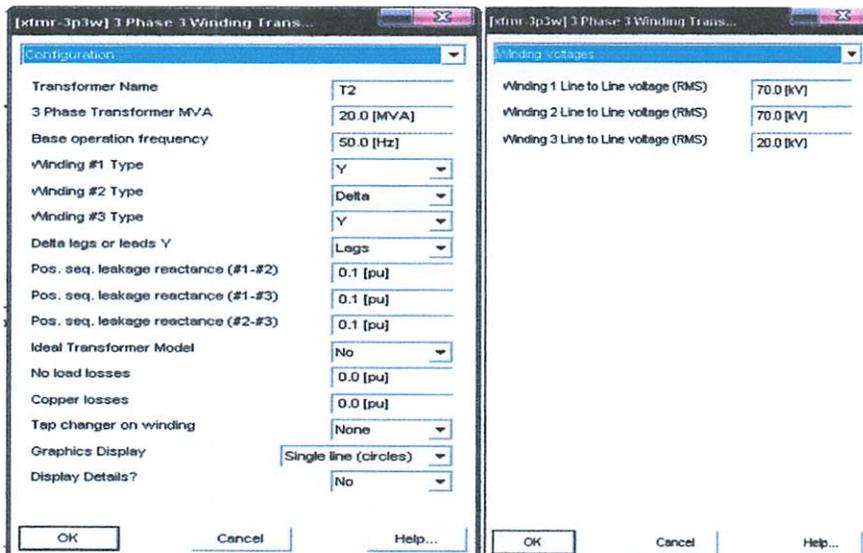
3.2.1. Input Data Transformator

1.Transformator I



Gambar . 3.6
Tampilan Input Data Transformator I

2.Transformator II



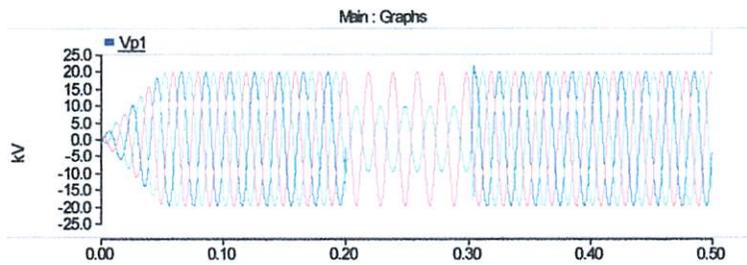
Gambar. 3.7
Tampilan Input Data Transformator II

3.3. Analisa Pengaruh Gangguan yang diakibatkan :

3.3.1. Jenis Gangguan pada System Penyulang GI Polehan

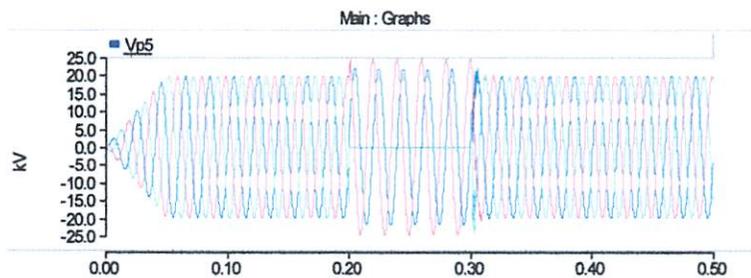
Pada saat gangguan hubung singkat yang terjadi melibatkan keseluruhan 3 fasa yang ada pada system, maka dikatakan bahwa gangguan hubung singkat yang terjadi adalah gangguan hubung singkat simetris. Apabila gangguan hubung singkat yang terjadi tidak melibatkan keseluruhan 3 fasa pada suatu system, maka dikatakan bahwa gangguan hubung singkat yang terjadi adalah gangguan hubung singkat tak simetris. Berikut gangguan yang terjadi pada system penyulang di GI Polehan:

1. Gangguan 2 fasa (Antar Fasa)



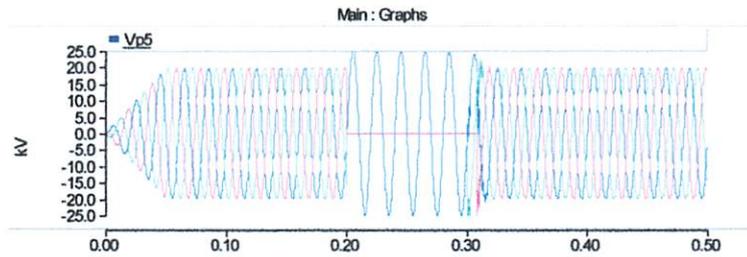
Gambar . 3.8
Grafik Profil Tegangan pada Saat Gangguan 2 Fasa

2. Gangguan 1 fasa ke tanah



Gambar . 3.9
Grafik Profil Tegangan pada Saat Gangguan 1 Fasa ke Tanah

3. Gangguan 2 fasa ke Tanah



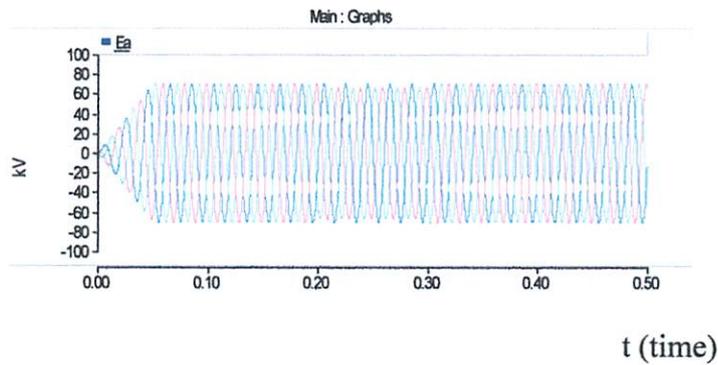
Gambar. 3.10
Grafik Profil Tegangan pada saat Gangguan 2 Fasa ke Tanah

3.3.2. Pengaruh Gangguan Pada System Sisi Incoming dan Outgoing 70/20 kV

GI Polehan

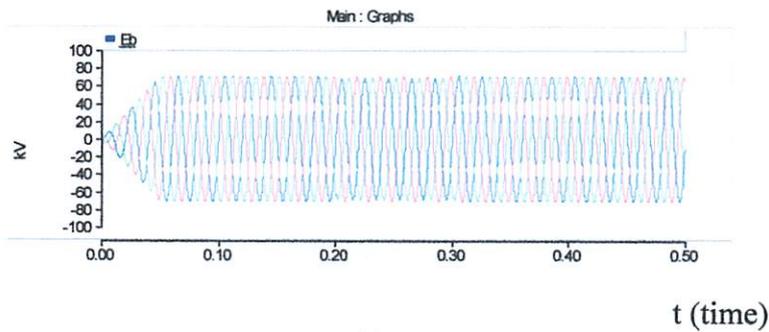
3.3.2.1. Profil Kualitas Tegangan pada saat terjadi gangguan 2 Fasa ke Tanah

a. Sisi 70 kV Tranformator I



(a)

b. Sisi 70 kV Tranformator II

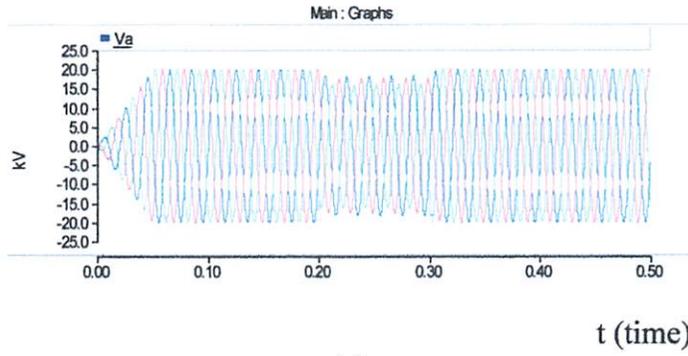


(b)

Gambar 3.11. (a) dan (b) Profil Tegangan Incoming Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa ke Tanah

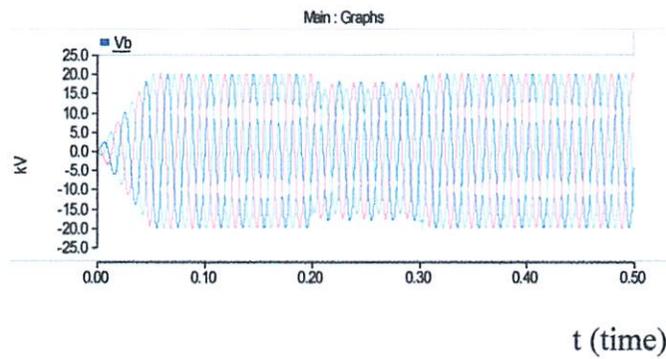
Sisi Penyulang 20 kV

a. Transformator I



(a)

b. Transformator II

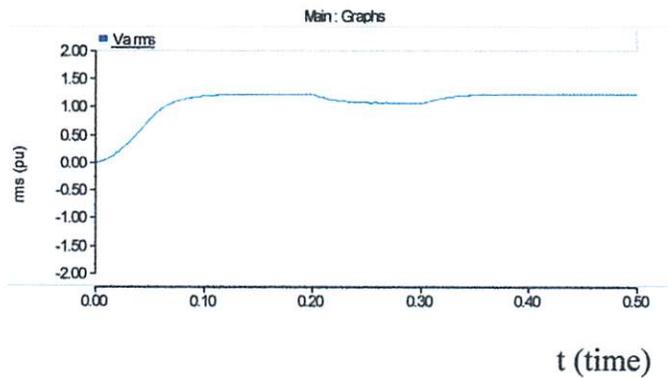


(b)

Gambar 3.12 (a) dan (b) Profil Tegangan Outgoing Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa ke Tanah

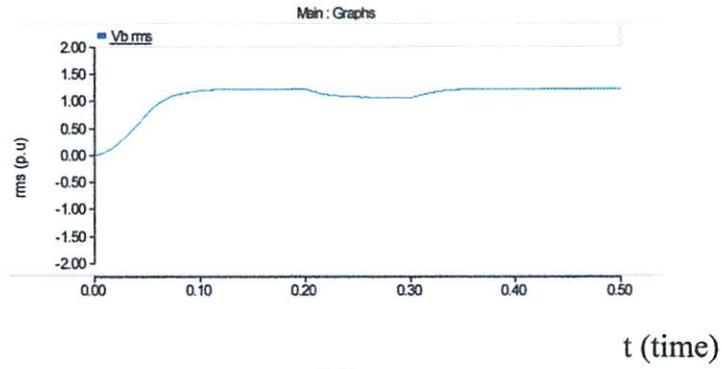
Dalam satuan rms (p.u)

1. Transformator I



(a)

2. Transformator II

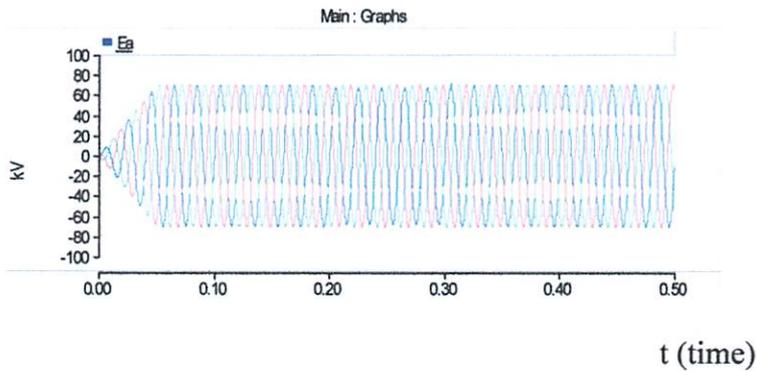


(b)

Gambar 3.13 Profil Tegangan Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa ke Tanah Dalam Satuan (pu)

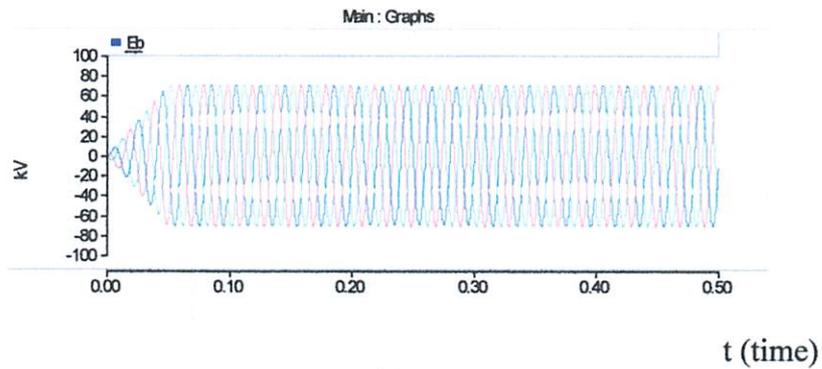
3.3.2.2. Profil Kualitas Tegangan pada saat terjadi gangguan 1 Fasa ke Tanah

a.Sisi 70 kV Tranformator I



(a)

b.Sisi 70 kV Tranformator II

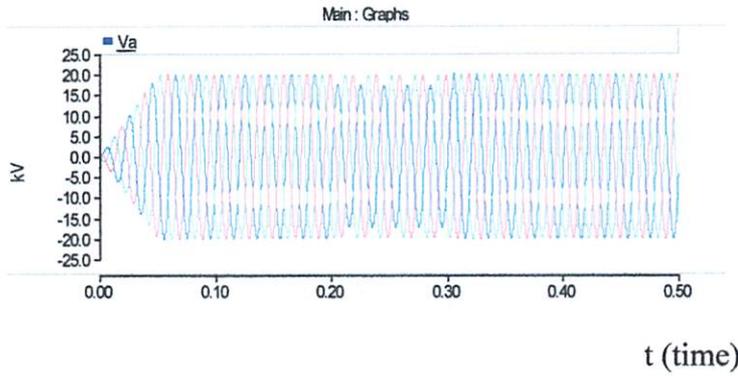


(b)

Gambar 3.14 (a) dan (b) Profil tegangan Incoming Saat Terjadi Gangguan 1 Fasa ke Tanah

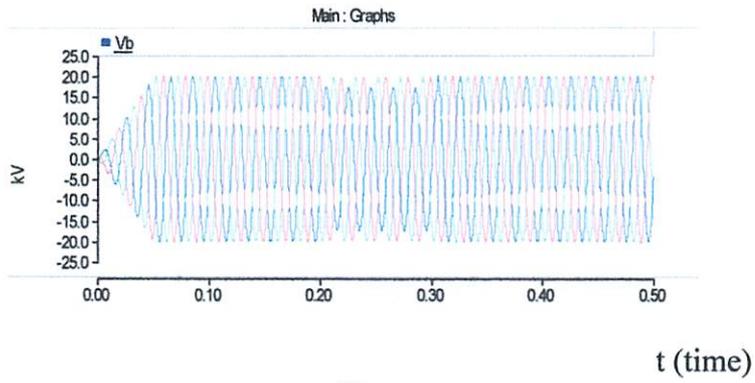
Sisi Penyulang 20 kV

a. Tranformator I



(a)

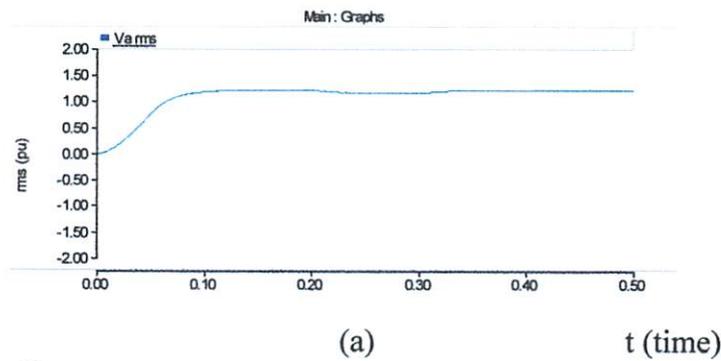
b. Tranformator II



(b)

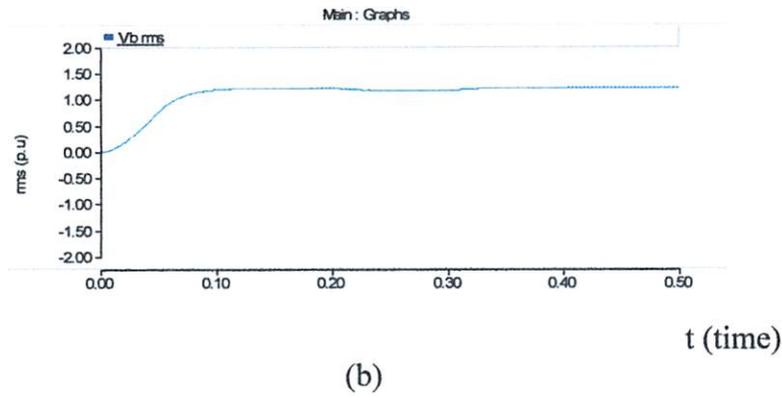
Gambar 3.15 (a) dan (b) Profil Tegangan Outgoing Saat Terjadi Gangguan 1 Fasa ke Tanah

1. Tranformator I



(a)

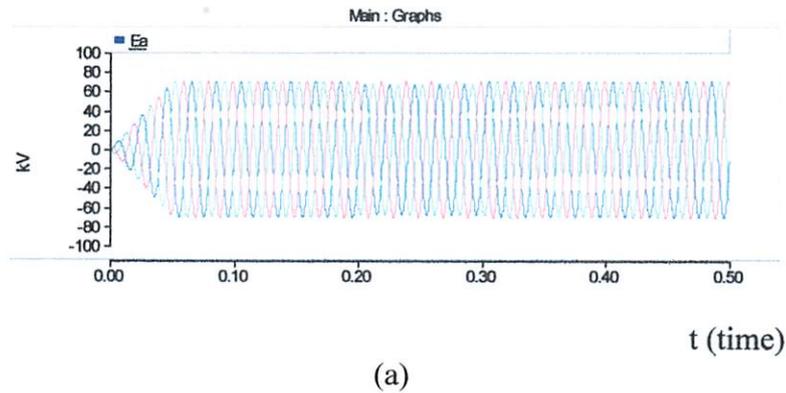
2. Tranformator II



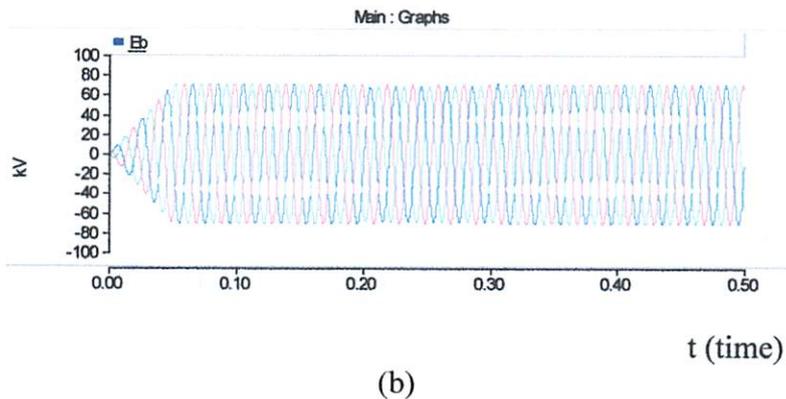
Gambar 3.16. Profil Tegangan Saat Terjadi Gangguan 1 Fasa ke Tanah Dalam Satuan (pu)

3.3.2.3. Profil Kualitas Tegangan pada saat terjadi gangguan 2 Fasa (Antar fasa)

a. Tranformator I

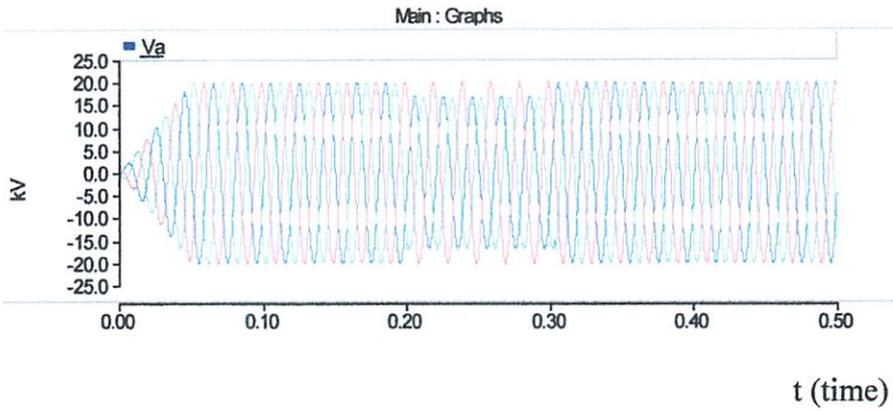


b. Tranformator II



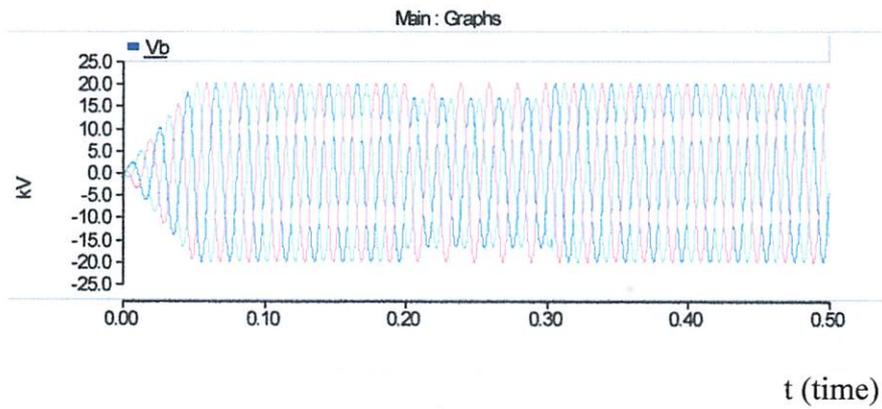
Gambar 3.17. (a) dan (b) Profil tegangan Incoming Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa Sisi penyulang 20 kV

a. Tranformator I



(a)

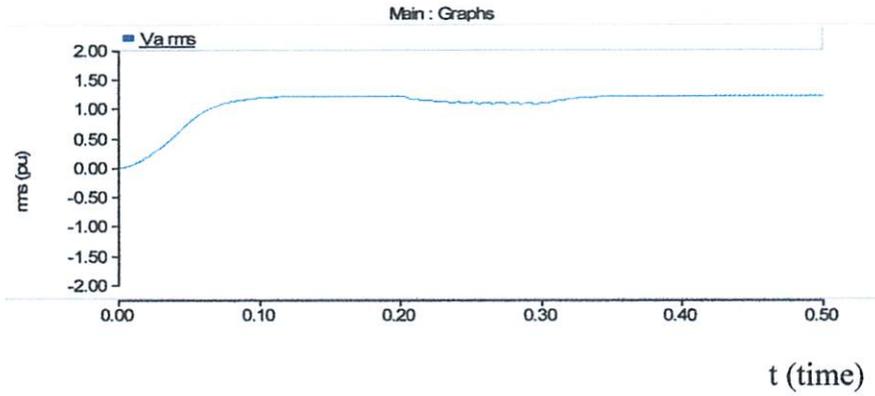
b. Tranformator II



(b)

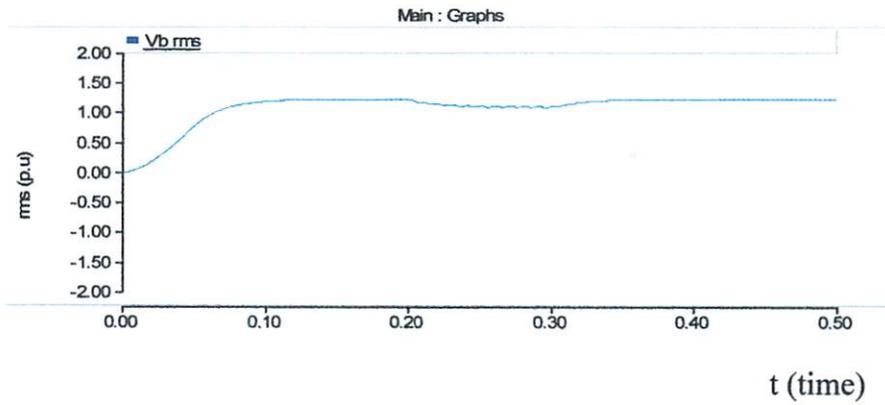
Gambar 3.18.
(a) dan (b) Profil Tegangan Outgoing Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa
Dalam satuan rms (p.u)

1. Tranformator I



(a)

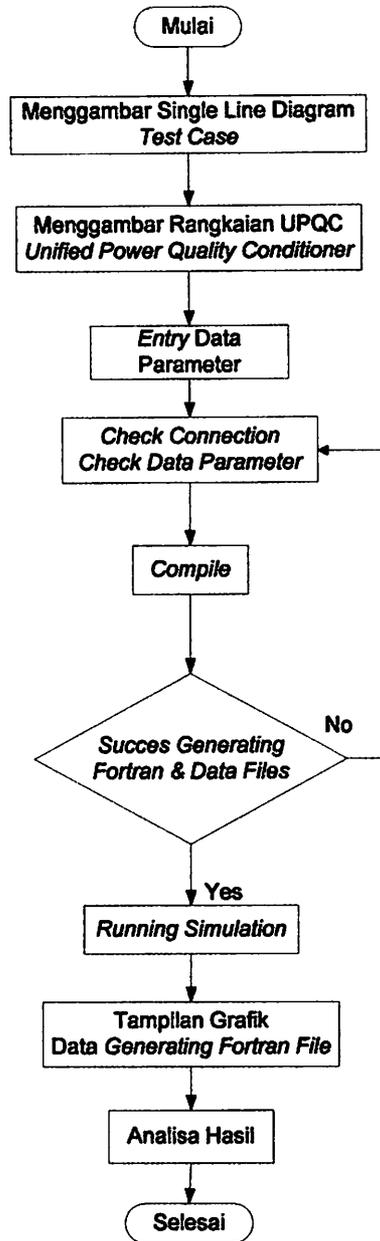
2. Tranformator II



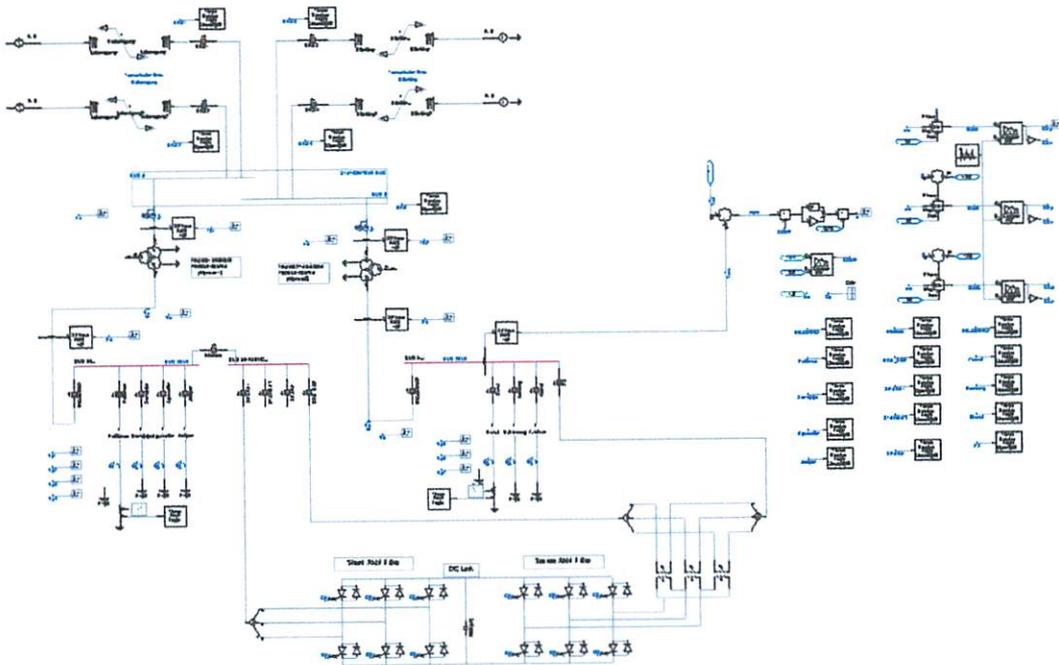
(b)

Gambar 3.19.
Profil Tegangan Saat Terjadi Gangguan 2 Fasa Dalam Satuan (pu)

3.4. *Flowchart* Simulasi Sistem dengan memakai Kompensator *Unified Power Quality Conditioner*



Gambar. 3.20
Flowchart Analisa Kualitas Tegangan dengan UPQC

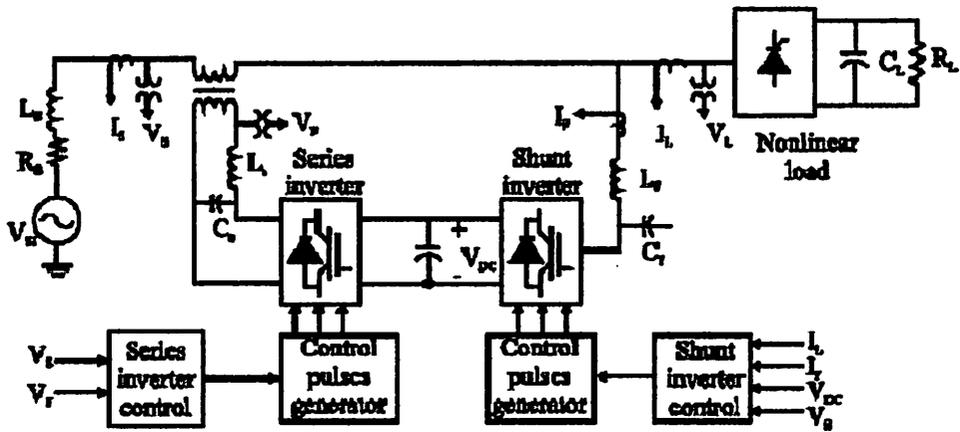


Gambar 3.21. Single Line Sistem GI Polehan Dengan menggunakan Kompensator UPQC

3.5. Peralatan Kompensator *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC)^[9]

Unified Power Quality Conditioner merupakan pengontrol yang biasanya digunakan untuk meminimalisasikan masalah kualitas daya seperti *Voltage Sag* yang dipasang di Bus antara sumber dan beban. UPQC adalah gabungan dua kompensator yang dipisahkan oleh DC Link yaitu *Series Inverter* dan *Shunt Inverter* dimana *series* biasanya bekerja pada bagian yang sama dengan *Shunt Inverter* dimana Trafo penghubung dihubungkan secara urut dengan system arus bolak-balik seperti terlihat pada Gambar (3.22). Adapun rangkaian pengontrol UPQC terdiri dari tiga bagian yaitu:

1. Shunt inverter control
2. DC link voltage control
3. Series inverter control



Gambar. 3.22
Blok Diagram Control UPQC^[9]

3.5.1. Shunt Inverter Control

Pada blok diagram control shunt inverter menggunakan referensi teori dari beban seimbang dimana pada beban terdiri dari arus simbang yaitu i_a, i_b dan i_c . Pengukuran arus dari beban ditransfer ke dalam d-q-o yang menggunakan fungsi-fungsi sinusoidal melalui d-q-o untuk acuan (*synchronouse*) ke bagian sinusoidal. fungsi-fungsi tersebut didapatkan lewat *grid voltage* dengan menggunakan PLL. Di sini, arus-arus yang dibagi menjadi dua komponen AC dan DC.

$$\bar{i}_{id} = \bar{i}_d + \bar{i}_{id}, \quad \bar{i}_{iq} = \bar{i}_q + \bar{i}_{iq}$$

Pada arus aktif I dan i_q arus reaktif, sedangkan elemen AC dan DC diperoleh dari Low pass filter. Dengan menggunakan *controlling Algorithma* dapat mengoreksi factor daya dan mengkompensasi komponen semua arus harmonic pada suatu system dengan pembangkit arus referensi dan dirumuskan:

$$\ddot{i}_{id} = \dot{i}_{id}, \quad \dot{i}_{iq} = i_{iq}$$

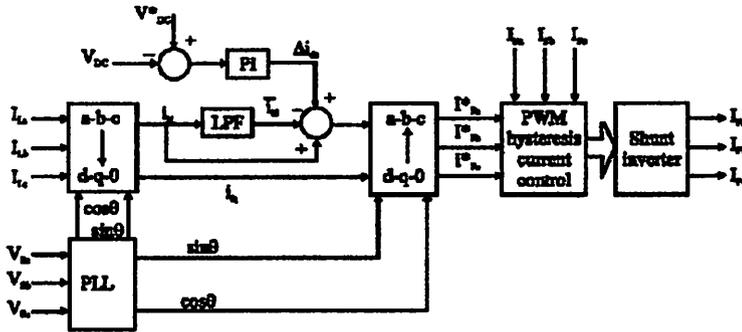
Disini arus system :

$$\bar{i}_{sd} = \bar{i}_q, \quad \bar{i}_{sq} = 0$$

Kerugian switching dan daya penerima dari DC link kapasitor melalui series inverter dapat berkurang sesuai nilai rata-rata pada bus tegangan DC tersebut. Pada penyimpangan (*distortion such*) yang lain seperti ketidakseimbangan beban dan perubahan mendadak pada arus beban yang mengakibatkan oscilasi pada bus tegangan DC. Untuk mencari kesalahan (*error*) diantara nilai yang terukur dan diukur dan nilai tegangan kapasitor yang diinginkan maka digunakan controller PI dimana dapat mengendalikan signal yang digunakan oleh control arus system didalam sumber tegangan *shunt inverter* dimana sebagai stabilizer tegangan kapasitor DC yang diterima dari daya saluran (*power grid*). Δi_{dc} , keluaran dari pengontrol PI ditambahkan untuk komponen q arus referensi dan arus referensi menjadi:

$$\mathbf{i}_{cd}^* = \mathbf{i}_{id} + \Delta \mathbf{i}_{cd}, \quad \mathbf{i}_{cq}^* = \mathbf{i}_{iq}$$

Arus acuan yang dikirimkan ke dalam bagan a-b-c melalui konversi balik referensi ke dalam bagan acuan (*synchronous*) oleh arus referensi yang timbul i_{fa}^* , i_{fb}^* dan i_{fc}^* dan dibandingkan dengan arus keluaran dari shunt inverter i_{fa}^* , i_{fb}^* dan i_{fc}^* didalam PWM. Sehingga arus controller yang diperlukan oleh pengendali control pulsa adalah sama dengan yang dihasilkan oleh PWM, kemudian arus yang diperlukan itu mengkompensasi arus kemudian oleh inverter digunakan untuk menghasilkan signal gerbang daya pensaklaran (*power switch gates*).



Gambar. 3.23
 Blok Diagram Shunt Inverter Control^[9]

3.5.2. DC Link Voltage Control

Suatu pengontrol PI digunakan untuk mencari nilai kesalahan diantara nilai-nilai yang diinginkan dan nilai terukur oleh *capacitor voltage* yang mengontrol *DC link voltage* ^[1]. Signal ini berlaku bagi system kendali sumber tegangan shunt inverter dengan cara tegangan DC kapasitor distabilkan dengan menerima daya aktif yang diperlukan dari saluran. Regulasi yang tepat didalam parameter pengontrolan yang proposional sangat berperan penting untuk kontrol tegangan DC yang diterima. Terlalu banyak peningkatan pengendali proporsional dapat menguntungkan yang melebihi ketidakstabilan control system dan sebaliknya pengurangan peningkatan pengendali proporsional dapat mempengaruhi kecepatan didalam control system tersebut. Keuntungan pemakaian *intergral control* yang tepat untuk mengoreksi kesalahan secara *steady state* dapat menghasilkan pengendalian tegangan yang mantap didalam system tersebut. Jika pemilihan keuntungan ini bernilai besar maka nilai kesalahan yang timbul didalam *steady state* secara cepat dapat dikoreksi dan jika terjadi kelebihan dalam pengendalian tegangan tersebut didapat nilai akhir yang melebihi dari nilai respon system tersebut

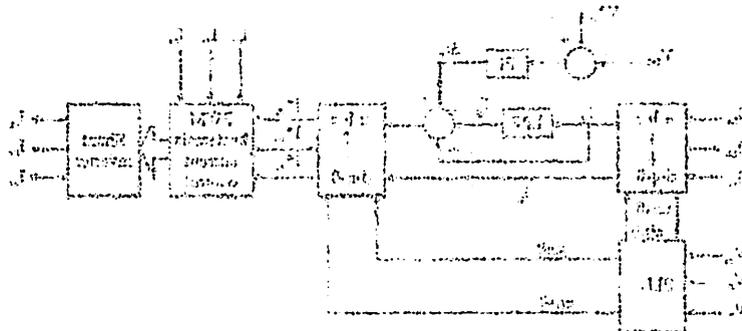
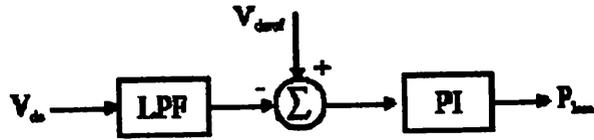


Figure 1. Schematic diagram of the control system.

The control system is designed to manage the operation of the motor. It consists of several key components: a power source, a main switch, a stop button, a start button, a relay, and a magnetic flux bridge (MFB). The power source provides the necessary energy to the system. The main switch allows for the overall power to be turned on or off. The stop button is used to halt the motor's operation at any time. The start button initiates the motor's operation. The relay is used to control the motor's power supply, and the MFB is used to manage the motor's magnetic flux. The system is designed to ensure safe and efficient operation of the motor.

Figure 1. Schematic diagram of the control system.

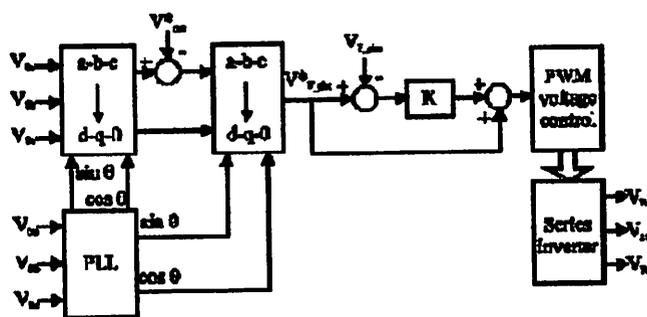


Gambar. 3.24

Blok Diagram DC Link Voltage Control^[9]

3.5.3. Series Inverter Control

Strategi pengendalian tegangan yang seimbang (sinusoidal) pada beban secara umum diusulkan oleh salah satu rangkaian series UPQC. Disini rangkaian series secara terkendali dapat mengkompensasi semua *voltage distortion* dan menjaga keseimbangan tegangan *sinusoidal* beban 3 phasa. Untuk penjelasan hal ini menerapkan teori keseimbangan beban ^[5]. Didalam metode ini nilai yang diinginkan dari tegangan fasa beban yang disimbolkan d dan q kemudian dibandingkan nilai tegangan beban dan hasil nilai tersebut digunakan sebagai referensi signal oleh *series inverter control*.



Gambar. 3.25

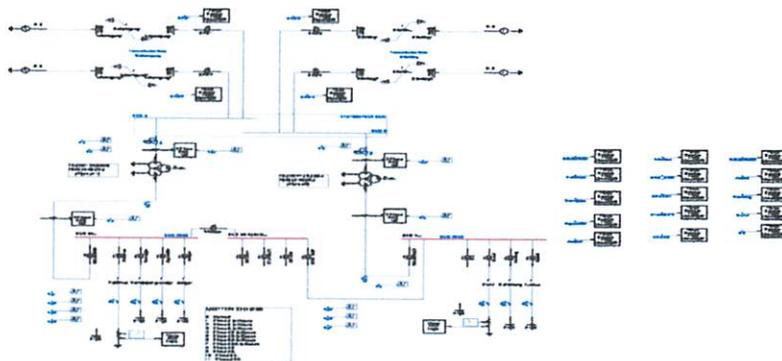
Blok Diagram Series Inverter Control^[9]

BAB IV ANALISA HASIL

4.1. Single Line Sistem Penyaluran GI Polehan

Perkembangan industri dan meningkatnya kebutuhan akan ketersediaan energi listrik yang baik di Garduk Polehan sangatlah pesat karena mensuplai energi listrik di Kota Malang yang notabene membutuhkan kontinuitas yang baik di sistem penyalurannya. Dengan sumber daya energi yang terbatas, dalam hal ini PLN dituntut untuk memberikan pelayanan yang optimal dalam penyaluran energi listrik. Salah satu caranya adalah dengan memaksimalkan kualitas tegangan pada penyulang-penyulang PLN.

Untuk mensimulasi sistem Penyaluran Gardu Induk Polehan dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian system penyaluran ke penyulang Gardu Induk Polehan tersebut ke dalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Adapaun solusi yang diusulkan yaitu penggunaan kompensator daya



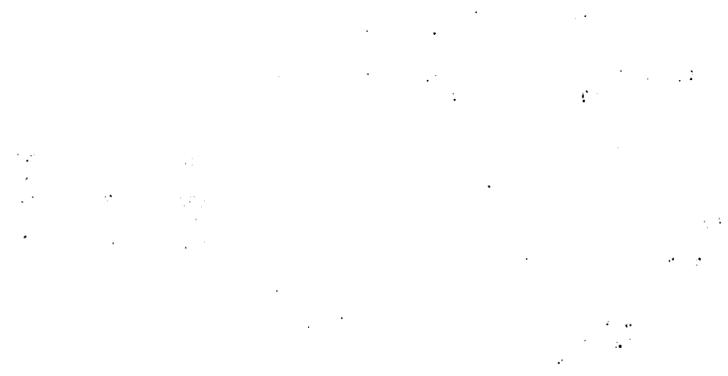
Gambar.4.1 *Single Line* GI Polehan dalam Simulasi

BAB IV ANALISA HASIL

4.1. Single Line System Perhitungan EI Polibut

Pelaksanaan ini akan dan menyangkutnya ketuntasan akan ketepatan energi listrik yang baik di tingkat Polibut sangatlah besar karena merupakan energy listrik di kota Polibut yang akan terus-menerus berlanjut yang baik di sistem perhitungannya. Dengan sumber daya energi yang terbatas, dalam hal ini PLN dimana untuk memberikan pelayanan yang optimal dalam perolehan energi listrik. Oleh karena itu dengan menggunakan kualitas layanan yang baik pada perolehan-perolehan PLN.

Untuk memvisualisasi sistem Perhitungan (single line) Polibut dalam software SPSS (SPSS) dengan tujuan untuk lebih jelasnya mengenai perolehan sistem perolehan di perolehan (single line) Polibut tersebut ke dalam bentuk tabel pada software kemudian diinputkan sesuai dengan urutan kerja dan menggunakan hasil-hasil yang dihasilkan yaitu menggunakan komputerisasi data.



Gambar 4.1. Single Line (EI Polibut dalam Simulasi)

4.2. Data Penyaluran dan Pembebanan Penyulang Gardu Induk Polehan

Data pembebanan di Sistem Penyulang 20 kV berdasarkan laporan harian operator Gardu Induk Polehan pada bulan April 2009:

Tabel 4.1. Data Pembebanan Tertinggi Penyulang Gardu Induk Polehan

Gardu Induk Merk Trafo Penyulang	Kapasitas (MW)	Kapasitas (MVAR)	Pembebanan (Amper)	
			Siang	Malam
Trafo II Unindo 30 MVA	19.3	9.3	555	590
P. PATIMURA	7.16	4.1	230	130
P. SAWOJAJAR	3.89	2.23	86	125
P. AGUS SALIM	3.4	1.96	110	110
P. JODIPAN	7.52	4.22	190	236
P. LOWOKWARU	0	0	0	0
Trafo II Takaoka 20 MVA	12	5.4	350	380
P. BUNUL	5.22	2.35	162	196
P. KD. KANDANG	2.25	1.01	70	48
P. ZAENAL ZAKSE	4.19	1.89	121	130

Tabel 4.2. Nilai Tegangan Busbar Penyulang pada Saat Terjadi Gangguan (Pemantauan Gangguan Bulan April)

Tgl	70 kV		20 kV			
	Max	Min	Max		Min	
			Trafo I	Trafo II	Trafo I	Trafo II
11	72	69	21	21.2	20.4	20.4
12	72	69	21	21.1	20.3	20.3
17	71	68	21	21.1	20.2	20.2
18	71	69	20.9	21	20.3	20.2
19	72	67	21	21	20.5	20.2
20	72	66	21	21	20.2	20.2
24	72	66	21	21.6	20.3	20.2
27	72	65	21	21	20.2	20.2
28	71	67	20.9	21.3	20.2	20.5
30	71	67	21	21	20.3	20.3

Pada data table 4.2 diatas didapatkan pada data lapangan yang diambil di Gardu Induk Polehan saat terjadinya gangguan hubung singkat Tak Simetris yaitu 2 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah di penyulang 20 kV. Dapat dilihat adanya penurunan pada salah satu nilai tegangan Bus di sisi Incoming maupun di sisi Outgoing yaitu

pada tanggal 27 nilai tegangan Bus 70 kV mengalami penurunan antara 72 kV dan 65 kV sedangkan nilai tegangan Bus 20 kV mengalami penurunan antara 21 kV dan 20.2 kV pada Trafo I maupun Trafo II. Data tersebut diambil sesuai dengan laporan harian oleh operator di Gardu Induk Polehan pada bulan april 2009.

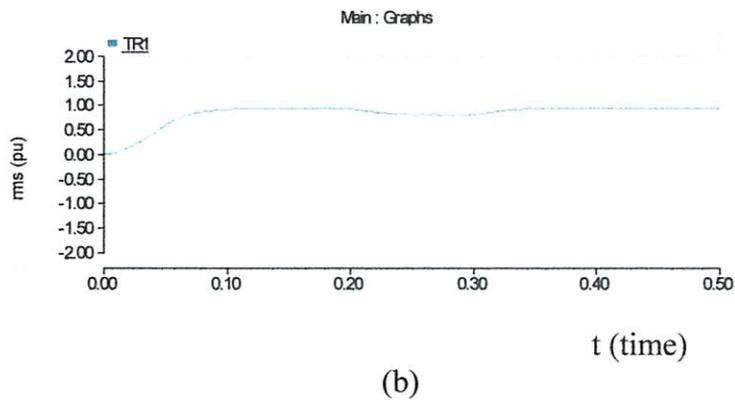
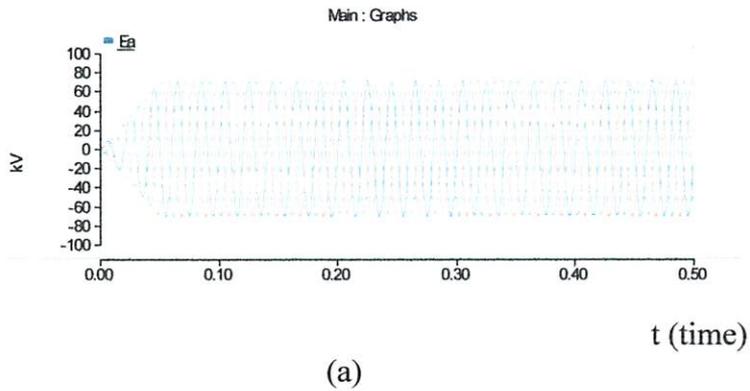
4.3. Analisa Perbaikan Kualitas Tegangan Memakai Kompensator UPQC dengan *Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation*

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 system penyaluran gardu induk polehan terhadap pengaruh gangguan hubung singkat yang diakibatkan dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan dengan *software* PSCAD. Adapun pengaruh gangguan yang terjadi dapat disimulasikan dan dapat didapatkan analisa serta pemecahan solusinya. Dalam hal ini pengaruh gangguan *Voltage Sag* yang diakibatkan karena gangguan hubung singkat yang terjadi pada saluran system penyulang 20 kV di Gardu Induk Polehan. Sehingga kontinuitas penyaluran dapat terpenuhi, melalui analisa simulasi ini dapat diukur dan didapat nilai secara grafis sehingga penganalisaan suatu system dapat dikontrol. Adapun solusinya adalah penggunaan suatu kompensator yaitu *Unified Power Quality Conditioner* yang digunakan sebagai suatu pengembangan dari elektronika daya yang digunakan dalam system tenaga. Melalui *software PSCAD* dapat diketahui hasil penggunaan kompensator sebagai

penstabil suatu system yang mengalami gangguan dalam hal ini pengaruh gangguan kualitas tegangan yaitu *Voltage Sag* yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat Tak Simetris pada system di Gardu Induk Polehan.

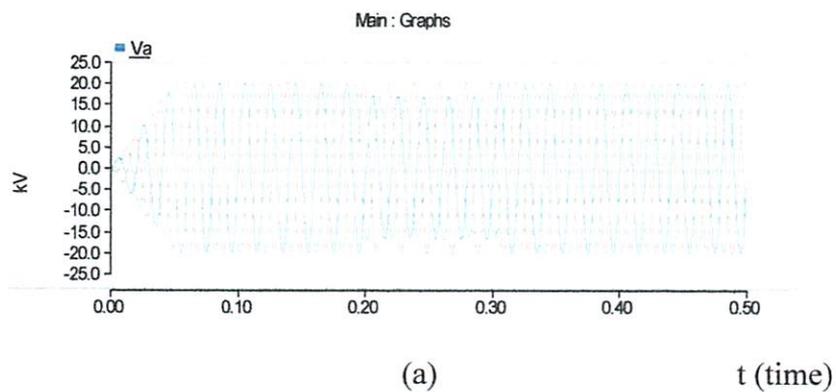
4.3.1. Profil Kualitas Sebelum Menggunakan Kompensator UPQC

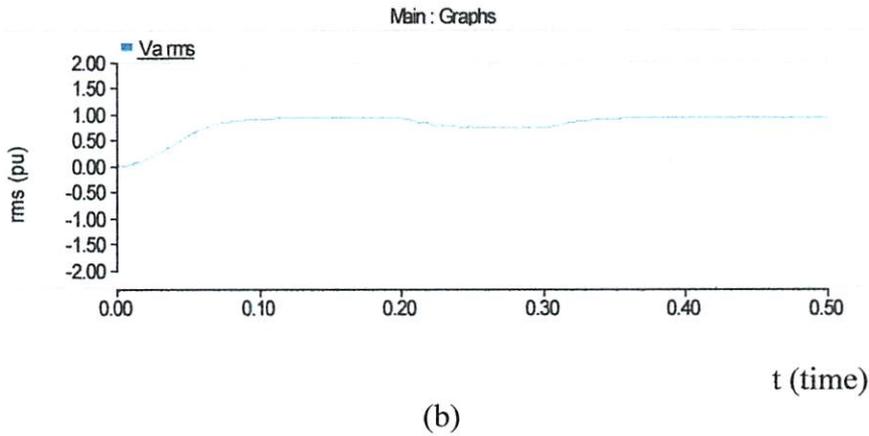
a. Sisi Saluran 70 kV



Gambar 4.2. (a) Grafik Profil Tegangan Akibat *Voltage Sag*
(b) Grafik Tegangan Dalam Satuan p.u

b. Sisi Penyulang 20 kV





Gambar 4.3. (a) Grafik Profil Tegangan Akibat *Voltage Sag*
 (b) Grafik Tegangan Dalam Satuan p.u

Dapat diamati dari hasil simulasi pada Gambar (Grafik 4.1 sampai 4.2) pada saat terjadinya gangguan hubung singkat Tak Simetris yaitu 1 Fasa ke Tanah dan 2 fasa (antar Fasa) mengakibatkan *Voltage Sag* (Penurunan sesaat) dalam waktu 0.2 sampai 0.35 second sebesar antara 0.50 sampai 1.00 (pu). Ini mengakibatkan system tidak stabil dan dapat mengganggu kontinuitas penyaluran pada system penyulang Gardu Induk, maka dapat diketahui juga pengaruh gangguan hubung singkat dapat menyebabkan terjadinya *Voltage Sag*³.

Tabel 4.3. Data Hasil Saat Terjadi *Voltage Sag* (sebelum menggunakan Kompensator)

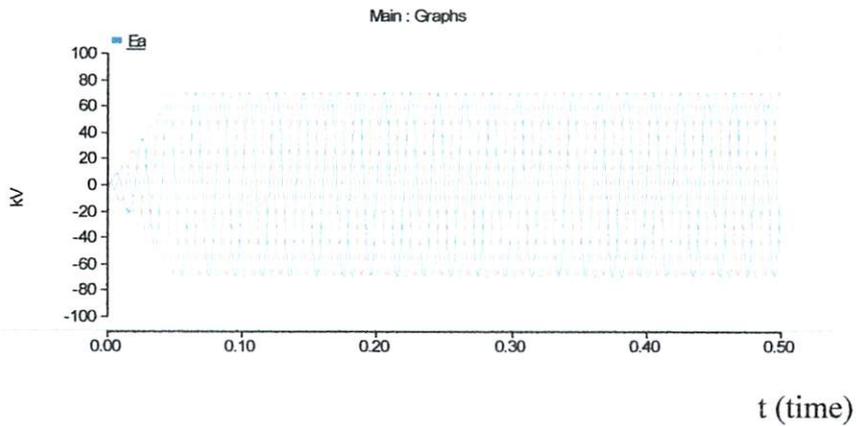
Time	TRAFO I		TRAFO II	
	Tegangan Incoming (pu)	Tegangan Outgoing (pu)	Tegangan Incoming (pu)	Tegangan Outgoing (pu)
0.2	0.93782	0.935816	0.960174	0.936816
0.21	0.885065	0.859373	0.912928	0.860437
0.22	0.850061	0.808299	0.881669	0.809223
0.23	0.830016	0.779296	0.863792	0.780232
0.24	0.817023	0.760327	0.852208	0.761221
0.25	0.809726	0.749783	0.845694	0.750672
0.26	0.804888	0.742709	0.841387	0.743593
0.27	0.802246	0.7389	0.839024	0.73977
0.28	0.800435	0.736247	0.837418	0.737126
0.29	0.799486	0.734883	0.836564	0.735747

0.3	0.798801	0.733877	0.835961	0.734753
0.31	0.830243	0.779406	0.864014	0.780269
0.32	0.872607	0.840965	0.901883	0.841884
0.33	0.898306	0.878305	0.924858	0.879253
0.34	0.91389	0.90095	0.938794	0.90192
0.35	0.923376	0.914736	0.947277	0.915716
0.36	0.929128	0.923095	0.952422	0.924084
0.37	0.932619	0.928169	0.955544	0.929162
0.38	0.934735	0.931243	0.957437	0.932239
0.39	0.93602	0.933111	0.958586	0.934108
0.4	0.936797	0.934241	0.959282	0.93524

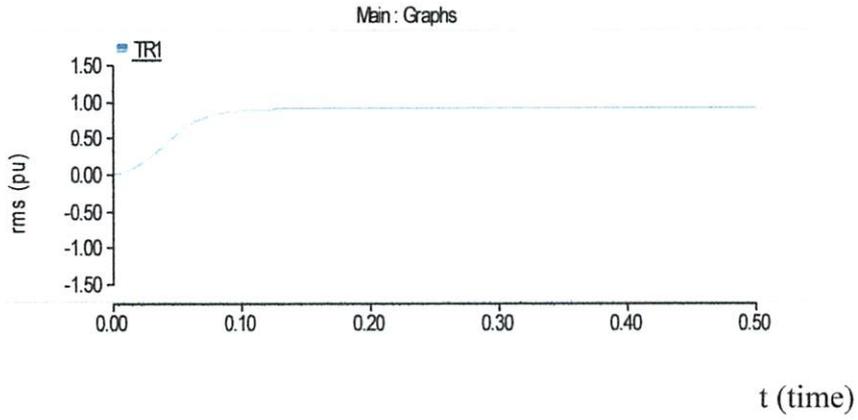
Table diatas menjelaskan tentang nilai tegangan hasil simulasi pada Bus 70 kV dan 20 kV dalam satuan (pu),dimana nilai pada saat gangguan hubung singkat Tak Simetris mengakibatkan terjadinya penurunan yaitu antara time 0.2 sampai 0.3 second.

4.3.2. Profil Kualitas Tegangan Setelah menggunakan Kompensator UPQC

a.Sisi Saluran 70 kV

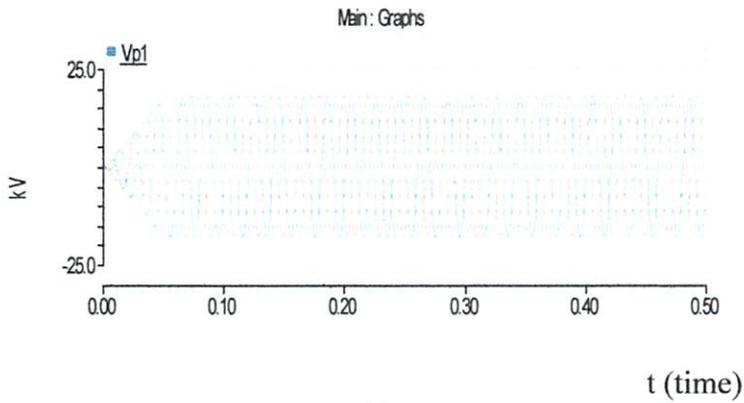


(a)

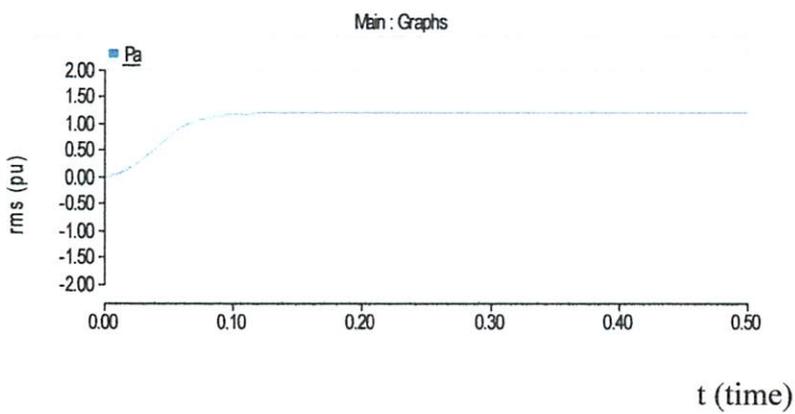


(b)

Gambar 4.4. (a) Grafik Profil Tegangan dengan Kompensasi UPQC
 (b) Grafik Tegangan Dalam satuan p.u
 a.Sisi Penyulang 20 kV



(a)



(b)

Gambar 4.5. (a) Grafik Profil Tegangan dengan Kompensasi UPQC
 (b) Grafik Tegangan Dalam Satuan p.u

Dapat diamati dari hasil simulasi pada Gambar (Grafik 4.3 sampai 4.4) sebelumnya terjadinya gangguan hubung singkat Tak Simetris yaitu 1 Fasa ke Tanah dan 2 fasa (antar Fasa) mengakibatkan *Voltage Sag* (Penurunan sesaat) dalam waktu 0.2 sampai 0.35 second sebesar antara 0.50 sampai 1.00 (pu), setelah memakai kompensator didapat profil tegangan kembali normal atau tidak terjadinya penurunan sesaat nilai tegangan pada masing-masing Bus.

Tabel 4.4. Hasil Saat Terjadi *Voltage Sag* Setelah Kompensasi

Time	TRAFO I		TRAFO II	
	Tegangan Incoming (pu)	Tegangan Outgoing (pu)	Tegangan Incoming (pu)	Tegangan Outgoing (pu)
0.2	0.8893	0.868448	0.950459	0.921864
0.21	0.889357	0.868498	0.950525	0.921923
0.22	0.889394	0.868529	0.950569	0.921962
0.23	0.889415	0.868551	0.950594	0.921984
0.24	0.889432	0.868566	0.950612	0.922001
0.25	0.889441	0.868574	0.95062	0.922009
0.26	0.889445	0.868574	0.950625	0.922012
0.27	0.889449	0.868581	0.950629	0.922017
0.28	0.88945	0.868581	0.950633	0.922019
0.29	0.889453	0.868586	0.950634	0.922022
0.3	0.889453	0.868583	0.950634	0.922021
0.31	0.88945	0.86858	0.950631	0.922018
0.32	0.889451	0.868581	0.950634	0.92202
0.33	0.88945	0.868579	0.950632	0.922017
0.34	0.889447	0.868574	0.95063	0.922013
0.35	0.889446	0.868573	0.950628	0.922012
0.36	0.889446	0.868574	0.95063	0.922013
0.37	0.889444	0.868572	0.950627	0.922011
0.38	0.889446	0.868574	0.950629	0.922014
0.39	0.889442	0.868567	0.950626	0.922009
0.4	0.8893	0.868568	0.950628	0.922011

Tabel diatas menjelaskan nilai tegangan relatif stabil atau keadaan sistem jauh lebih stabil setelah menggunakan kompensasi dibandingkan dengan sebelum menggunakan kompensasi. Hal ini dapat diamati pada hasil simulasi sistem

dengan kondisi gangguan *voltage sag*. Perbedaan ini dapat di amati pada Gambar Grafik 4.3 sampai 4.4.

4.4. Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi dan Sesudah Kompensasi.

Untuk mengetahui kerja kompensasi maka yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai tegangan dalam satuan (pu) pada masing-masing Trafo dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan kompensasi dan tanpa kompensasi.

Tabel 4.5. Hasil Perbandingan Sebelum dan Sesudah Menggunakan Kompensasi pada Trafo I

Time	Tegangan Bus 70 kV (Incoming)		Tegangan Bus 20 kV(Outgoing)	
	Sebelum (pu)	Sesudah (pu)	Sebelum (pu)	Sesudah (pu)
0.2	0.93782	0.8893	0.935816	0.868448
0.21	0.885065	0.889357	0.859373	0.868498
0.22	0.850061	0.889394	0.808299	0.868529
0.23	0.830016	0.889415	0.779296	0.868551
0.24	0.817023	0.889432	0.760327	0.868566
0.25	0.809726	0.889441	0.749783	0.868574
0.26	0.804888	0.889445	0.742709	0.868574
0.27	0.802246	0.889449	0.7389	0.868581
0.28	0.800435	0.88945	0.736247	0.868581
0.29	0.799486	0.889453	0.734883	0.868586
0.3	0.798801	0.889453	0.733877	0.868583
0.31	0.830243	0.88945	0.779406	0.86858
0.32	0.872607	0.889451	0.840965	0.868581
0.33	0.898306	0.88945	0.878305	0.868579
0.34	0.91389	0.889447	0.90095	0.868574
0.35	0.923376	0.889446	0.914736	0.868573
0.36	0.929128	0.889446	0.923095	0.868574
0.37	0.932619	0.889444	0.928169	0.868572
0.38	0.934735	0.889446	0.931243	0.868574
0.39	0.93602	0.889442	0.933111	0.868567
0.4	0.936797	0.889443	0.934241	0.868568

Tabel 4.6. Hasil Perbandingan Sebelum dan Sesudah Menggunakan Kompensasi pada Trafo II

Time	Tegangan Bus 70 kV (Incoming)		Tegangan Bus 20 kV(Outgoing)	
	Sebelum (pu)	Sesudah (pu)	Sebelum (pu)	Sesudah (pu)
0.2	0.960174	0.950459	0.936816	0.921864
0.21	0.912928	0.950525	0.860437	0.921923
0.22	0.881669	0.950569	0.809223	0.921962
0.23	0.863792	0.950594	0.780232	0.921984
0.24	0.852208	0.950612	0.761221	0.922001
0.25	0.845694	0.95062	0.750672	0.922009
0.26	0.841387	0.950625	0.743593	0.922012
0.27	0.839024	0.950629	0.73977	0.922017
0.28	0.837418	0.950633	0.737126	0.922019
0.29	0.836564	0.950634	0.735747	0.922022
0.3	0.835961	0.950634	0.734753	0.922021
0.31	0.864014	0.950631	0.780269	0.922018
0.32	0.901883	0.950634	0.841884	0.92202
0.33	0.924858	0.950632	0.879253	0.922017
0.34	0.938794	0.95063	0.90192	0.922013
0.35	0.947277	0.950628	0.915716	0.922012
0.36	0.952422	0.95063	0.924084	0.922013
0.37	0.955544	0.950627	0.929162	0.922011
0.38	0.957437	0.950629	0.932239	0.922014
0.39	0.958586	0.950626	0.934108	0.922009
0.4	0.959282	0.889443	0.93524	0.922011

Berdasarkan dua tabel di atas bahwa penyaluran daya lebih optimal dengan menggunakan kompensasi daripada tanpa kompensasi. Terlihat bahwa total penyaluran daya saat terjadi gangguan hubung singkat tak simetris yaitu 2 Fasa dan 1 Fasa ke Tanah mengalami perbaikan dan kontinuitas meningkat pada saat menggunakan kompensasi..

4.4.1. Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Kondisi *Voltage Sag*

Trafo I

Sisi Bus 70 kV

$$V_{Optimasi} = V_{with\ kompensator} - V_{without\ kompensator}$$

$$= 0.889 (pu) - 0.799 (pu)$$

$$= 0.089 (pu) \text{ atau } 1.26 \%$$

Sisi Bus 20 kV

$$\begin{aligned}V_{Optimasi} &= V_{with\ kompensator} - V_{without\ kompensator} \\ &= 0.868 \text{ (pu)} - 0.734 \text{ (pu)} \\ &= 0.133 \text{ (pu) atau } 1.825 \text{ \%}\end{aligned}$$

Trafo II

Sisi Bus 70 kV

$$\begin{aligned}V_{Optimasi} &= V_{with\ kompensator} - V_{without\ kompensator} \\ &= 0.950 \text{ (pu)} - 0.836 \text{ (pu)} \\ &= 0.114 \text{ (pu) atau } 1.363 \text{ \%}\end{aligned}$$

Sisi Bus 20 kV

$$\begin{aligned}V_{Optimasi} &= V_{with\ kompensator} - V_{without\ kompensator} \\ &= 0.922 \text{ (pu)} - 0.735 \text{ (pu)} \\ &= 0.186 \text{ (pu) atau } 2.54 \text{ \%}\end{aligned}$$

Tabel 4.7. Perbandingan Tegangan Busbar Penyulang Setelah Kompensasi

Tgl	70 kV		20 kV			
	Sebelum	Sesudah	Trafo I		Trafo II	
			sblm	ssdah	sblm	ssdah
27	65	71.2	20.2	22.8	20.2	23.9

Ket : Perbandingan diambil dari nilai tegangan terendah

BAB V

P E N U T U P

5.1. Kesimpulan

Pada sistem yang mengalami pengaruh gangguan pada simulasi, maka UPQC dapat menunjukkan kompensasi yang lebih baik dalam mempertahankan kualitas tegangan pada sistem tersebut.

1. Dilihat dari tegangan pada saat kondisi *voltage Sag*, mengalami perbaikan sebesar 0.089 (pu) atau 1.26 % dari 0.799 (pu) menjadi 0.889 (pu) pada Trafo I sisi *Incoming* (Bus 70 kV). Sedangkan untuk Sisi *Outgoing* (Bus 20 kV) mengalami perbaikan sebesar 0.133 (pu) atau 1.825 % dari 0.734 (pu) menjadi 0.868 (pu).
2. Sedangkan untuk Trafo II pada saat kondisi *voltage Sag*, mengalami perbaikan sebesar 0.114 (pu) atau 1.363 % dari 0.836 (pu) menjadi 0.950 (pu) Sedangkan untuk Sisi *Outgoing* (Bus 20 kV) mengalami perbaikan sebesar 0.186 (pu) atau 2.54 % dari 0.735 (pu) menjadi 0.922 (pu).

5.2. Saran

Untuk menganalisis *voltage Sag*, jika memungkinkan sebaiknya dapat diperoleh data lapangan yang mencatat waktu terjadinya *voltage Sag* agar dapat diketahui karakteristik beban yang dipakai konsumen dengan melihat jatuh dan kenaikan tegangan yang tercatat. Selain itu permasalahan pengaruh akibat gangguan hubung singkat sering tidak diperhatikan maka dianggap biasa karena di pihak PLN sudah memakai cara yaitu manuver jaringan atau beban. Jadi jika terjadi gangguan maka daerah yang terkena sering mengalami pemadaman karena penyaluran dialihkan ke daerah yang tidak terkena gangguan.

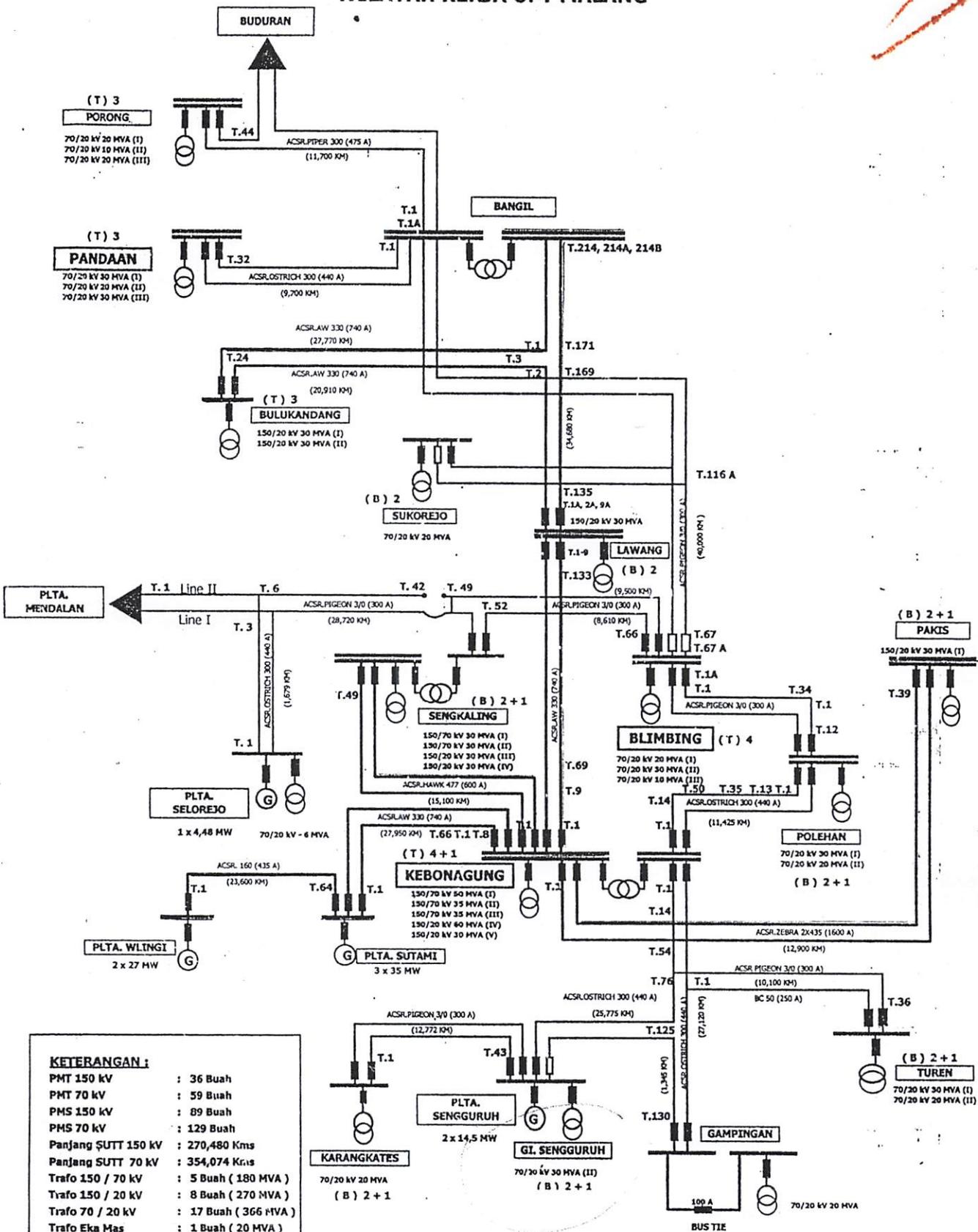
DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Ghosh and G.Ledwich.(2002),” *Power Quality Enhancement using Custom Power Device*”. Norwell, MA: Kluwer.
- [2] Lomi Abraham,Prof,Dr.Eng,MSEE,(2008), “Kualitas Daya”.Hand Out Mata Kuliah KDE.ITN Malang.
- [3] Grebe, Thomas. (2004). “*Voltage Sag-RMS Magnitude*”, Electrotec, IEEE,.
- [4] Stevenson, William D, Jr, (1996). “Analisis Sistem Tenaga Elektrik” , Penerbit Erlangga (Edisi Keempat).
- [5] Aredes, M. Heumann, K. and Watabe, E. H.(1998), “*An Universal Active Power Line Conditioner*”, IEEE Trans. on Power Delivery.13 (2): 545-551.
- [6] Kadir,Abdul.(1998).”Transmisi Tenaga Listrik”,Penerbit Universitas Indonesia.Jakarta.
- [7] William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, (1996) , “Rangkaian Listrik”, Jilid 1 edisi 4 Penerbit Erlangga,.
- [8] Hadi Saadat, “Power System Analysis”, McGraw-Hill.
- [9] Kartikheyen K., Mohan M. R., G. Uma, Sharmeela C., “*Power Quality Enhancement Using Universal Custom Power Conditioner*”, IEEE Trans. On Power Delivery.

LAMPIRAN

ini tidak u Sale

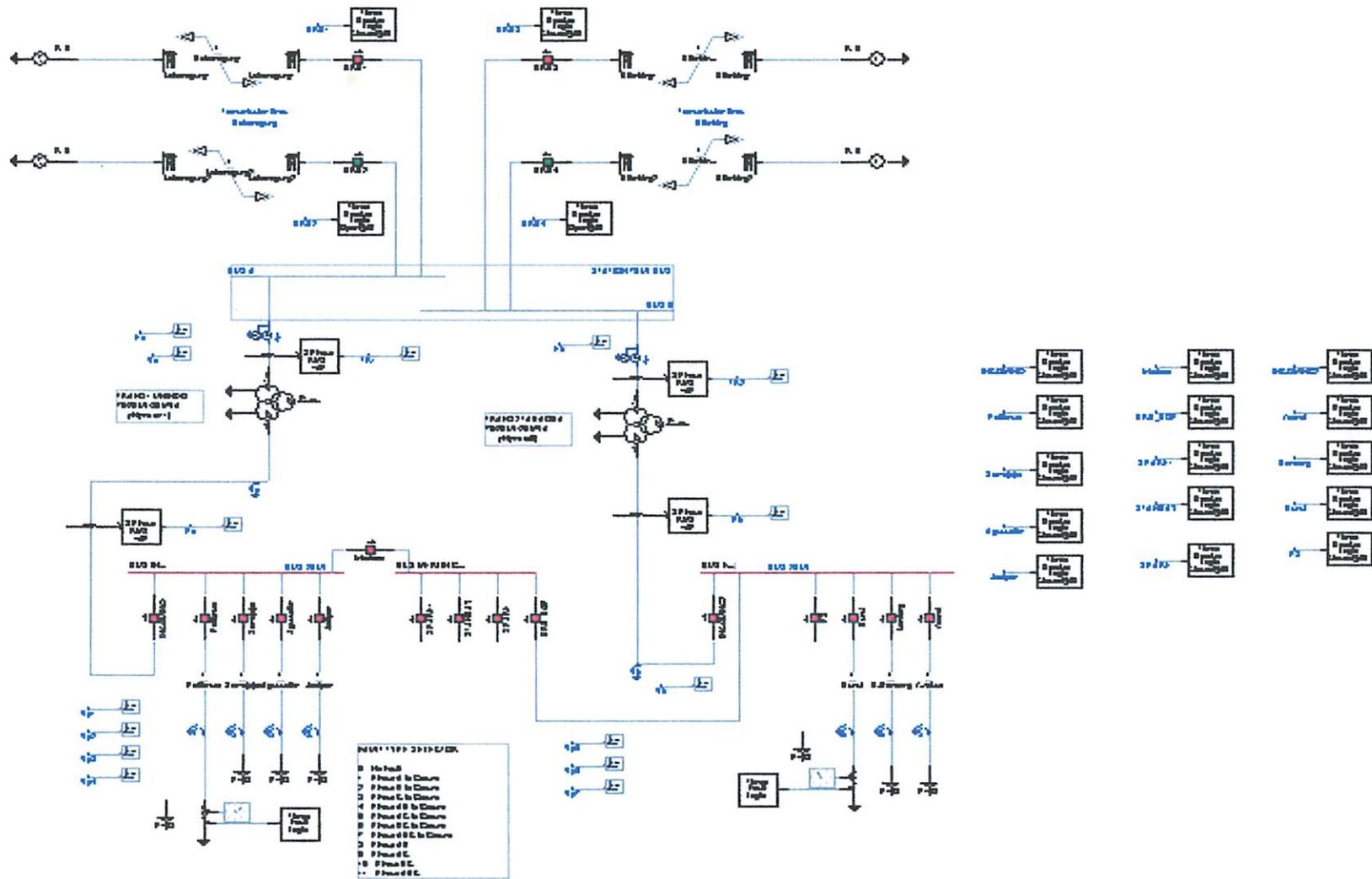
SINGLE LINE DIAGRAM WILAYAH KERJA UPT MALANG



KETERANGAN :

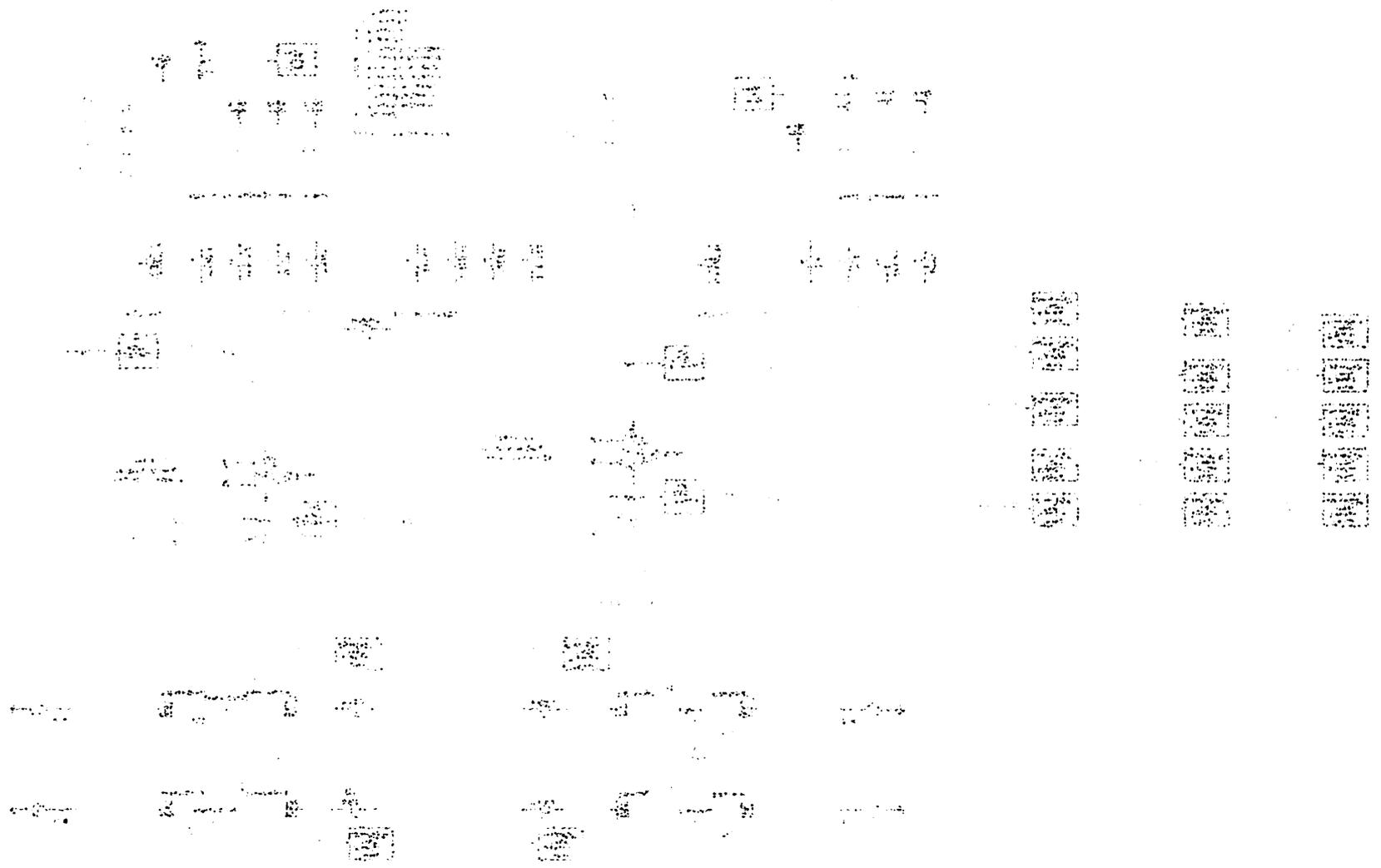
PMT 150 kV	: 36 Buah
PMT 70 kV	: 59 Buah
PMS 150 kV	: 89 Buah
PMS 70 kV	: 129 Buah
Panjang SUTT 150 kV	: 270,480 Kms
Panjang SUTT 70 kV	: 354,074 Kr.1s
Trafo 150 / 70 kV	: 5 Buah (180 MVA)
Trafo 150 / 20 kV	: 8 Buah (270 MVA)
Trafo 70 / 20 kV	: 17 Buah (366 MVA)
Trafo Eka Mas	: 1 Buah (20 MVA)
Jumlah Tower 150 kV	: 418 Buah
Jumlah Tower 70 kV	: 512 Buah
Mandor Line 150 kV	: 17 Orang
Mandor Line 70 kV	: 21 Orang
16 Gardu Induk	: 13 GI Djaga
	: 2 GI Op. PJB
	: 1 GI Tidak Djaga

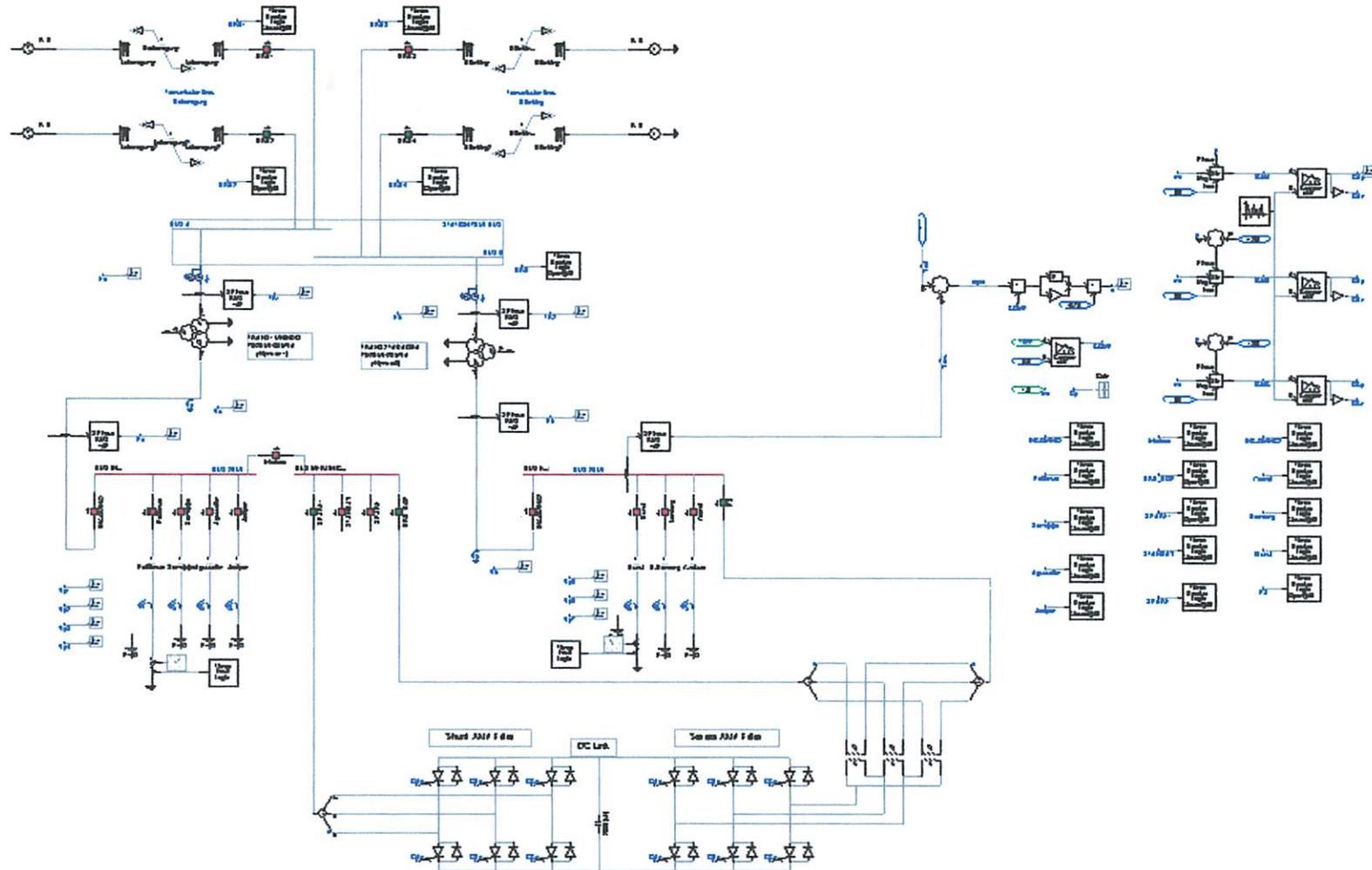
PT. PLN (PERSERO) P3B REGION JAWA TIMUR DAN BALI UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG			
DIGAMBAR	DIPERIKSA	DISETUJUI	TANGGAL
			10 Januari 2005



Gambar Simulasi GI Polehan memakai *Software PSCAD Power System Simulation*

Diagram Struktur Di Bidang Pekerjaan Zonasi P2030 Kota Serang





Gambar Simulasi Single Line GI Polehan dengan Kompensator UPQC

Data Gangguan di GI Polehan

Pemantauan Gangguan Penyulang 20 kV Trafo 70/20 kV (Bulan April 2009)

Lokasi GI	Trafo	Penyulang 20 kV	Tanggal	Jam	Penyebab Gangguan	Jenis Gangguan
Polehan	Trafo I 70/20 kV 30 MVA	Pattimura	19-April-09	13.18 - 13.46	SUTM kena pohon di Jln Trunojoyo	Gangguan 2 ϕ
		Sawojajar	18-April-09	05.28 - 05.29		Gangguan 1 ϕ ground
			24-April-09	10.02 - 10.25		Gangguan 2 ϕ
		Lowokwaru	19-April-09	13.19 - 13.20	SUTM kena ranting Pohon di Alap-alap	Gangguan 2 ϕ
			19-April-09	13.20 - 14.39		Gangguan 1 ϕ ground
Polehan	Trafo II 70/20 kV 20 MVA	Bunul	11-April-09	11.47 - 11.48	Arrester rusak di Jl.Srikandi	Gangguan 1 ϕ ground
			12-April-09	08.00 - 08.12		Gangguan 1 ϕ ground
			12-April-09	08.24 - 08.25		Gangguan 1 ϕ ground dan 2 ϕ
			17-April-09	07.43 - 07.44		Gangguan 1 ϕ ground
		Kedung Kandang	20-April-09	13.20 - 13.21	Gangguan 1 ϕ ground	

Tabel. Data Gangguan yang Terjadi di Penyulang GI Polehan

Data Transformator Tenaga GI Polehan 70 kV-20 kV

TRAFO I

No	Merk	Lokasi	Fase	Type	No. Seri	Vektor	Arus (A)	Teg. Kerja (KV)	Daya (MVA)	Impedansi %	Jenis Minyak	Tahun Pembuatan dan Operasi
1.	UNINDO	G I Polehan	3	TTUB 70/30000	A.947016 0-02	YNyn0 (d11)	247.4/8 66	70/22	30	12.34	DIALA B	1994

TRAFO II

No	Merk	Lokasi	Fase	Type	No. Seri	Vektor	Arus (A)	Teg. Kerja (KV)	Daya (MVA)	Impedansi %	Jenis Minyak	Tahun Pembuatan dan Operasi
1.	TAKAOKA	G I Polehan	3	STRODL	7944427	YNyn0 (d11)	165/577	70/22	20	10.1	JEPANG	1976/1997

Tabel.1. Transformator 70/20 kV di GI Polehan

Data Peralatan

Nama	Merk	Type	No.Seri	Arus	Tegangan	Jenis PMT	Arus Hubung Singkat	Jenis Gas	Tahun Buatan	Tahun Operasi
PMT	SPRECHER ENERGI SWITZERLAND	HGF 112/11	U=42601419- 539 A17 V=-5141B1 W=5141C29	2000 A	72.5 kV	GCB		SF6	1987	1988
PMS BUS A	EGIG MG	DR U 70/KV	R=12906 S=12905 T=12904	1250 A			25 kA			
PMS BUS B	EGIG MG	DR U 70/KV	R=12915 S=12914 T=12913	1250 A			25 kA			
LA	ASEA	XAR72 A3/75	R=5382633 S=5382635 T=538263				75 kV		1986	
CT	HAEFELY BASCE SWITZERLAND	JOF 72	U=106.176 V=106.178 W=106.177	150 - 3000A					1980	
NGR	ZUSUKI GOKIN	Nc1 P005	3A 2536005	25 A/30 sec	22 /V3 kV/ 500 ohm				1980	1994

Tabel.2. Data Peralatan Trafo 1 GI Polehan

Nama	Merk	Type	No.Seri	Arus	Tegangan	Jenis PMT	Arus Hubung Singkat	Jenis Gas	Tahun Buatan	Tahun Operasi
PMT	NISSIN	SO -11	76-1354	800 A	72 kV	OCB	12 kA		1976	
PMS BUS A	EGIG MG	DR U 70/KV	R=12906 S=12905 T=12904	1250 A			25 kA			
PMS BUS B	EGIG MG	DR U 70/KV	R=12915 S=12914 T=12913	1250 A			25 kA			
LA	MEIDENSHA	VSM- 84K	R=5A214363 S=5A214361 T=5A214362	10 kA			84 kV		1974	
CT	NISSIN	BCT-725 A	R=87825/87826 S=87827/87828 T=87829/87830	400- 200/5 A					1976	
NGR	TALEMA SPA	CO 8868		25 A/30 sec	20 /V3 kV/ 500 ohm				1995	

Tabel.3. Data Peralatan Trafo 2 GI Polehan