

**ANALISA PENGARUH PEMASANGAN *CURRENT LIMITING REACTOR* (CLR) UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN  
DI GARDU INDUK BUMICOKRO**

**SKRIPSI**



Oleh :

**ACHMAD DACHLAN**

**06.12.912**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2011**

REPUBLIC OF INDONESIA  
MINISTRY OF FINANCE  
DIRECTORATE GENERAL OF TAXATION

1970

1970  
MALINDANG PROVINCE  
1970.05

1-2 CENTRAL BUREAU  
MINISTRY OF FINANCE  
DIRECTORATE GENERAL OF TAXATION  
1970.05  
1970

# LEMBAR PERSETUJUAN

## ANALISA PENGARUH PEMASANGAN CURRENT LIMITING REACTOR UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN DI GARDU INDUK BUMICOKRO

### SKRIPSI

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

Disusun oleh :

**ACHMAD DACHLAN**

**NIM : 06.12.912**

Mengetahui,

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



**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT**

**NIP.Y. 1018800189**

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Teguh Herbasuki, MT.**

**NIP. Y.1038900109**

**Bambang Prio Hartono, ST., MT.**

**NIP.Y. 1028400082**

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

**2011**



## **ABSTRAK**

### **ANALISA PENGARUH PEMASANGAN CURRENT LIMITING REACTOR UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN DI GARDU INDUK BUMICOKRO**

**Achmad Dachlan, NIM 0612912**

**Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT dan Bambang Prio Hartono, ST, MT**

Sistem distribusi tenaga listrik pada Gardu Induk Bumicokro memiliki karakteristik beban industri, dimana beban puncak terjadi pada siang hari. Seperti halnya sistem kelistrikan gardu induk lainnya, GI Bumi Cokro juga kerap kali mengalami gangguan sehingga terjadi pemutusan suplai energi pada pelanggan. Tingginya nilai arus gangguan dapat menyebabkan ancaman terhadap sistem GI Bumi Cokro secara keseluruhan sehingga diperlukan sistem proteksi yang baik agar tidak terjadi pelepasan beban secara bersamaan pada seluruh penyulang dalam satu trafo yang sama sehingga diperlukan langkah-langkah untuk menekan besarnya arus hubung singkat. Pada penelitian ini penulis membahas perbandingan nilai arus gangguan pada kondisi sesudah dan sebelum menggunakan Current Limiting Reactor. Dari hasil simulasi dengan menggunakan software PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation pada GI Bumi Cokro, didapat perbandingan nilai arus gangguan dengan kecenderungan rata-rata penurunan 8,05%. Hal ini bergantung pada besarnya beban penyulang dan besarnya nilai CLR (dalam henry) yang dipasang secara seri pada outgoing trafo GI Bumi Cokro.

**Kata kunci : Gardu Induk, Arus gangguan hubung singkat, Current Limiting Reactor dan PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation.**

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan judul **“ANALISA PENGARUH PEMASANGAN CURRENT LIMITING REACTOR UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN DI GARDU INDUK BUMICOKRO”** dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik ITN Malang.

Sebagai pihak penyusun penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing satu Tugas Skripsi.
5. Bambang Prio Hartono, ST selaku Dosen Pembimbing dua Tugas Skripsi.
6. Rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu-persatu, kami ucapkan banyak terima kasih atas bantuannya dalam proses pembuatan skripsi yang telah saya kerjakan, begitu juga dengan penyelesaian laporan ini.

Penelitian ini telah saya lakukan dengan semaksimal mungkin, namun jika terdapat kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan, saran dan kritik membangun sangat diharapkan guna perbaikan sehingga dapat lebih bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, Agustus 2011

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Tujuan Penelitian .....	1
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metode Penelitian .....	2
1.6. Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Penyaluran .....	4
2.2. Gardu Induk .....	7
2.2.1. Jenis Gardu Induk .....	9
2.2.2. Gardu Induk Pembangkit Listrik .....	10
2.2.3. Gardu Distribusi .....	11
2.3. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	13
2.4. Kualitas Tegangan.....	15
2.5. Kualitas Daya Elektrik .....	17
2.5.1. Klasifikasi Kualitas Daya .....	17
2.5.2. Variasi Tegangan .....	18
2.5.3. Interupsi .....	20
2.5.4. Penurunan Tegangan .....	21
2.5.5. Kenaikan Tegangan .....	23
2.5.6. Besar Jaruh Tegangan .....	24
2.6. Voltage Sag dan Voltage Swell .....	25

2.6.1. Penyebab Voltage Sag .....	25
2.6.2. Perhitungan Nilai Voltage sag dan Voltage Swell Sistem .....	27
2.7. Current Limiting Reactor .....	28
2.7.1. Desain Reactor Pembatas Arus .....	31
2.7.2. Contoh Aplikasi Reactor Pembatas Arus .....	32
2.8. Lilitan Pada Busbar .....	34
<b>BAB III DATA DAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT PENGARUH</b>	
<b>GANGGUAN HUBUNG SINGKAT .....</b>	<b>36</b>
3.1. Gardu Induk Bumicokro .....	36
3.2. Data Beban Trafo 27 Mei 2011 .....	38
3.3. Flowchart Simulasi Pemasang CLR .....	40
3.4. PSCAD Power Sistem Computer Aid Design .....	40
3.4.1. Circuit Contraction .....	41
3.4.2. Plot, Graph dan Measurement .....	42
3.4.3. Runtime .....	42
3.4.4. PSCAD Educational V4.2.1 .....	43
3.4.5. Memulai PSCAD/EMTDC Powes Simulation .....	44
3.5. Konfigurasi Sistem GI Bumicokro .....	46
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>48</b>
4.1. Single Line Sistem Kelistrikan GI Bumicokro .....	48
4.2. Solusi Pengurangan Arus Gangguan Pada GI Bumicokro .....	49
4.3. Mencari Nilai R Pada Saat Terjadi Gangguan .....	49
4.4. Mencari Nilai Induktansi Pada CLR .....	49
4.5. Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan CLR .....	50
4.5.1. Penyulang Sobo .....	50
4.5.2. Penyulang Candi Argo .....	50
4.5.3. Penyulang Kemiri Sewu .....	51
4.5.4. Penyulang Rama 1 .....	51
4.5.5. Penyulang Pandirejo .....	52
4.5.6. Penyulang Japanan .....	52
4.6. Hasil Simulasi Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H .....	53
4.6.1. Penyulang Sobo .....	53

4.6.2. Penyulang Candi Argo .....	53
4.6.3. Penyulang Kemiri Sewu .....	54
4.6.4. Penyulang Rama I .....	54
4.6.5. Penyulang Pandirejo .....	55
4.6.6. Penyulang Japanan .....	55
4.7. Analisa Hasil Simulasi .....	55
4.7.1. Perbandingan Nilai Arus Saat Sebelum dan Sesudah Gangguan Tanpa Menggunakan CLR .....	56
4.7.2. Perbandingan Nilai Arus Saat Sebelum dan Sesudah Gangguan Tanpa Menggunakan CLR 0,026504 H .....	56
4.7.3. Perbandingan Penurunan Nilai Arus Gangguan Dengan Menggunakan CLR 0,026504 H dan Tanpa Dipasang CLR .....	57
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>58</b>
5.1. Kesimpulan .....	58
5.2. Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>



## DAFTAR GAMBAR

2.1.	Single Line Jaringan Sistem Radial .....	5
2.2.	Single Line Jaringan Sistem Spindel .....	5
2.3.	Single Line Jaringan Sistem Interkoneksi .....	6
2.4.	Skema Pengaturan Sistem Distribusi Tenaga Elektrik .....	9
2.5.	Bagan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pelayanan Pelanggan Luar .....	11
2.6.	Aliran Daya Melalui Saluran Pendek .....	15
2.7.	Perubahan Tegangan Sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif .....	16
2.8.	Grafik Tegangan Interupsi Sesaat Pada Sisi Pemakai .....	20
2.9.	Grafik Profil Variasi Tegangan RMS Saat Terjadi Gangguan Fasa ke Tanah .....	21
2.10.	Grafik Profil Tegangan Karena Gangguan Fasa ke Tanah .....	22
2.11.	Grafik Profil Voltage Sag Karena Adanya Gangguan Pada Tempat yang Jauh .....	22
2.12.	Grafik Kenaikan Profil Tegangan Pada Dua Fasa Karena Adanya Gangguan Satu Fasa ke Tanah .....	24
2.13.	Grafik Ilustrasi Voltage Sag dan Voltage Swell .....	25
2.14.	Grafik Voltage Sag Yang Menunjukkan Besaran RMS Voltage Sag pada Peristiwa Motor Starting .....	26
2.15.	Gambaran Terjadinya Voltage Sag .....	27
2.16.	Model Pembagi Tegangan Untuk Voltage Sag dan Voltage Swell .....	27
2.17.	Rangkaian Pengaturan Pemasangan Reactor .....	33
2.18.	Rangkaian Instalasi Reactor Penghubung Bus .....	34
3.1.	Flowchart Penyelesaian Masalah .....	40
3.2.	Metodologi Kerja PSCAD .....	41
3.3.	Komponen dalam Sistem Tenaga .....	42
3.4.	Pengukuran dan Monitoring Pada PSCAD .....	42
3.5.	Penggunaan Runtime pada PSCAD .....	43
3.6.	Tampilan Software PSCAD/EMTDC .....	44
3.7.	Tampilan Master Library .....	45
3.8.	tampilan Modul Utama .....	45

3.9.	Tampilan Single Line GI Bumicokro dalam PSCAD .....	46
3.10.	Tampilan Input Data Trafo 1 .....	46
3.11.	Tampilan Input Data Trafo 2 .....	47
3.12.	Tampilan Input Data Beban .....	47
4.1.	Sistem kelitrikan GI Bumicokro .....	48
4.2.	Grafik Penyulang Sobo Sebelum Pemasangan CLR .....	50
4.3.	Grafik Penyulang Candi Argo Sebelum Pemasangan CLR .....	50
4.4.	Grafik Penyulang Kemiri Sewu Sebelum Pemasangan CLR .....	51
4.5.	Grafik Penyulang Rama 1 Sebelum Pemasangan CLR .....	51
4.6.	Grafik Penyulang Pandirejo Sebelum Pemasangan CLR .....	52
4.7.	Grafik Penyulang Japanan Sebelum Pemasangan CLR .....	52
4.8.	Grafik Penyulang Sobo Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H .....	53
4.9.	Grafik Penyulang Candi Argo Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H .....	53
4.10.	Grafik Penyulang Kemiri Sewu Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H .....	54
4.11.	Grafik Penyulang Rama 1 Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H ...	54
4.12.	Grafik Penyulang Pandirejo Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H .....	55
4.13.	Grafik Penyulang Japanan Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H ...	55
4.14.	Grafik Performace CLR .....	57

## DAFTAR TABEL

2.1.	Table Keuntungan dan Kerugian Sistem Jaringan .....	6
2.2.	Standart Kualitas daya (IEE519 Voltage Limit) .....	18
3.1.	Data Perhitungan Rata-rata Beban Harian Trafo Pada GI Bumicokro.	38
3.2.	Data Rata-rata Beban Penyulang GI Bumicokro .....	38
3.3.	Voltage Sag GI Bumicokro .....	39
3.4.	Data Penurunan Tegangan Akibat Gangguan pada Trafo GI Bumicokro	39
4.1.	Perbandingan Nilai Arus pada Saat Sebelum dan Sesudah Tanpa Menggunakan CLR .....	56
4.2.	Perbandingan Nilai Arus pada Saat Sebelum dan Sesudah Dengan Menggunakan CLR .....	56
4.3.	Perbandingan Nilai Arus Pada Saat Sebelum dan Sesudah Gangguan Menggunakan CLR dan Tanpa CLR .....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang

Keandaan suatu sistem tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh sistem proteksi yang bekerja dalam suatu konfigurasi jaringan distribusi tenaga listrik dimana pengendalian besarnya arus gangguan menjadi hal pokok yang harus ditekan sekecil mungkin untuk menghindari kerusakan permanen pada peralatan akibat gangguan arus hubung singkat sehingga menimbulkan kerugian yang cukup besar. Beberapa permasalahan gangguan tegangan dalam sistem distribusi tenaga listrik yang dapat menyebabkan *voltage sag* antara lain gangguan yang disebabkan oleh kegagalan sistem daya, kegagalan pada salah satu dari *feeder* paralel, dan *starting* motor dengan kapasitas besar. Kegagalan sistem daya yang sering terjadi berupa gangguan arus hubung singkat pada jaringan distribusi tenaga listrik. Salah satu cara untuk membatasi arus pada saat terjadi hubung singkat adalah dengan menggunakan *short-circuit Current Limiting Reactor (CLR)* yang dipasang pada busbar outgoing trafo Gardu Induk.

#### 1.2. Rumusan Masalah

Proses pendistribusian energi listrik dimungkinkan terjadinya suatu gangguan yang dapat menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik baik karena alam maupun hubung singkat sehingga dapat menimbulkan *mal function* pada peralatan hingga terjadinya kerusakan permanen. Bagaimana cara membatasi arus hubung singkat pada saat terjadi gangguan sehingga fungsi proteksi dapat berjalan sempurna dan terhindar dari kerugian akibat kerusakan peralatan.

#### 1.3. Tujuan Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pembatasan arus hubung singkat di dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik akibat gangguan hubung singkat menggunakan *short-circuit Current Limiting Reactor*.

#### 1.4. Batasan Masalah

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

- a. Analisis dan Simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*.
- b. Studi dilakukan pada Gardu Induk Bumicokro Pandaan Pasuruan.
- c. Menganalisa perbandingan arus hubung singkat sebelum dan sesudah dipasang *current limiting reactor* pada setiap incoming penyulang dengan injeksi tegangan di sisi outgoing trafo Gardu Induk.
- d. Mekanisme kerja *short-circuit Current Limiting Reactor*.

#### 1.5. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi literature, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literature ini meliputi hal-hal sebagai berikut:
  - Data-data berasal dari internet yang membantu menunjang penelitian ini.
  - Buku yang terkait dengan studi tentang gangguan dan arus hubng singkat
  - Jurnal terkait dengan spesifikasi *Current Limiting Reactor (CLR)*
2. Pengumpulan data, dimana data-data yang diperlukan antara lain:
  - Data beban Gardu Induk Bumicokro
  - Single Line Gardu Induk bumicokro
3. Membuat simulasi arus gangguan pada jaringan dengan menggunakan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation* kemudian menganalisa tampilan grafik yang terbentuk baik dalam kondisi sebelum dipasang CLR maupun sesudahnya.

#### 1.6. Sistematika penulisan

### BABI : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II : DASAR TEORI**

Disini akan dibahas masalah Gardu Induk, Gangguan Sistem Tenaga Listrik, kualitas daya elektrik dan *Current Limiting Reactor* (CLR).

**BAB III : DATA PARAMETER DAN SOLUSI PEMBatasan ARUS**

Pada bab ini data parameter, pemodelan *Current Limiting Reactor* (CLR) dan metode yang digunakan.

**BAB IV : SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM**

Pada bab ini berisi data dan hasil perbandingan simulasi *PSCAD/EMTDC Power Simulation* sebelum dan sesudah pemasangan *Current Limiting Reactor* (CLR).

**BAB V : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran.



## **BAB II**

### **TEORI DASAR**

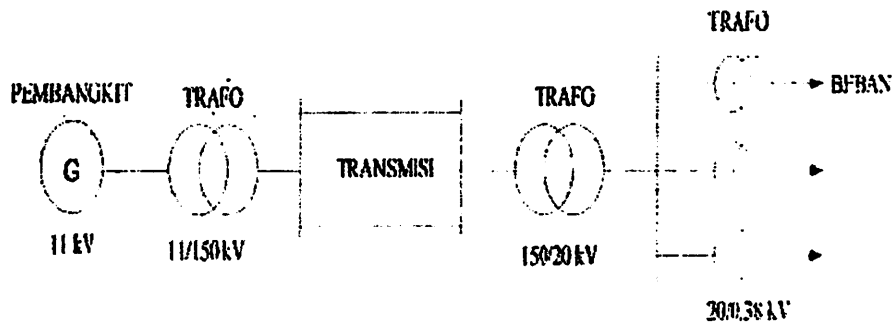
#### **2.1. Penyaluran** <sup>[Marsudi, djiteng. 2006]</sup>

Penyaluran adalah proses pendistribusian energi listrik dari pembangkit hingga ke pusat beban. Dalam proses penyalurannya, energi mengalir melalui beberapa tahap sistem penyaluran, antara lain Penyaluran Transmisi dan Distribusi tenaga listrik. Untuk tahap awal energi listrik dari sumber pembangkit menuju Gardu Induk melalui saluran transmisi baik 500 KV, 250 KV, 150 KV hingga 70 KV. Dari Gardu Induk diturunkan tegangannya menjadi 20 KV oleh trafo step down Incoming GI. Tegangan 20 KV inilah yang sering kita jumpai dipinggir pinggir jalan dialirkan melalui konduktor yang disangga oleh tiang beton setinggi 11 hingga 14 meter. Tentunya tegangan 20 KV masih belum bisa digunakan langsung untuk alat listrik yang ada sehingga harus diturunkan lagi menjadi 220/380 Volt oleh trafo distribusi agar dapat digunakan untuk menyalakan lampu atau peralatan listrik rumah tangga. Peralatan tersebut lazim disebut sebagai beban listrik.

Terdapat beberapa tipe saluran dilihat dari sistem pendistribusiannya, yaitu:

##### **1. Radial**

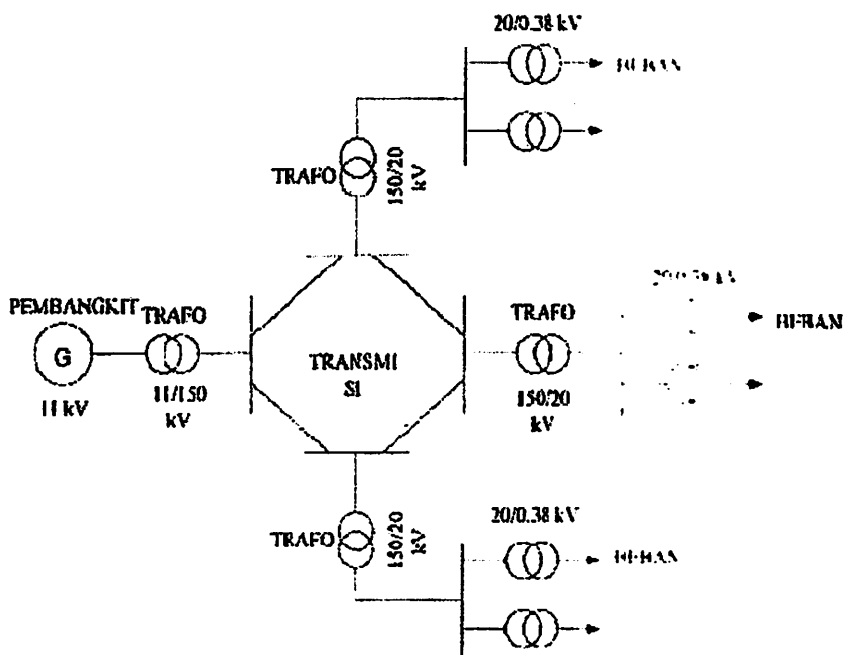
Jaringan ini dinamakan Radial karena saluran ini ditarik secara radial/ satu arah dari satu titik yang merupakan sumber kemudian dicabang- cabangkan ke titik tik beban yang dilayani tanpa menghubungkan antara cabang yang satu dengan cabang yang lainnya. Sistem demikian sering dijumpai di daerah pedesaan dengan topografi ekstrim sehingga ujung jaringan tidak terhubung dengan ujung jaringan yang lainnya. Hal tersebut apabila terjadi gangguan di pangkal, maka semua beban akan padam dan tidak dapat tersaluri energi dari jurusan yang lainnya.



Gambar 2.1  
Single Line Jaringan Sistem Radial

## 2. Spindel/ ring

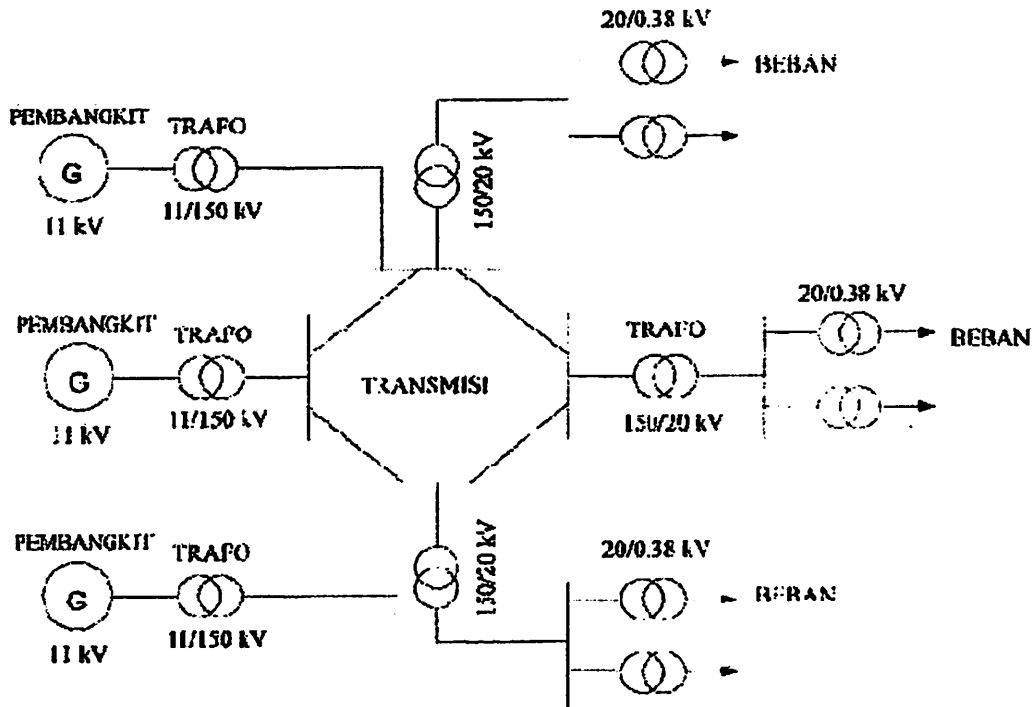
Pada jaringan spindle, antara Jurusan maupun GI yang satu dengan yang lain saling berhubungan sehingga pada sistem ini memungkinkan terjadinya manuver beban/ pengalihan beban dari jurusan satu ke jurusan yang lainnya sehingga apabila terjadi suatu gangguan, dapat dengan mudah diisolir dan wilayah pada tidak meluas karena sebagian daerah padam dapat teraliri lagi dari jurusan lain yang berbeda namun masih berada pada sumber yang sama.



Gambar 2.2  
Single Line Jaringan Sistem Spindel

### 3. Interkoneksi

Sistem Interkoneksi merupakan gabungan dari beberapa pusat pembangkit yang dihubungkan oleh suatu jaringan transmisi dan saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga dalam skala besar, beban di suatu kota dapat dicover oleh daerah lainnnya. Sebagai contoh sumber energi di daerah jawa timur surplus, maka energi surplus tersebut dapat disalurkan ke daerah lain seperti Jawa Tengah maupun Bali.



Gambar 2.3  
Single Line Jaringan Sistem Interkoneksi

Tabel 2.1  
Tabel Perbandingan Keuntungan dan Kerugian Sistem Jaringan

Jaringan	Keuntungan	Kekurangan
Radial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontruksi sederhana</li> <li>• Investasi murah</li> <li>• Mudah dalam mengalirkan listrik dari satu titik ke tempat yang lain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keandalan rendah</li> <li>• Untuk perluasan kurang baik</li> <li>• Jika terjadi gangguan, tidak bisa melokalisir gangguan sehingga area</li> </ul>

		<p>gangguan menjadi luas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak memiliki alternatif suplai energi</li> </ul>
Spindel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontinuitas penyaluran baik</li> <li>• Drop tegangan ujung lebh baik</li> <li>• Perluasan dan pengembangan jaringan baik</li> <li>• Dapat suplai beban dengan kerapatan cukup tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya investasi lebih mahal</li> <li>• Pengaturan sulit dilakukan apabila lokasi Gardu Induk antara satu dengan yang lain sangat jauh</li> </ul>
Interkoneksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontinuitas penyaluran sangat baik</li> <li>• Handal</li> <li>• Pusat Pembangkit tidak perlu bekerja secara optimal karena beban bisa dipikul lebih merata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investasi sangat mahal</li> </ul>

## 2.2. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan salah satu komponen utama dalam suatu proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen. Fungsi dari Gardu Induk antara lain:

1. Mentransformasikan energi listrik dari tegangan tinggi (500KV/150 KV, 150 KV/70 KV) menjadi tegangan menengah (150 KV/20 KV, 70 KV/20 KV)
2. Pengukuran, pengawasan serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.

3. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi setelah melalui penurunan tegangan dan disalurkan melalui penyulang (feeder) tegangan menengah.

Dari fungsi fungsi tersebut terlihat bahwa peralatan di dalam Gardu Induk harus memiliki keandalan yang tinggi sehingga kualitas tenaga listrik sampai ke konsumen dapat secara optimal dan konsumen tidak merasa dirugikan.

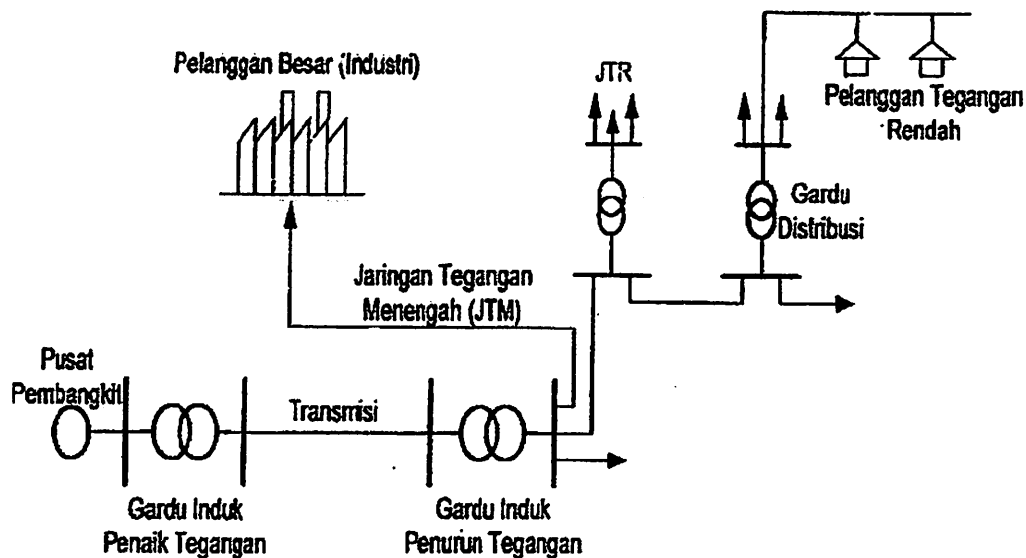
Kontinuitas pelayanan yang baik dan keandalan yang tinggi dari peralatan ditetapkan dengan memperhatikan segi ekonomis dan standar yang berlaku sehingga keandalan dari unjuk kerja peralatan tersebut dapat secara optimal bekerja sebagaimana fungsinya. Sedangkan untuk penempatan peralatan direncanakan sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasian dan pemeliharaan dapat dilakukan dengan mudah, aman dan efektif.

Sistem tenaga listrik memiliki peranan penting dalam proses penyaluran energi listrik dari hulu hingga hilir dimana masyarakat dapat merasakan secara langsung manfaatnya. Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga sub sistem yaitu:

1. Sistem Pembangkitan : berfungsi sebagai sumber awal mula energi listrik diciptakan disebut juga sebagai produsen energi listrik. Pada sistem tersebut seringkali dibedakan sebutannya berdasarkan sumber bahan baku dan prinsip kerja yang digunakan, sebagai contoh PLTA (air), PLTN (nuklir), PLTU (uap pembakaran batubara/gas) dan sebagainya.
2. Sistem Transmisi dan penyaluran: berfungsi sebagai penyalur energi listrik dalam skala besar dari pusat pusat pembangkit menuju Gardu Induk. Objek dari sistem ini lazim diketahui sebagai jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi/ Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET) dengan tiang penyangga menyerupai robot dan biasanya tertanan di medan yang luas dengan jarak lebih dari 300 m antara satu dengan yang lainnya.
3. Sistem Distribusi: berfungsi sebagai distributor tenaga listrik dari Gardu Induk hingga ke konsumen dengan cara ditransformasikan terlebih dahulu oleh Trafo Distribusi dari 20 KV menjadi 220/380 Volt. Energi listrik

dengan tegangan rendah itulah yang dapat digunakan untuk menyalakan peralatan listrik baik satu fasa maupun tiga fasa.

Secara mudah, sistem tenaga listrik dapat digambarkan pada gambar berikut:



Gambar 2.4  
Skema Pengaturan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 2.2.1. Jenis Gardu Induk

Gardu Induk (GI) dapat diklasifikasikan berdasarkan lokasi pemasangan peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan energi dari sistem penyaluran antara lain:

#### 1. Gardu Induk Jenis Pasangan Luar

Adalah Gardu Induk yang peralatan tegangan tingginya (trafo incoming, switchgear/penghubung, dsb) terpasang di luar. Sedangkan peralatan kontrol berada di dalam seperti rele proteksi, alat ukur energi dan baterai. Jenis pemasangan luar memerlukan tanah yang luas namun biaya konstruksinya murah dan pendinginnya mudah. Oleh sebab itu Gardu Induk Jenis ini biasanya di pasang di daerah pinggiran kota dimana harga tanah murah.

#### 2. Gardu Induk Jenis Pasangan Dalam

Adalah gardu induk yang peralatan tegangan tinggi dan kontrol nya berada di dalam. Jenis pemasangan dalam ini biasa dipakai di pusat kota dimana harga tanah mahal atau di daerah pantai untuk mencegah kontaminasi garam terhadap



peralatan. Karena lokasi berada di dalam suatu gedung, maka sistem pendingin dan pengamanan terhadap aktifitas manusia memiliki tingkatan yang lebih tinggi sehingga membutuhkan biaya yang lebih mahal.

### 3. Gardu Induk Jenis pasangan Bawah Tanah

Adalah gardu induk yang semua peralatannya terpasang di dalam bangunan bawah tanah. Jenis ini biasanya dipakai di pusat kota dimana tanah sukar didapatkan, misalnya di bagian kota yang sangat ramai, di jalan jalan pertokoan dan perkantoran dengan gedung gedung bertingkat di sekitarnya.

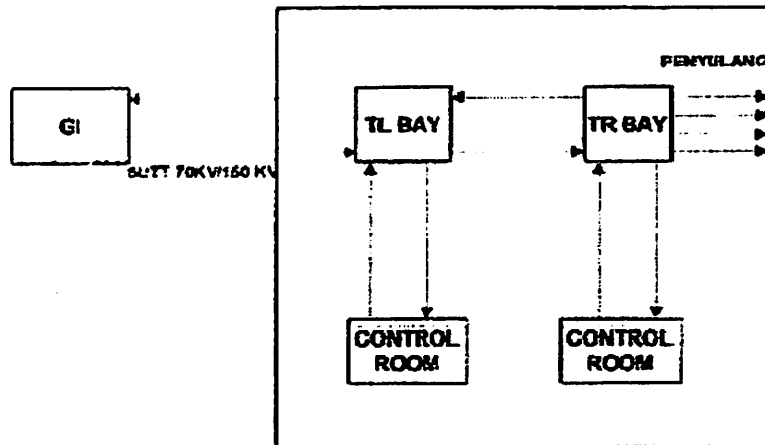
#### 2.2.2. Gardu Induk Pembangkit Listrik

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 out put anatar 18 KV samapi dengan 24 KV. Tegangan tersebut tidak langsung disalurkan ke pusat beban, akan tetapi masih dinaikkan terlebih dahulu dengan menggunakan trafo step up menjadi tegangan 150 KV atau 500 KV, tergantung pada transmisi yang akan dilalui. Dari gardu induk inilah selanjutnya energi listrik tersebut di salurkan ke gardu induk di pusat pusat beban melalui jaringan transmisi SUTET 500 KV, SUTT 150 KV dan SUTT 70 KV. Langkah penaikan tegangan tersebut dilakukan agar energi tidak habis dalam perjalanan mengingat jarak sumber pembangkit deng gardu induk sangat jauh yang berdampak pada drop tegangan yang luar biasa.

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 dan juga kepentingan lainnya untuk menunjang operasional seperti energize peralatan proteksi, kontaktor kontaktor, pemutus daya dan sebagainya.

Gardu Induk yang ada di pelanggan pada umumnya terdiri dari dua sisi yang terpisah, 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 sisi pelanggan. Dengan demikian akan terdapat dua ruang kontrol, yaitu kontrol TL Bay dan kontrol TR Bay.



Gambar 2.5

Bagan Sistem Tenaga Listrik untuk Pelayanan Pelanggan Luar

### 2.2.3. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang terdiri dari trafo tenaga dengan peralatan penghubung dan pemutus tenaga serta peralatan hubung bagi tegangan rendah yang terletak pada suatu bangunan atau konstruksi tertentu. Secara umum peralatan Trafo distribusi terdiri dari :

1. Trafo tenaga berfungsi sebagai pembagi daya sekaligus sebagai penurun tegangan dari 20 KV menjadi 220/400 volt. Pada trafo tenaga ini dilindungi oleh pemutus tenaga di setiap fasa incoming trafo yang bernama fuse cut out dan saklar pemisah.
2. PHB TR adalah perlengkapan gardu distribusi pada sisi tegangan rendah yang berfungsi sebagai panel pembagi sebelum disalurkan kepada konsumen tegangan rendah atau penerangan jalan.

Pada trafo distribusi juga memiliki sistem pentanahan sendiri, antara lain:

1. Pentanahan untuk pengamanan terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir
2. Pentanahan netral untuk mengambil sistem netral dari tanah
3. Pentanahan sebagai pengaman terhadap kebocoran arus/ tegangan sentuh.

Berdasarkan pemasangannya, trafo distribusi diklasifikasikan menjadi:

### 1. Gardu Beton

Pada Gardu Beton, trafo tenaga dan PHB TRnya dipasang pada suatu bangunan beton bertulang. Sistem pendinginnya secara alami melalui lubang angin yang ada di bagian atas atau bawah dinding bangunan dimana lubang angin tersebut tidak bisa dilalui binatang seperti ular, tupai dan kucing yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem penyaluran. Bangunan ini diberi pintu yang selalu terkunci dan peralatan berada di dalamnya. Di dalam bangunan beton tersebut dibagi menjadi dua bagian yang berfungsi untuk ruangan sistem tegangan menengah dan satunya lagi ruangan sistem tegangan rendah. Pada sistem tegangan menengah terdapat rel busbar penghubung, pemutus daya dan trafo tenaga. Pada sistem tegangan rendah terdapat PHB TR dan peralatan lain.

### 2. Gardu Portal

Gardu jenis ini semua peralatannya terdapat di luar/ out door, sehingga semua peralatan harus kedap air. Trafo tenaga bertumpu pada tiang yang dipasang kuat. Panel Hubung Bagi TR terpasang di bawahnya. Instalasi listrik terlindungi dengan baik dari terjadinya kebocoran arus. Selain itu secara mekanik juga terlindungi dengan baik. Pada jenis ini sering kita jumpai di jalan- jalan dimana terdapat trafo yang terletak di atas diantara dua tiang dan dibawahnya terdapat sebuah kotak besi yang berisi peralatan pembagi daya.

### 3. Gardu Bergerak/ mobile

Pada gardu bergerak, trafo tenaga berada di dalam suatu box besi dimana bertumpu pada empat roda yang memungkinkan untuk ditarik oleh kendaraan lain sehingga bisa bergeser dari lokasi satu ke lokasi lainnya. Peralatan pembagi daya berada didalamnya dan terdapat kontrol energi dan tombol- tombol pemutus di bagian dinding luar. Gardu ini sangat

cocok untuk kondisi emergency akibat trafo overload atau perbaikan/perubahan kapasitas daya.

### Komponen dan fasilitas Gardu Induk

Terdiri dari:

1. Rel Busbar dan Switchgear
2. Transformator Daya
3. Pemisah, PMS/ DS (disconnecting Switch)
4. Pemutus Tenaga (PMT) berupa CB (Circuit Breaker)
5. Trafo Arus (CT, Current Transformer)
6. Trafo Tegangan (PT, Potensial Transformer)
7. Arrester
8. Band Trapp
9. Coupling Capacitor Device (CCD)
10. Reaktor dan rele Proteksi
11. Kapasitas Daya

### 2.3. Gangguan pada sistem tenaga listrik

Pada dasarnya gangguan dalam sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan gangguan yang bersifat permanen. Gangguan yang bersifat sementara atau *temporary fault* terjadi dalam waktu yang singkat kemudian normal kembali, hal ini biasanya karena jaringan bersentuhan oleh dahan pohon akibat angin. Sesaat setelah trip, maka alat pengaman akan otomatis menyalurkan kembali dalam periode tertentu. Kondisi yang singkat tersebut diusahakan tidak sampai memadamkan sistem yang lain/ simpatitik trip atau bahkan secara keseluruhan/ black out. Hal tersebut dapat dicegah dengan adanya koordinasi rele proteksi yang baik sehingga kontinuitas suplay tenaga listrik berjalan dengan baik.

Secara umum jenis gangguan dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Gangguan Shunt

- Gangguan tiga fasa ( $3\phi$ )
- Gangguan Line to Line (L-L)
- Gangguan Double Line to Ground (2L-G)
- Gangguan Single Line to Ground (SL-G)

2. Gangguan Seri

- Gangguan satu saluran terbuka
- Gangguan dua saluran terbuka
- Impedansi seri tak seimbang

3. Gangguan Simultan merupakan dua jenis gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan, berupa:

- Gangguan shunt dengan gangguan shunt
- Gangguan shunt dengan gangguan seri
- 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 hubung 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 beberapa akibat yang ditimbulkan oleh arus hubung singkat simetris antara lain:

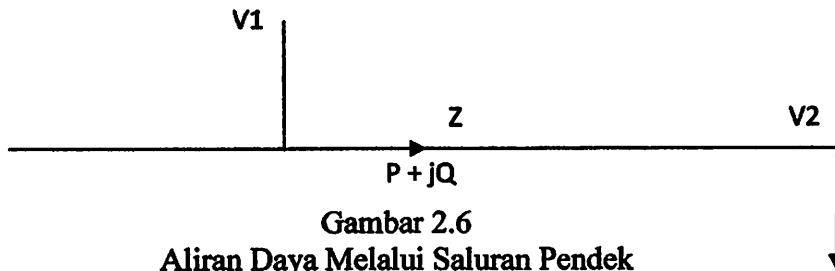
- Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus yang sangat besar.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan tersebut sampai mengakibatkan PMT di Gardu Induk terbuka.

2. Gangguan hubung singkat tak simetris

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

2.4. Kualitas Tegangan

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



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

$$V_2 = V_1 - IZ \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

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

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



Jika  $V_1$  dipilih sebagai referensi maka dapat dianggap mempunyai sudut nol, maka persamaannya menjadi:

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

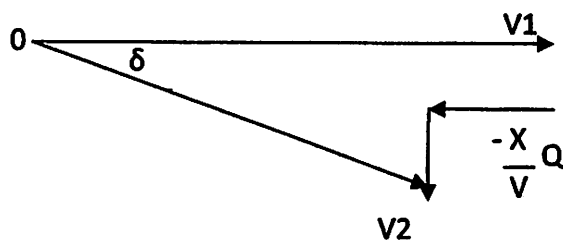
Substitusi persamaan

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

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

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

Persamaan di atas dapat dilihat dalam bentuk gambar berikut:



Gambar 2.7

Perubahan Tegangan sebagai Fungsi Aliran Daya Reaktif

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan :

1. Perubahan daya aktif  $\Delta P$  pada dasarnya hanya mempengaruhi sudut fasa tegangan sedangkan magnitudo tegangan hampir tidak berubah.
2. Perubahan daya reaktif  $\Delta Q$  pada dasarnya hanya mempengaruhi magnitudo tegangan  $V$  dan hampir tidak berpengaruh pada sudut fasa tegangan.

## **2.5. Kualitas Daya Elektrik** [Stevenson,D,William. 1998]

### **2.5.1. Klasifikasi Kualitas Daya**

Istilah kualitas daya digunakan secara luas dalam fenomena elektromagnetik pada sistem daya. Peningkatan penggunaan peralatan elektronika telah memberikan keinginan yang sangat tinggi menganalisis kualitas sistem dengan pengembangan terminologi khusus untuk menggambarkan fenomena tersebut.

Gangguan terhadap kualitas daya elektrik dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Transien tegangan lebih : Transien tegangan lebih ini berupa transiens impuls yang disebabkan oleh sambaran petir dan transien osilasi yang disebabkan oleh energisasi kapasitor bank, saluran dan transformator.
2. Gangguan variasi tegangan : tegangan variasi ini disebabkan pengasutan motor yang mengakibatkan terjadinya tegangan seperti *voltage dip*, *swell* dan interupsi.
3. Distorsi harmonisa : Harmonisa ini muncul sebagai akibat beroperasinya beban non linier satu fasa dan harmonisa ketiga serta beban non linier tiga fasa.
4. Fluktuasi Tegangan : Gangguan ini disebabkan oleh adanya flicker dan gangguan tidak seimbang.

Dengan semakin tingginya biaya atau tarif listrik, maka tuntutan terhadap keandalan dan kualitas daya menjadi pertimbangan utama. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh penggunaan jenis – jenis beban tertentu, sebagai contoh beban non linier yang sangat berpengaruh terhadap kualitas daya akibat munculnya harmonisa ketiga, kelima dan ketujuh. Dengan adanya pengoperasian beban seperti ini, maka akan menghasilkan kualitas tegangan yang buruk sehingga menimbulkan banyak kerugian. Untuk mendapatkan kualitas daya 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 buruk, contohnya dengan menggunakan alat kompensasi. Sehingga kerugian dapat diminimalkan agar

kualitas tenaga listrik dapat optimal sehingga kontinuitas pelayanan semakin terjaga. Berikut tabel standar Kualitas Daya (IEE 519 Voltages Limits)

Tabel 2.2  
Standart Kualitas Daya (IEE 519 Voltage Limit)

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

### 2.5.2. Variasi Tegangan

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 variasi tegangan durasi pendek atau panjang, sangat tergantung dari waktu yang digunakan untuk mengasut motor hingga mencapai kecepatan normalnya. 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 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 perisai 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 terbeban lebih dapat menyebabkan terjadinya *under voltage*

### c. Interupsi permanen

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

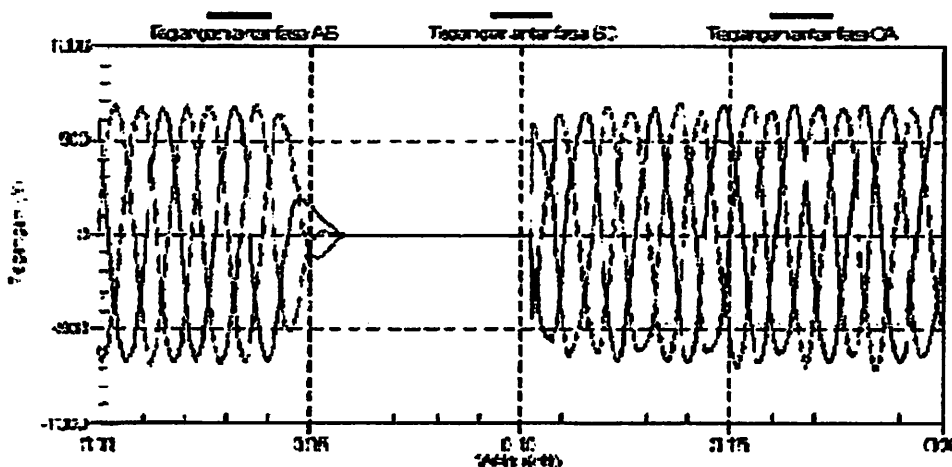
## 2. Variasi Tegangan durasi pendek

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 ini dampak pada tegangan selama terjadinya kondisi gangguan yang sebenarnya adalah variasi dalam durasi yang singkat hingga peralatan proteksi memulihkan gangguan.

### 2.5.3. 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 10% tegangan nominal. Durasi suatu interupsi yang disebabkan gangguan pada sistem utility ditentukan waktu operasi dari peralatan proteksi utility.



Gambar 2.8  
Grafik Profil Tegangan Interupsi Sesaat pada Sisi Pemakai

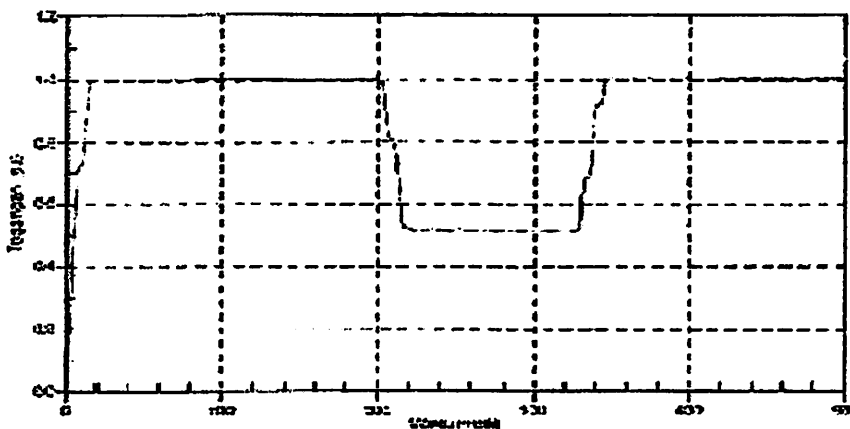
Penutupan sesaat (*instantaneous reclosing*) umumnya akan membatasi interupsi yang disebabkan oleh gangguan tidak permanen lebih kecil dari 30 siklus. Penundaan penutupan dari peralatan proteksi dapat menyebabkan interupsi temporer. Durasi interupsi yang disebabkan oleh gagalnya fungsi peralatan atau 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 dengan waktu beroperasinya peralatan.

#### 2.5.4. Penurunan Tegangan

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.

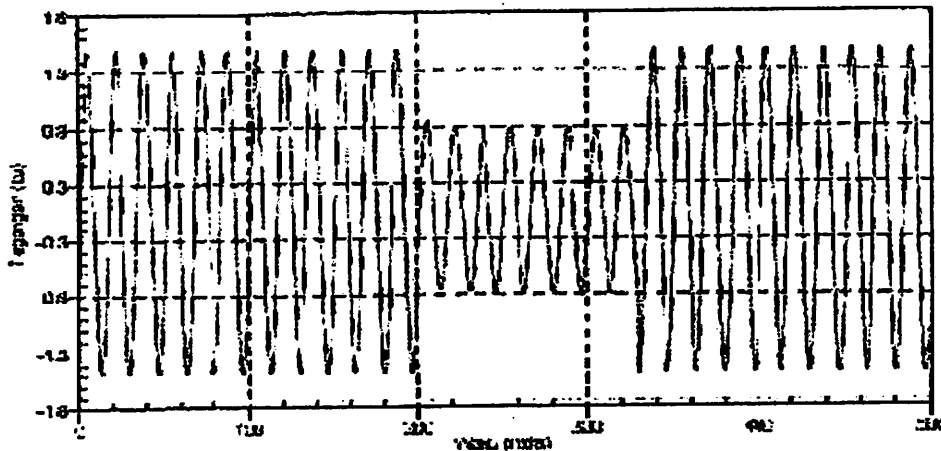
Gangguan tegangan ini dikarakteristikan oleh perubahan besaran tegangan dalam durasi singkat yang dirasakan oleh konsumen. Sebagai efek yang dirasakan oleh konsumen sangat tergantung pada besaran tegangan selama terjadinya gangguan, lama terjadinya gangguan, dan sensitifitas dari peralatan konsumen. Penurunan tegangan biasanya terjadi karena gangguan pada sistem, adanya energisasi beban- beban berat atau pengasutan motor induksi yang besar. Gambar berikut memperlihatkan variasi penurunan tegangan yang disebabkan oleh gangguan tiga fasa ke tanah (SLG, *single Line Ground*) pada feeder lain di *substasion* yang sama.



Gambar 2.9  
Grafik Profil Variasi Tegangan RMS saat Terjadi Gangguan Fasa ke Tanah

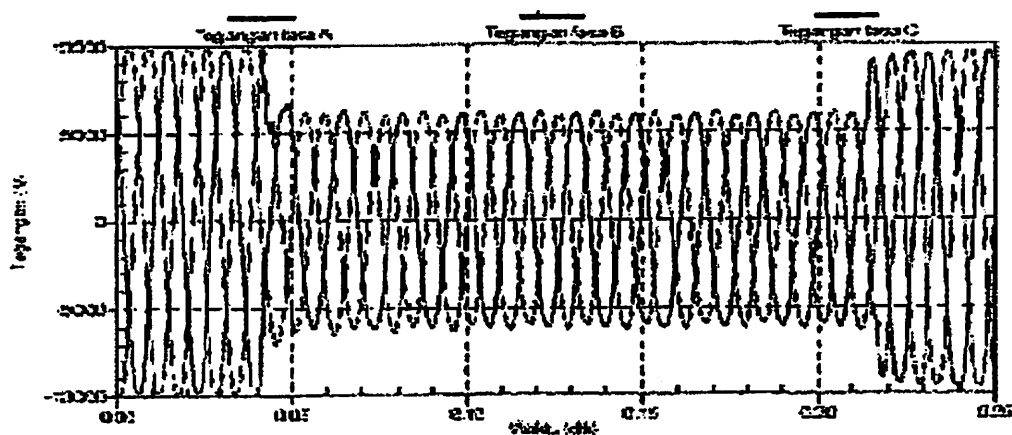


Gambar di bawah memperlihatkan profil penurunan tegangan karena adanya gangguan fasa ke tanah yang berlangsung sekitar 125 ms



Gambar 2.10  
Grafik Profil Tegangan karena Gangguan Fasa ke Tanah

Penurunan tegangan juga dibagi dalam tiga kategori, yaitu penurunan tegangan sesaat, penurunan tegangan sementara, dan penurunan tegangan temporer. Gambar 2.10 menunjukkan profil penurunan tegangan yang disebabkan oleh gangguan yang terjadi pada lokasi yang jauh.



Gambar 2.11  
Grafik Profil Tegangan (sag) karena Adanya Gangguan pada Tempat yang Jauh

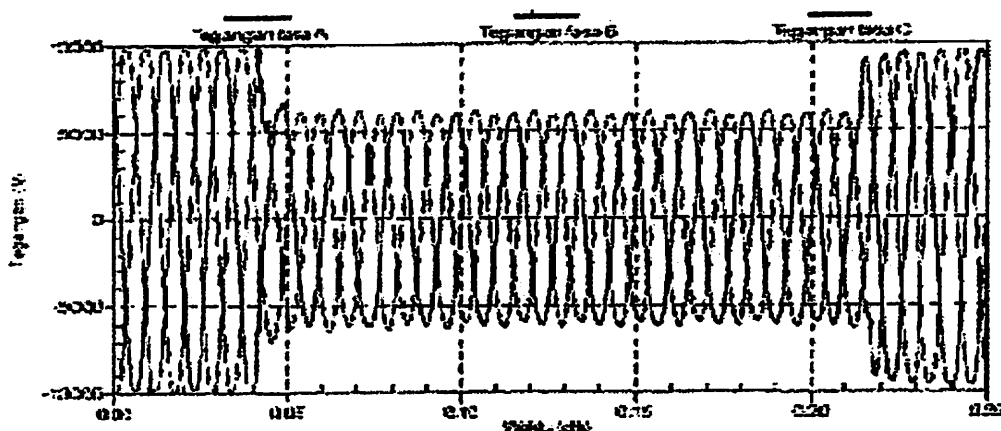
### 2.5.5. Kenaikan Tegangan

Durasi kenaikan tegangan terbagi dalam tiga kategori yaitu sesaat (*instantaneous*), sementara (*momentary*) dan temporer (*temporary*) yang juga terbagi dalam kategori interupsi (*interruption*) kenaikan tegangan (*swells*). Kenaikan tegangan/ swell didefinisikan sebagai kenaikan tegangan atau *rms* antara 1,1 pu hingga 1,8 pu pada frekuensi daya selama durasi waktu 0,5 siklus hingga 1 menit. Sepertihalnya penurunan tegangan, kenaikan tegangan biasanya berhubungan dengan kondisi gangguan sistem namun tidak umum kondisi tersebut. Suatu kondisi 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* durasi waktu. Ciri dari penurunan tegangan selama kondisi gangguan sangat dipengaruhi oleh 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 dengan penurunan tegangan sesaat yang nilainya tidak terlalu tinggi. Penyebab paling umum munculnya kenaikan tegangan disebabkan oleh kondisi gangguan satu fasa ke tanah. Selama gangguan satu fasa ke tanah, tegangan pada fasa yang tidak terganggu akan mengalami kenaikan tegangan sehubungan dengan 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 dikontrol 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 berikut memperlihatkan profil kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu pada gangguan satu fasa ke tanah pada suatu feeder distribusi.



Gambar 2.12  
Grafik Kenaikan Profil Tegangan pada Dua Fasa  
karena Adanya Gangguan Satu Fasa ke Tanah

#### 2.5.6. Besar Jatuh Tegangan (*drop voltage*)

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%, sehingga bila ditotal sejumlah 18%

Sesuai dengan definisinya, jatuh tegangan adalah

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

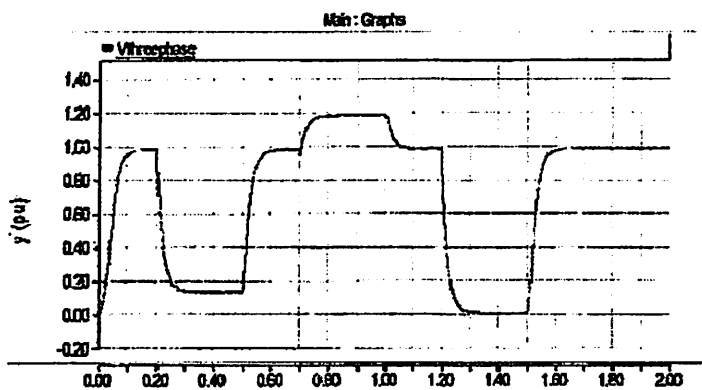
Dengan,

$V_k$  = nilai mutlak tegangan ujung kirim

$V_t$  = nilai mutlak tegangan ujung trima

## 2.6. Voltage Sag dan Voltage Swell

Kebutuhan akan energi listrik berkembang sangat pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi di suatu daerah. Tuntutan konsumen pun terus berkembang, kontinuitas dan kualitas tegangan menjadi prioritas. Gangguan terhadap tegangan yang biasa terjadi antara lain *Voltage Sag*, *Voltage swell*, fluktuasi tegangan, harmonisa dan juga ketidak seimbangan tegangan. Gangguan yang sangat berpengaruh pada kualitas tegangan adalah *Voltage Sag* dan *Voltage Swel*.

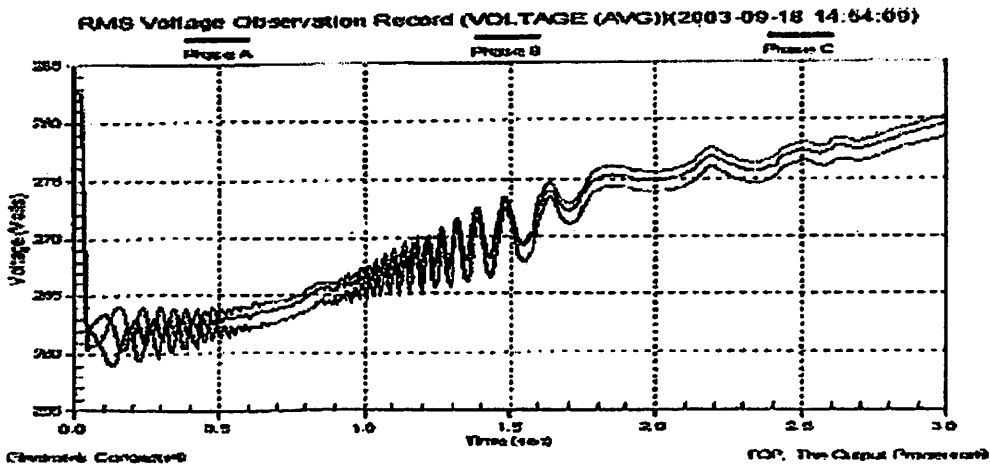


Gambar 2.13  
Grafik Ilustrasi Voltage Sag dan Voltage Swell

### 2.6.1 Penyebab Voltage Sag

*Voltage Sag* dan *Voltage Dip* merupakan penurunan tegangan pada frekuensi daya antara 0.1 pu 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

Grafik Voltage Sag di atas menunjukkan suatu besaran rms *voltage sag* untuk suatu peristiwa motor starting. Peristiwa ini direkam dengan Dranetz-BMI 5530

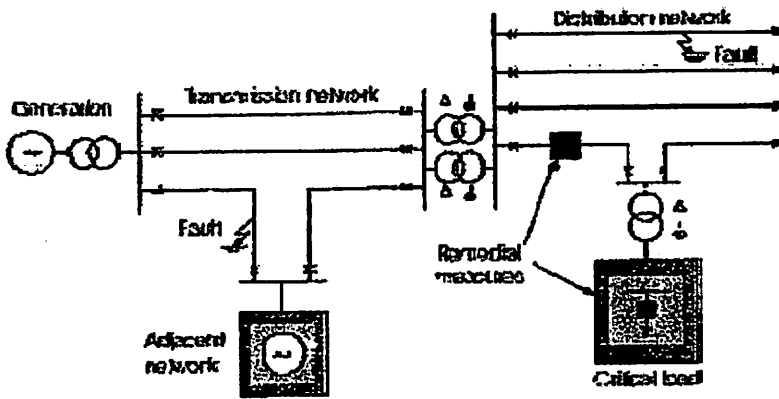
Data Node

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

Untuk mengetahui besaran *voltage sag* bergantung pada:

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

Terjadinya *voltage sag* akibat fault dapat diilustrasikan sbb:

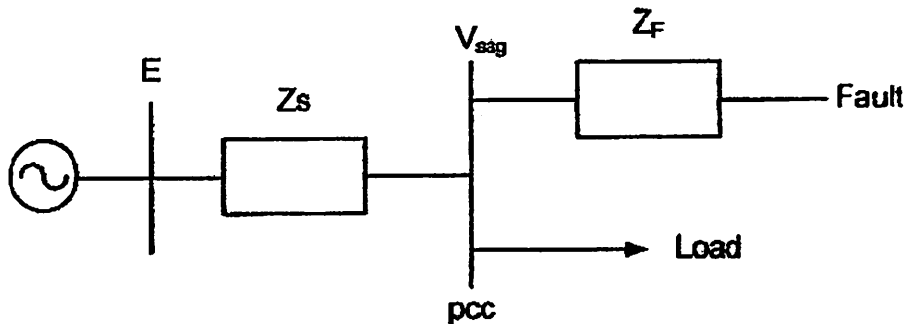


Gambar 2.15

Gambaran Terjadinya Voltage Sag

**2.6.2 Perhitungan Nilai Voltage Sag dan Voltage Swell Sistem**

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



Gambar 2.16

**Model Pembagi Tegangan Untuk Voltage Sag dan Voltage Swell**

Dari Gambar tersebut di atas dilihat adanya 2 impedansi yaitu;  $Z_s$  (impedansi sumber) pada titik kopling bersama dan  $Z_f$  (impedansi antar 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:

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

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

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

Perhitungan nilai *voltage sag* di atas juga dapat diterapkan untuk perhitungan *voltage swell*

## 2.7 Current Limiting Reactor <sup>[www.nwl.com/]</sup>

Arus gangguan tiga fasa biasanya hanya terjadi dalam spesifikasi parameter pada reaktor pembatas arus. Titik awal spesifikasi adalah rangkaian arus  $I_k$ . Dengan pengecualian pemasangan reaktor di sekitar generator, gangguan arus hubung singkat dianggap sama dengan kondisi awal. Durasi terjadinya arus hubung sangat tergantung pada sistem protection dan jenis switchgear/ saluran. Sebagian besar standar menggunakan asumsi durasi maksimum selama dua detik. Beban puncak dipengaruhi arus hubung singkat simetris menggunakan  $K$  sebagai faktor beban puncak biasanya diasumsikan 1,8. Besarnya arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{KS} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_K = 2,55 \cdot I_K \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana inductansi  $L$ , kondisi awal arus hubung singkat.  $I_k$  atau  $I_{kd}$  dimana durasi arus hubung singkat tertinggi yang akan diset. Desain reaktor seri sepenuhnya ditentukan dan dirancang sesuai dengan IEC 60076-6. Reaktor harus tahan terhadap rata-rata arus hubung singkat

$$I_{RD} = \frac{I_N \cdot 100}{U_K} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Jika terjadi hubung singkat pada suplai jaringan dengan urutan yang sama maka nilainya sama dengan yang terjadi pada jaringan yang akan dilindungi. Impedansi

hubung singkat pada suplai jaringan dapat diambil dengan mempertimbangkan nilai dimensi reaktor. Perhitungan yang tepat dari arus hubung singkat tidak mudah karena beberapa parameter sistem yang mempengaruhi, oleh sebab itu sebaiknya menggunakan metode perhitungan yang disederhanakan. Perhitungan perkiraan arus hubung singkat dijelaskan secara rinci dalam IEC 60909-0 "arus hubung singkat tiga fasa sistem arus bolak balik, perhitungan nilai arus". Untuk perhitungan komponen- komponen yang relevan dari jaringan, termasuk semua sumber daya, dimodelkan dalam bentuk impedansi, pada lokasi gangguan sumber tegangan nilainya setara dengan yang dimasukkan. Faktor tegangan memiliki nilai yang tidak pasti, berbagai ketidakpastian dalam perhitungannya, biasanya diasumsikan 1,1. Menggunakan arus hubung singkat ditentukan dari tegangan dan impedansi dimana memiliki nilai yang setara.

Masalah pada metode ini adalah perlunya mengubah impedansi pada tegangan referensi (tegangan di lokasi gangguan). Ini sebaiknya dihindari dengan menggunakan prosedur yang lebih sederhana, yang disebut "metode perhitungan dengan penurunan presentasi tegangan hubung singkat ". Metode ini menggunakan penurunan impedansi tegangan pada jaringan. Tegangan hubung singkat yang berubah ubah terkait dengan daya transmisi pengenal 1 MVA. Rumus yang digunakan untuk metode ini adalah :

$$u' = \frac{U_K}{N_n} \dots\dots\dots (2.12) \quad u' = \frac{100}{N_K} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana:

$U'$  = penurunan, persentase drop tegangan

$U_k$  = tegangan hubung singkat dalam prosen

$N_n$  = Daya rata-rata pada transmisi dalam MVA

$N_k$  = Daya hubung singkat dalam di MVA

Nilai dari persentase penurunan tegangan drop rangkaian seri dijumlahkan, nilai dalam paralel dihitung seperti resistor paralel terhubung pararel. Dihuungkan secara Seri

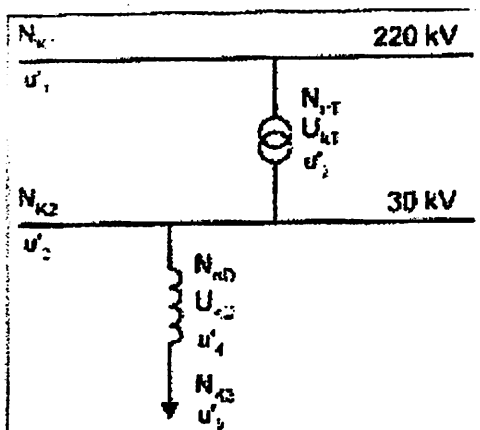
$$u' = u'_1 + u'_2 \dots\dots\dots (2.14)$$



Dihubungkan secara Pararel

$$u' = \frac{u'_1 \cdot u'_2}{u'_1 + u'_2} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Contoh berikut menggambarkan perhitungan dari desain parameter reaktor pembatas arus dengan metode ini, tampak pada gambar berikut:



Diketahui Daya hubung singkat penyulang 30 kV pada busbar 30 kV , tidak boleh melebihi 200 MVA. Kemampuan arus hubung singkat pada sistem 220 kV adalah 1000 MVA, transformator memiliki daya pengenal 40 MVA dan tegangan hubung singkat berkisar 10%. Tegangan hubung-singkat yang diperlukan reaktor tidak diketahui, arus pengenal feeder adalah 400 A yang setara dengan 20,8 MVA

Simbol-simbol yang digunakan antara lain:

- $U_n$  = Tegangan Nominal dalam kV
- $N_{k1}$  = Daya hubung singkat pada jaringan dalam MVA
- $N_{nT}$  = Rata- rata daya Transformator dalam MVA
- $U_{kt}$  = Tegangan hubung singkat Transformator dalam persen
- $N_{k2}$  = Daya hubung singkat pada busbar 20 kV dalam MVA
- $U_{kd}$  = Tegangan hubung singkat pada reaktor dalam Prosen
- $N_{nD}$  = Rata- rata Daya Transformator dalam MVA
- $N_{k3}$  = Daya hubung singkat setelah dipasang reaktor dalam MVA
- $U'_1 \dots U'_s$  = Prosentase tegangan drop yang diserap pada lokasi, dalam persen

Dengan menggunakan rumus, maka di dapatkan keterangan sebagai berikut:

- $N_{k1}$  = 1000 MVA
- $U_{kd}$  = 10 %

$$N_{nT} = 40 \text{ MVA}$$

$$u'_1 = \frac{110}{N_{K1}} = \frac{110}{1000} = 0,11 \%$$

$$U'_2 = \frac{U_{KT}}{N_{nT}} = \frac{10}{40} = 0,25 \%$$

Untuk menghitung daya hubung singkat pada busbar 30 kV nilai  $U'_1$  dan  $U'_2$  bisa dijumlahkan sehingga didapatkan :

$$u''_3 = 0,11 + 0,25 = 0,36\%$$

$$N_{K2} = \frac{100}{u''_3} = \frac{110}{0,36} = 305 \text{ MVA}$$

Daya hubung singkat pada penyulang setelah menggunakan reaktor tidak boleh melebihi 200 MVA, sehingga:

$$u'_5 = \frac{110}{N_{K3}} = \frac{110}{200} = 0,55\%$$

Tegangan drop pada reaktor adalah

$$U'_4 \text{ (coll)} = U'_5 - U'_3 = 0,55 - 0,36 = 0,19\%$$

Tegangan hubung singkat pada reaktor yang dikehendaki

$$U_{KD} = U'_4 \cdot N_{rD} = 0,19 \cdot 20,8 = 3,95\%$$

Gangguan arus hubung singkat simetris pada reaktor dapat dihitung

$$I_{KD} = \frac{N_{K3}}{U_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{200}{30 \cdot \sqrt{3}} = 3,85 \text{ kA}$$

Sehingga Arus rata-rata gangguannya  $3850/400 = 9,65$  ampere

### 2.7.1. Desain reaktor pembatas arus

Inti udara jenis CLR kering sangat kuat dan memiliki desain yang sederhana telah digunakan selama beberapa dekade. Dibandingkan dengan minyak dengan kumparan yang dibenamkan dengan inti besi dibandingkan dengan reaktor inti udara memerlukan biaya investasi jauh lebih rendah.

Sebuah reaktor inti udara berbentuk silinder dipasang pada sejumlah isolator. Saat gulungan dibuat dari bahan tembaga dapat menyebabkan beratnya

lebih tinggi, harganya lebih mahal dan tidak memberikan keuntungan secara teknis dibandingkan dengan gulungan alumunium. Alumunium digunakan hampir secara keseluruhan sebagai bahan untuk gulungan. Bagian isolasinya terdiri dari kombinasi film dan pita kain. Diisi dengan resin di dalamnya, digulung secara manual dapat mengatasi perubahan energi selama terjadinya gangguan hubung singkat.

Keuntungan utama dari sebuah reaktor inti udara adalah sebagai berikut:

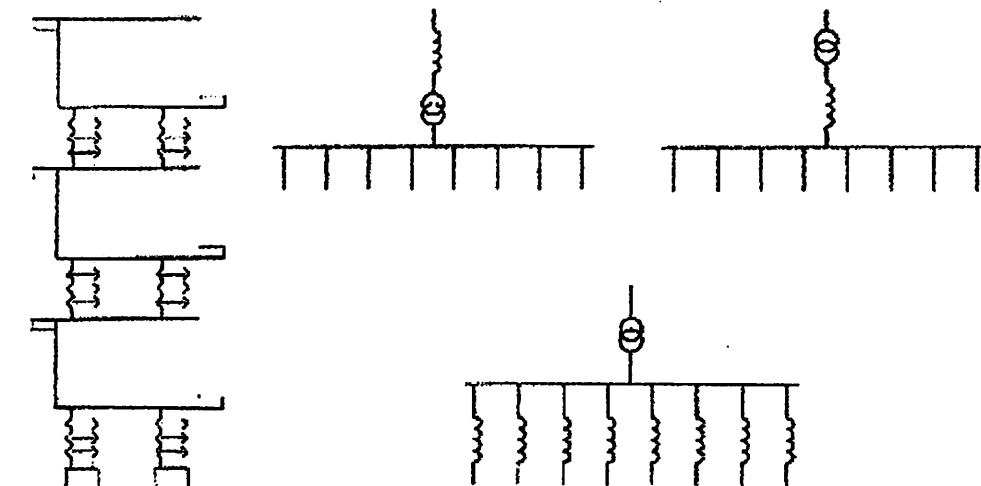
- Induktansinya konstan, bahkan untuk arus-pendek, tanpa efek saturasi
- Tidak ada minyak isolasi dan karena itu tidak ada risiko dari kemungkinan kontaminasi tanah dan bahaya kebakaran diabaikan bila dibandingkan dengan reaktor minyak.
- Isolasi sederhana dapat langsung ditanahkan

Sejak reaktor tipe kering tidak memiliki inti besi atau lempeng besi maka medan magnet dapat menyebar di sekitarnya. Daerah sekitar harus memperhitungkan terutama kumparan reaktansi tiga fasa dimana memiliki inti udara dengan gulungan fasa yang telah tersusun.

Reaktor Tiga fasa yang ditumpuk akan menunjukkan waktu yang bervariasi gaya aksial antara kumparan fasa selama hubung singkat dua atau tiga fasa. Besarnya nilai hubung singkat tergantung pada jarak antara kumparan, besarnya daya dari pusat ke kumparan luar jauh lebih tinggi dari pada di antara kedua kumparan luar. Membalik arah gulungan dengan kumparan luar, menyebabkan kumparan disampingnya tertarik satu sama lain pada waktu yang bervariasi hingga kekuatan mencapai maksimum selama arus hubung singkat tiga fasa. Kekuatan kontraksi ini diserap oleh insulator antara kumparan. Selanjutnya, kopleng magnetik antara kumparan sangat efektif untuk meningkatkan nilai induktansi dari pusat kumparan. Hal ini dapat dikompensasi dengan cara pengurangan induktansi diri dari fasa terpusat dengan mengurangi jumlah lilitannya.

### **2.7.2. Contoh aplikasi reaktor pembatas arus.**

Penerapan CLR digambarkan dalam rangkaian sederhana. Tiga pengaturan reaktor terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.17  
Rangkaian Pengaturan Pemasangan Reaktor

Daya hubung singkat pada outgoing penyulang merupakan rangkaian sederhana yang terdiri dari sebuah transformator penyulang dan busbar dengan delapan outgoing penyulang harus dikurangi dengan jumlah yang sesuai. Tergantung pada lokasi reaktornya, beberapa permasalahan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Reaktor pada incoming penyulang

Pada reaktor ini biaya investasi paling rendah, semakin besar unitnya akan lebih murah dari beberapa unit yang lebih kecil. Keuntungan lainnya persyaratan ruangnya lebih mudah dan biaya instalasi jauh berkurang. Salah satu kerugian dibandingkan dengan desain yang lainnya adalah susutnya lebih tinggi dan fluktuasi tegangan tinggi saat busbar beban penuh dengan beban rendah. Pilihan ini tidak boleh digunakan jika konsumen listrik dengan daya besar dan dengan beban yang bervariasi yang terhubung dengan jalur keluaran sehingga dapat mengurangi kualitas tegangan pada konsumen lainnya.

Pilihan yang ditampilkan pada gambar di atas hanya berbeda pada lokasi reaktornya, baik pada sebelum atau sesudah transformator. Kesalahan yang mungkin antara kumpulan dengan transformator dan transformator tidak bisa membuktikan hubung singkat (misalnya otomatis transformator) reaktor harus di setting pada kondisi tertinggi pada transformator, jika transformator merasakan hubung singkat, pilihan lokasi

kumparan terbuka dan dapat dibuat sesuai dengan kondisi ruang untuk mendapatkan nilai terbaik.

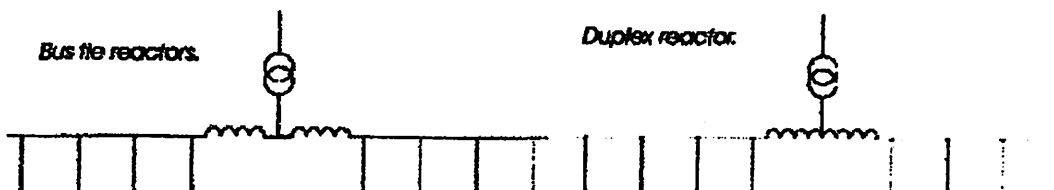
## 2. Reaktor pada outgoing penyulang

Kemungkinan munculnya pengaruh pada kualitas tegangan busbar dapat dihindari dengan menyediakan reaktor dalam outgoing penyulang sendiri. Namun, harus dipastikan bahwa peralatan sebelum reaktor penyulang dapat membuktikan rangkain hubung singkat.

Selanjutnya dapat dicatat bahwa dari semua daya reaktor penyulang setelah dijumlahkan lebih kecil dari daya rata-rata satu reaktor tunggal pada jalur incoming. Daya hubung singkat harus sama pada setiap outgoing penyulang, reaktansi yang sama (tidak sama dengan tegangan hubung singkat) harus disediakan pada setiap rangkaian hubung singkat, Induktansi dari reaktor di incoming penyulang dan yang keluar dari setiap penyulang harus sama. Rata-rata daya unit reaktor adalah sebanding dengan kuadrat arus. Daya total reaktor (identik dengan daya) hanya bagian dari rata-rata unit daya reaktor tunggal yang diterapkan dalam incoming penyulang. Lebih lanjut, dipecah menjadi beberapa unit reaktor dengan arus yang lebih rendah tetapi reaktansinya sama sama mengarah ke yang lebih rendah variasi tegangannya yang ada pada konsumen sehingga dampaknya di salah satu penyulang lebih rendah dibandingkan tegangan pada penyulang lainnya.

### 2.8. Lilitan pada busbar

Selanjutnya ada sebuah pilihan untuk mengurangi nilai arus hubung singkat sebagai contoh pada rangkaian instalasi reaktor penghubung bus pada gambar berikut :



Gambar 2.18  
Rangkaian Instalasi Reaktor Penghubung Bus

Jika dua kumparan digabungkan untuk membentuk sebuah reaktor bersama dengan terminal pusat terhubung ke suplai transformator, sehingga didapatkan apa yang disebut kumparan duplek. Jika bagian busbar simetris, kopling magnetik dalam dua setengah kumparan akan mengurangi reaktansi efektif yang disebabkan karena drop tegangan. Dalam hal reaktansi hubung singkat dari setengah kumparan menjadi sangat efektif.

Jika setiap busbar dipasok oleh sebuah transformator terpisah, keandalan pasokan tegangan dapat ditingkatkan dengan kopling dua busbar dengan reaktor pada bus penghubung. Dengan asumsi bahwa kedua busbar simetris, tidak ada arus yang mengalir dalam reaktor penghubung sehingga tidak ada kerugian dan drop tegangan. Jika salah satu transformator gagal, busbar penghubung masih hidup tetapi pasokan dapat dikurangi melalui reaktor bus penghubung. Daya hubung singkat pada busbar tentu saja lebih tinggi karena koneksi dapat melalui reaktor penghubung pada busbar yang terpisah. Namun demikian, sebagian daya hubung singkat lebih kecil dari pada busbar yang tersambung. Biasanya nilai rata-rata arus pada bus penghubung adalah sekitar 50% dari rata-rata arus transformator.

**BAB III**  
**DATA DAN KUALITAS TEGANGAN AKIBAT PENGARUH**  
**GANGGUAN HUBUNG SINGKAT**

**3.1. G.I. Bumi Cokro**

Penyulang/ *feeder* merupakan saluran keluaran dari Gardu Induk dimana bertegangan 20 kV pada penghantarnya. Gardu Induk Bumi Cokro memiliki 12 penyulang tegangan menengah 20 kV yang mensuplai sebagian pelanggan dikawasan kabupaten Pasuruan. Region Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Pasuruan adalah unit PLN yang bertugas untuk mengelola sistem ketenagalistrikan dari Kraksaan hingga Prigen, dengan sumber pasokan 12 Gardu Induk dan GI. Bumi Cokro adalah salah satu bagian di antaranya. Dari segi suplai energi, GI Bumi Cokro di energise dari GI Bangil yang letaknya berkisar 8 kM, dari lokasi gardu induk. Sistem Jaringan yang digunakan adalah jenis Radial sehingga gardu induk ini memiliki keandalan yang rendah. Dengan luasan area berkisar 15.000m<sup>2</sup>, gardu ini tergolong pada jenis Gardu Induk Pasangan luar dimana perangkat utamanya (trafo utama, saluran penghubung switchgear) terpasang di luar sedangkan peralatan metering dan kontrol ada di dalam gedung operator.

Pada Gardu Induk Bumi Cokro terdapat 2 buah trafo incoming dengan kapasitas 50 MVA dan 60 MVA dengan suplai penyulang sebagai berikut:

1. Trafo I, Merlin Gerin 150/20 kapasitas 50 MVA mensuplai penyulang:
  - Penyulang Sobo
  - Penyulang Candi Argo
  - Penyulang Kemiri Sewu
  - Penyulang Rama 1
  - Penyulang Panderejo
  - Penyulang Japanan
2. Trafo II, Taoweel 150/20 kapasitas 50 MVA mensuplai penyulang:
  - Penyulang Cangkring Malang

Penyulang Wonokoyo

Penyulang Sumber Suko

Penyulang Apollo

Penyulang Rama 2

Penyulang Gempol

Pada Gardu Induk Bumi Cokro, tegangan 150 kV yang tersuplai dari Gardu Induk Bangil diturunkan tegangannya menjadi 20 kV. Dengan sistem radial, gardu induk ini sangat rentan terjadinya gangguan akibat menurunnya keandalan dari gardu induk pensuplainya sehingga dibutuhkan sistem pemeliharaan yang optimal untuk mengelolanya. Kondisi ini sangat beresiko, mengingat tipikal pelanggan yang disuplai sebagian besar adalah perindustrian. Sekecil apapun gangguan yang menyebabkan Trafo gardu induk padam, maka berdampak cukup besar terhadap kinerja keuangan PLN APJ Pasuruan. Pembahasan selanjutnya tentang proses pengolahan data lapangan sebagai inputan dimana data tersebut diperoleh dari *survey lapangan* di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bumi Cokro.

Proses pengolahan data lapangan dilakukan agar parameter yang dapat dilakukan dengan baik. Data lapangan meliputi data peralatan yang terdapat pada Gardu Induk Bumi Cokro, data saluran transmisi, tegangan setiap penyulang dan kondisi beban tertinggi. Sedangkan data yang dianalisis pada skripsi ini dititik beratkan pada pengaruh pemasangan *current limiting reactor* terhadap besarnya nilai arus gangguan pada Gardu Induk Bumi Cokro dimana CLR dipasang secara seri pada setiap incoming penyulang dengan injeksi gangguan pada busbar 20 kV sisi outgoing trafo Gardu Induk.

Untuk memudahkan menganalisa, maka langkah awal dibutuhkan data profil beban pada saat beban puncak tertinggi, sebagai berikut:



### 3.2. Data beban trafo 27 Mei 2011

Tabel 3.1  
Data Perhitungan Rata- Rata Beban Harian Trafo pada GI Bumicokro

Trafo I				Total						
V (k. Volt)		I (A)	P (MW)	Q (MVAR)	I (A)	P (MW)	Q (MVAR)			
Primer	Sekunder	1344	39,57	24,49	2492	73,37	45,41			
147	20,1									
Trafo II				2492				73,37	45,41	
V (k. Volt)		I (A)	P (MW)							Q (MVAR)
Primer	Sekunder	1148	33,80							20,92
148	20,1									

Tabel 3.2  
Data Rata- Rata Beban Penyulang GI Bumicokro

DATA PENYULANG	P (MW)	Q (MVAR)
<b>Penyulang Trafo 1</b>	<b>39,57</b>	<b>24,49</b>
SOBO	5,01	3,10
CANDI ARGO	10,10	6,25
KEMIRI SEWU	5,06	3,13
RAMA 1	3,42	2,11
PANDEREJO	9,39	5,81
JAPANAN	6,60	4,08
<b>Penyulang Trafo 2</b>	<b>33,80</b>	<b>20,92</b>
CANGKRING MALANG	4,92	3,04
WONOKOYO	7,18	4,45
SUMBER SUKO	10,10	6,25
APOLLO	4,42	2,73
RAMA 2	-	-
GEMPOL	7,18	4,45

Untuk mengetahui tingkat keandalan suplai tenaga listrik, maka dibutuhkan data gangguan penyulang pada gardu induk Bumi Cokro Pandaan. Berikut data gangguan tak simetris selama bulan April 2011 s/d Juni 2011 sebagai berikut:

Tabel 3.3  
Voltage Sag Gardu Induk Bumi Cokro

DATA PENYULANG	APRIL			MEI			JUNI		
	OCR	DGR	UFR	OCR	DGR	UFR	OCR	DGR	UFR
<b>Penyulang Trafo 1</b>									
SOBO	-	-		1	1			1	
CANDI ARGO		3			1		1		
KEMIRI SEWU	2			1					
RAMA 1									
PANDEREJO									
JAPANAN					3		2	2	
<b>Penyulang Trafo 2</b>									
CANGKRING MALANG	1			1	1		1		
WONOKOYO							2	2	
SUMBER SUKŌ									
APOLLO								2	
RAMA 2									
GEMPOL									

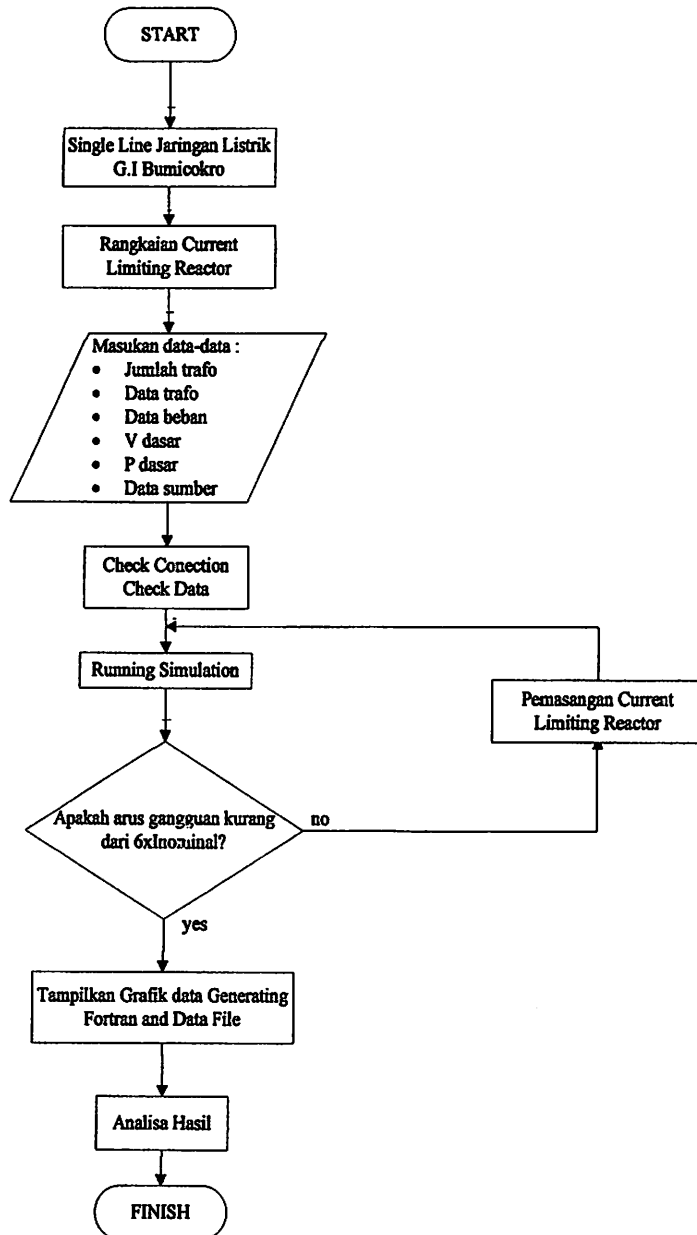
Terjadinya gangguan asimetris 2 fasa atau 1 fasa ke tanah dapat menyebabkan terjadinya penurunan tegangan sesaat baik pada busbar 20 kV maupun tegangan masukan pada Trafo Gardu Induk. Hal tersebut sering kita rasakan seolah olah terjadi suatu *ficker* pada jaringan. Terjadinya *voltage sag* pada saat terjadi gangguan dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3.4  
Data Penurunan Tegangan akibat Gangguan GI Bumi Cokro

Sampling drop tegangan bulan Maret s/d Juni 2011

Tanggal	150 kV		200 kV			
	Max	Min	Max		Min	
			Trafo I	Trafo II	Trafo I	Trafo II
11-Mar	150	149,75	20	20	19,93	19,98
23-Mei	150	149,82	20	20	19,96	19,92
26-Jun	150	149,74	20	20	19,94	19,97

### 3.3. Flowchart Simulasi Pemasangan Current Limiting Reactor



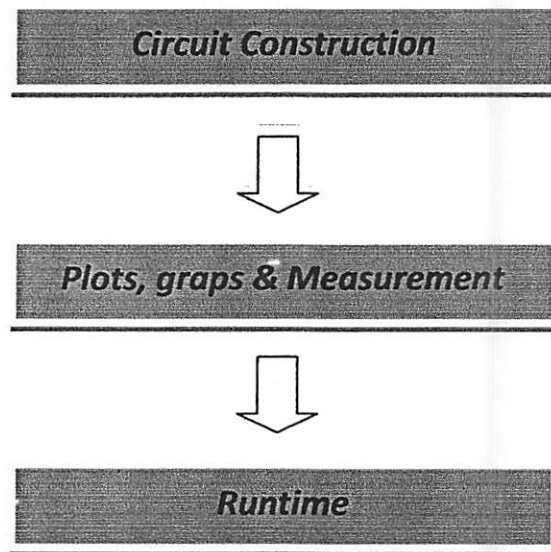
Gambar 3.1  
Flowchart Penyelesaian Masalah

### 3.4. PSCAD (*Power System Computer Aid Design*)

*PSCAD* merupakan sarana simulasi yang dikembangkan oleh Manitoba HVDC *Research Center*. *PSCAD* memiliki keandalan pada *graphical user interface (GUI)* yang diintegrasikan dengan *EMTDC*, sebuah program berdasarkan domain waktu untuk simulasi transient dan kontrol. Kombinasi

inimenjadikan *PSCAD* lebih cepat, akurat, dan solusi yang *fleksibel* untuk simulasi secara virtual dari peralatan maupun sistem tenaga listrik.

Penggunaan *PSCAD* telah diintegrasikan dengan *Windows*, hal ini membuat *PSCAD* menjadi pilihan favorit bagi kebanyakan teknisi, peneliti dan akademik. Sehingga studi analisa dan pengembangan kualitas daya listrik, ketidakstabilan peralatan dapat dimodelkan dan dianalisa dengan menggunakan *PSCAD*.

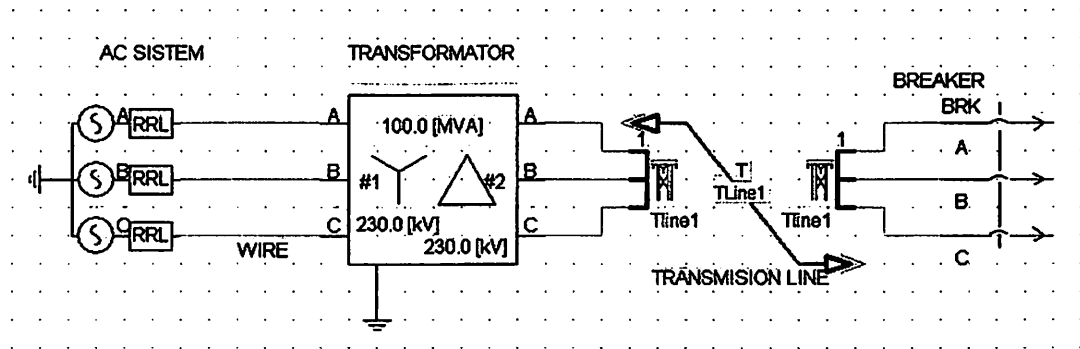


Gambar 3.2  
Metodologi Kerja *PSCAD*

#### 3.4.1. Circuit Construction

Proses dari merancang rangkaian hamper sama dengan menggambar dengan menggunakan diagram skematik dari sebuah rangkaian. Pengguna dapat memilih komponen pada *master library* atau dapat juga membuat komponen baru sebagai pilihan. Komponen yang telah dipilih kemudian *di-drag* dan *di-drop* pada *drawing space*. Semua komponen pilihan yang kita butuhkan terdapat pada *master library*. Pengguna dapat mengubah fitur pada setiap komponen untuk mendapatkan parameter yang sesuai.

Berikut ilustrasi beberapa komponen dasar system tenaga.

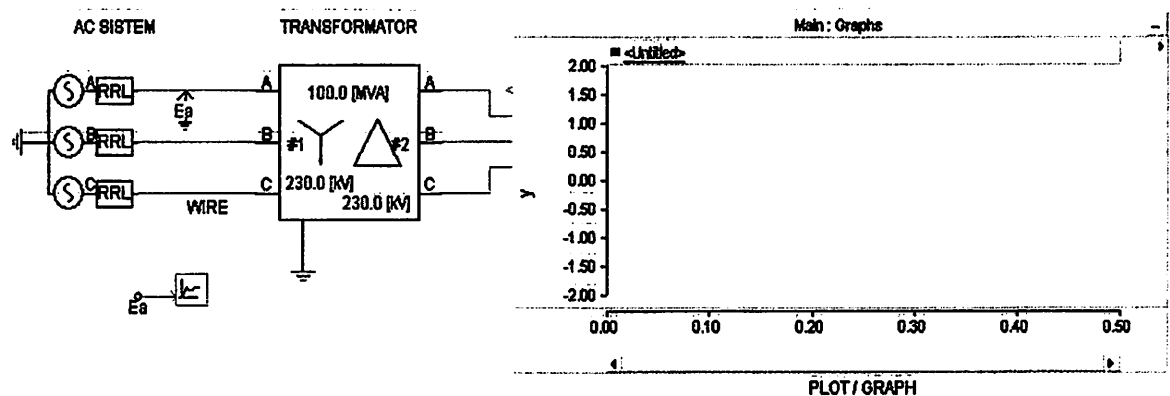


Gambar 3.3  
Komponen Dalam Sistem Tenaga

### 3.4.2. Ploth, Graph dan Measurement

Plot, desain dan pengukuran merupakan langkah kedua dalam mendesain suatu system. Chanel dan node harus diletakkan pada titik pengukuran sebelum dilakukan proses plot pada *drawing space*.

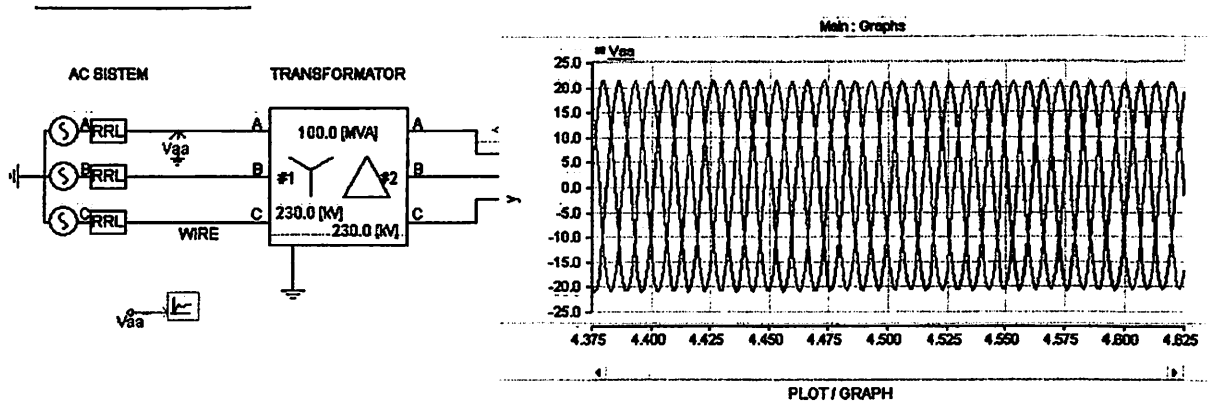
Berikut desain penggunaan grafik dan pengukuran



Gambar 3.4  
Pengukuran Dan Monitoring Komponen Pada PSCAD

### 3.4.3. Runtime

Setelah mendesain semua komponen dalam suatu system, langkah selanjutnya adalah proses *runtime*, dimana desain yang telah dibuat akan dicompile untuk melihat *error* dari desain tersebut. Pengukuran dan proses *plot* akan keluar sebagai *output* apabila system yang dibuat bebas dari *error*. Setelah program berjalan, pengguna dapat memilih mode pause untuk memperbesar (*zoom*) grafik yang dihasilkan.



Gambar 3.5  
Penggunaan Runtime Pada PSCAD

#### 3.4.4. PSCAD Educational V.4.2.1

Ada tiga macam versi dari *PSCAD* yang dikembangkan oleh *Manitoba HVDC Center*, yakni versi personal, versi edukasional, dan versi komersial. Dalam skripsi ini menggunakan versi educational yang memiliki fitur sebagai berikut:

1. Terintegrasi secara total

Proses runtime pada keseluruhan rangkaian atau menyusunnya pada halaman yang terpisah. Rangkaian, plot dan deskripsi komentar dapat ditampilkan dan deskripsi komentar dapat ditampilkan dan dicetak secara bersamaan

2. Modular

Sistem kelistrikan dapat dibagi menjadi beberapa bagian dan modul tanpa menggunakan saluran transmisi. Sistem kontrol dapat dilakukan pada model terpisah.

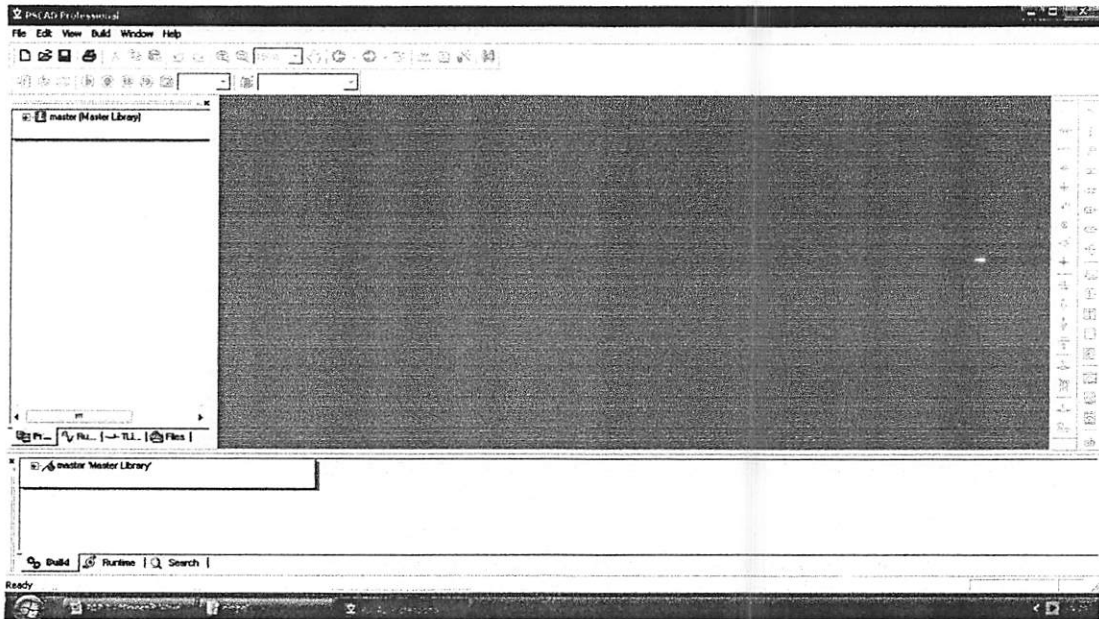
3. Hirarkis

Pembuatan rangkaian menggunakan building blocks dapat terdiri dari beberapa modul (pada halaman yang sama), dimana cukup ditekan *klik* dua kali untuk melihat beberapa modul yang ada di dalamnya.

4. Contoh

Contoh kasus sangat memudahkan para pengguna untuk mengintegrasikan, plot, komponen dokter dan simulasi.

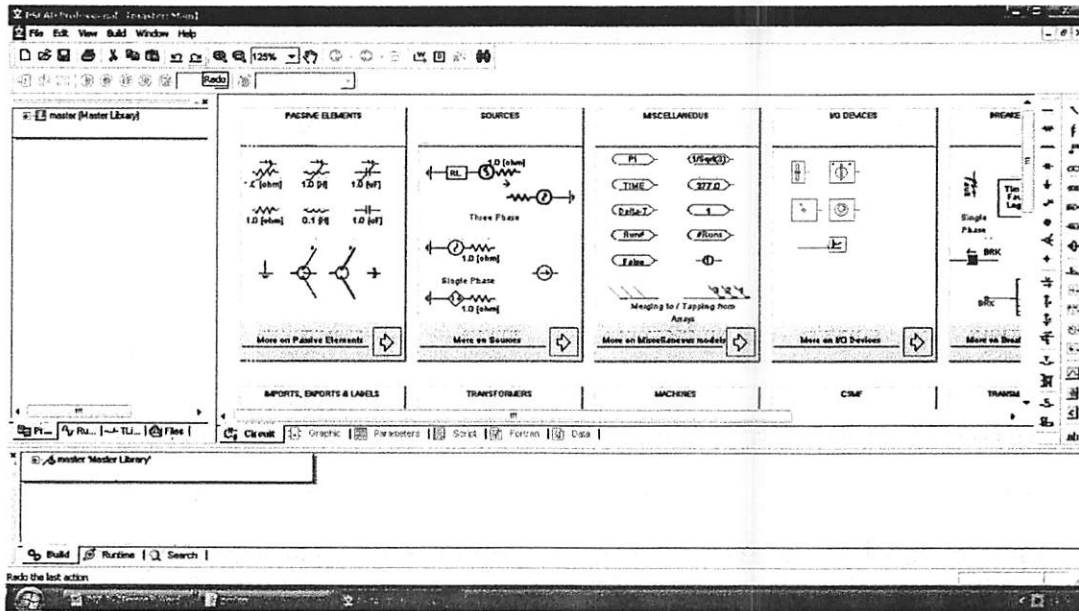
### 3.4.5. Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation



Gambar 3.6

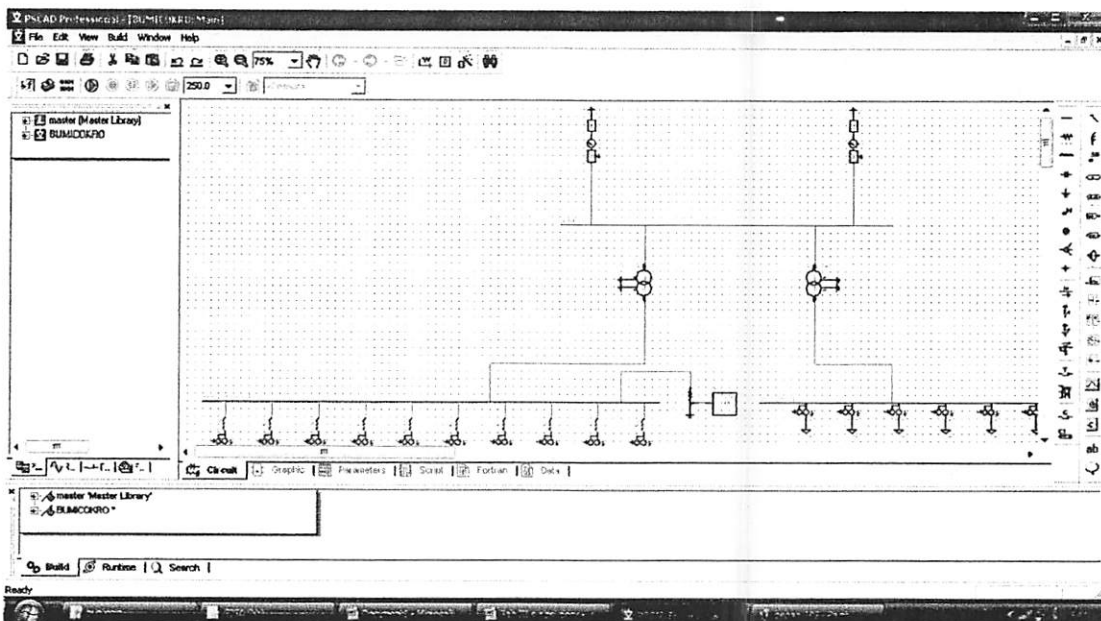
Tampilan software PSCAD/EMTDC Power Simulation

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: >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 *filenya*, maka akan muncul tampilan seperti gambar di bawah.
- Semua komponen yang akan digunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakannya *right click on the componen*>*copy* dan kemudian *paste* pada modul



Gambar 3.7  
Tampilan Master Library

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

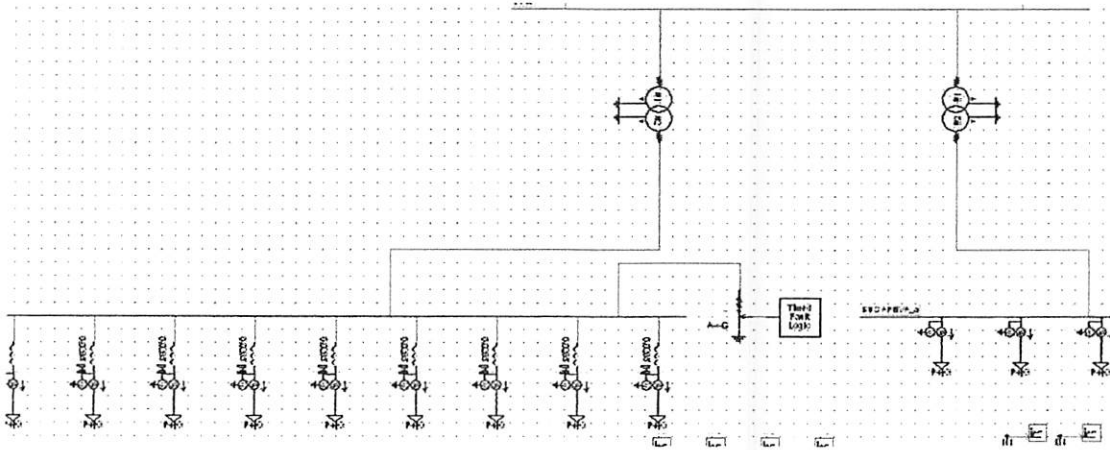


Gambar 3.8  
Tampilan Modul Utama



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

### 3.5. Konfigurasi Sistem GI Bumicokro setelah digambar pada modul



Gambar 3.9  
Tampilan Single Line GI Bumicokro Dalam PSCAD

### 3.6. Input Data Dalam PSCAD/EMTDC Power Simulation

#### 3.6.1. Input Data Transformator

##### 1 Transformator 1

Parameter	Value
Transformer Name	
3 Phase Transformer MVA	50 [MVA]
Base operation frequency	50.0 [Hz]
Winding #1 Type	Y
Winding #2 Type	Y
Delta Lags or Leads Y	Lags
Positive sequence leakage reactance	0.1 [pu]
Ideal Transformer Model	No
No load losses	0.0 [pu]
Copper losses	0.0 [pu]
Tap changer on winding	None
Graphics Display	Single line (circles)
Display Details?	No
Winding 1 Line to Line voltage (RMS)	150.0 [kV]
Winding 2 Line to Line voltage (RMS)	20.0 [kV]

Gambar 3.10  
Tampilan Input Data Transformator 1

## 2 Transformator 2

The image shows two side-by-side dialog boxes for configuring a transformer. The left dialog, titled "[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Tra...", has a "Configuration" tab. It contains the following fields:

- Transformer Name: (empty text box)
- 3 Phase Transformer MVA: 60 [MVA]
- Base operation frequency: 50.0 [Hz]
- Winding #1 Type: Y
- Winding #2 Type: Y
- Delta Lags or Leads Y: -lags
- Positive sequence leakage reactance: 0.1 [pu]
- Ideal Transformer Model: No
- No load losses: 0.0 [pu]
- Copper losses: 0.0 [pu]
- Tap changer on winding: None
- Graphics Display: Single line (circles)
- Display Details?: No

The right dialog, also titled "[xfmr-3p2w] 3 Phase 2 Winding Tra...", has a "Winding Voltages" tab. It contains the following fields:

- Winding 1 Line to Line voltage (RMS): 150.0 [kV]
- Winding 2 Line to Line voltage (RMS): 20.0 [kV]

Both dialogs have "OK", "Cancel", and "Help..." buttons at the bottom.

Gambar 3.11  
Tampilan Input Data Transformator 2

The image shows a dialog box titled "[fixed\_load] Fixed Load" with a "Parameters" tab. It contains the following fields:

- Rated Real Power per phase: 9.39 [MW]
- Rated Reactive Power (+inductive) per phase: 5.81 [MVAR]
- Rated Load Voltage (rms L-G): 20 [kV]
- Volt Index for Power (dP/dV): 2
- Volt Index for Q (dQ/dV): 2
- Freq Index for Power (dP/dF): 0
- Freq Index for Q (dQ/dF): 0
- Fundamental Frequency: 50 [Hz]
- Display details?: No

The dialog has "OK", "Cancel", and "Help..." buttons at the bottom.

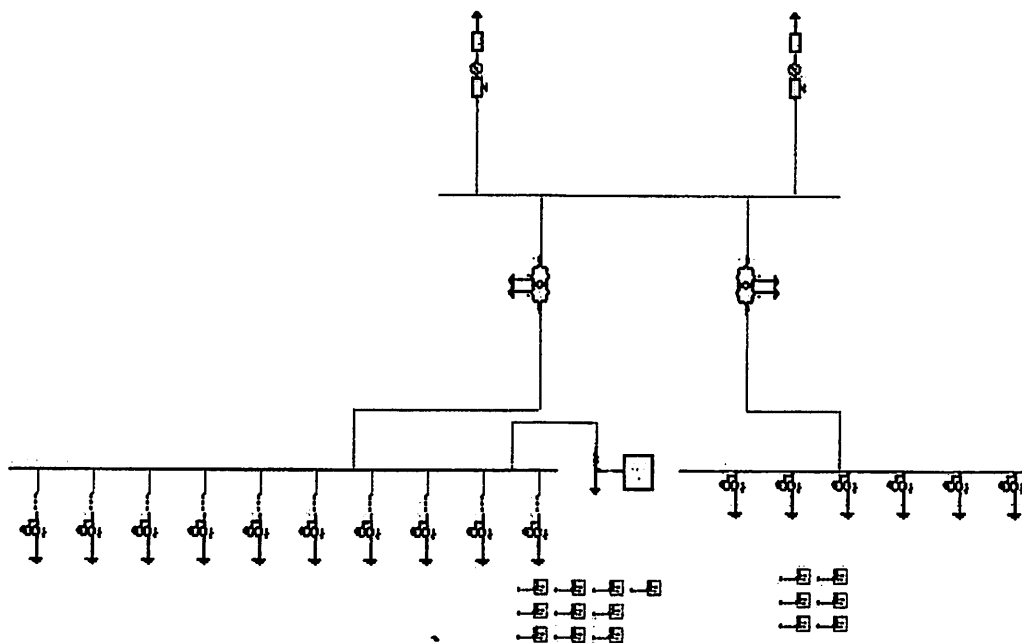
Gambar 3.12  
Tampilan Input Data Beban

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Single Line Sistem Kelistrikan Gardu Induk Bumicokro

Pada simulasi akan dilakukan pengujian data dengan perbandingan saat menggunakan *Current Limiting Reactor* dan tanpa menggunakan *Current Limiting Reactor*. Setelah itu hasil keluaran arus akan dianalisa agar dapat dilihat seberapa besar kemampuan *Current Limiting Reactor* dalam membatasi arus gangguan pada sistem. Untuk mensimulasi sistem dalam software *PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan *single line* sistem GI Bumicokro. Kemudian mensimulasikan sesuai dengan langkah kerja dan menganalisa hasil dari *Power Simulation*. Berikut *single line* sistem kelistrikan GI Bumicokro yang digambarkan menggunakan software *PSCAD/EMTDC SIMULATION*.



Gambar 4.1  
Sistem Kelistrikan GI Bumicokro dalam software *PSCAD/EMTDC*

## 4.2. Solusi Pengurangan Arus Gangguan pada GI Bumicokro

*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 GI Bumicokro dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software* PSCAD.

## 4.3. Mencari nilai R pada saat terjadi gangguan

$$R = P / (I^2 \cos \phi) \dots\dots\dots (4.1)$$

P = total beban penyulang (MVA) dimana 39,57 MVA

I = Arus gangguan ekstrem (6 x I nom) 6 x 1443,42

Sehingga didapatkan nilai R sebesar 0,6207 ohm

## 4.4. Mencari Nilai Induktansi pada *Current Limiting Reactor (CLR)*.

$$U_k = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_n \cdot X}{U_n} \% \dots\dots\dots (4.2)$$

$$L = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot F} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana:

$U_k$  = Prosentase kemampuan trafo dalam menahan arus hubung singkat

$I_n$  = Arus nominal

$X$  = Impedansi

$U_n$  = Tegangan pengenal

$L$  = Induktansi

$F$  = Frekuensi

Diketahui :

$U_k = 104\%$

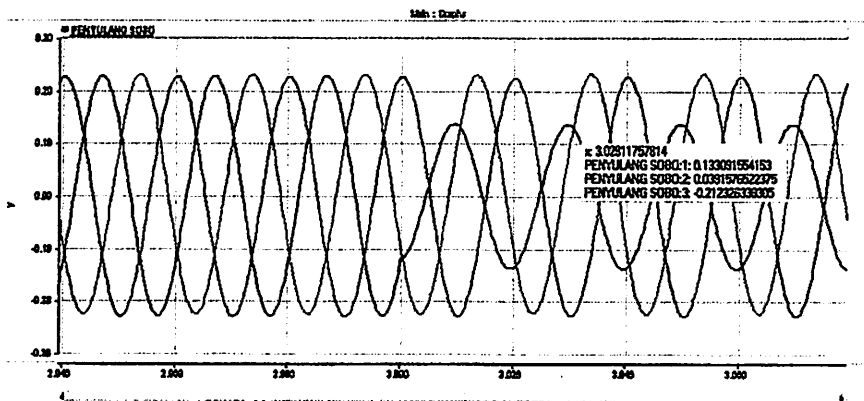
$I_n = 1443 \text{ A}$  (kapasitas trafo 50 MVA)

$U_n = 20000 \text{ volt}$

Dari rumus 4.1 didapat besar  $X = 8,32241$  kemudian nilai  $X$  dimasukkan pada rumus 4.2 sehingga didapat nilai  $L$  sebesar  $0,0265 \text{ Henry}$ . Nilai tersebut sebagai masukan parameter CLR pada software PSCAD/EMTDC V4.2.

## 4.5. Hasil Simulasi Ketika Terjadi Gangguan Sebelum Pemasangan CLR

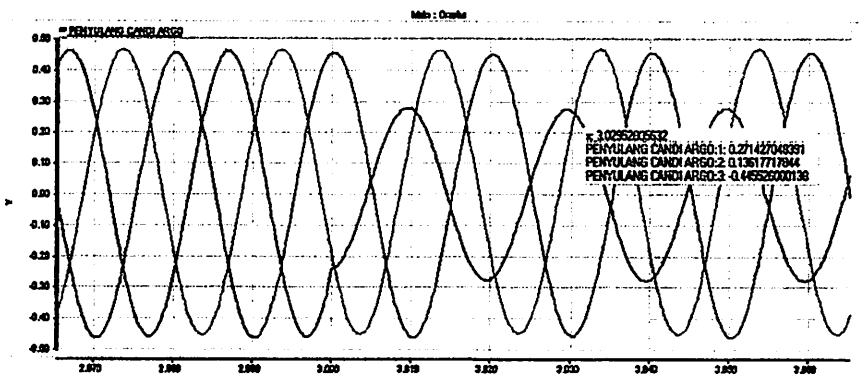
### 4.5.1 Penyulang Sobo



Gambar 4.2  
Grafik Penyulang Sobo Sebelum Pemasangan CLR

Gambar 4.2 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat sejak detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami fliker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari  $0,22771 \text{ kA}$  menjadi  $0,13474 \text{ kA}$ .

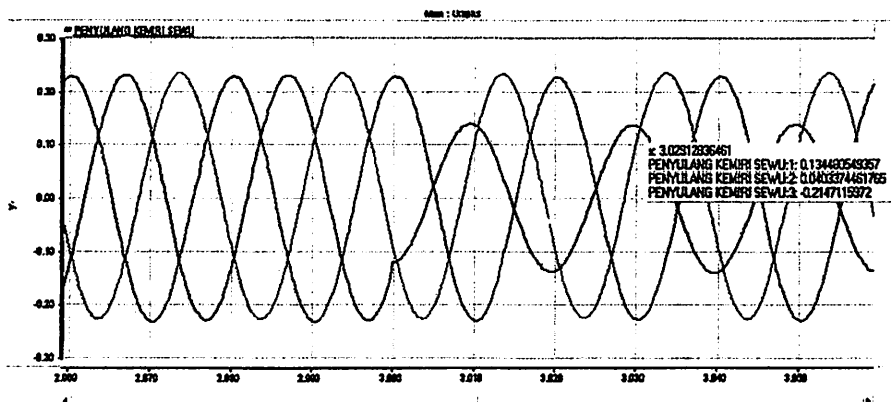
### 4.5.2 Penyulang Candi Argo



Gambar 4.3  
Grafik Penyulang Candi Argo Sebelum Pemasangan CLR

Gambar 4.3 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat sejak detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,49530 kA menjadi 0,27166 kA.

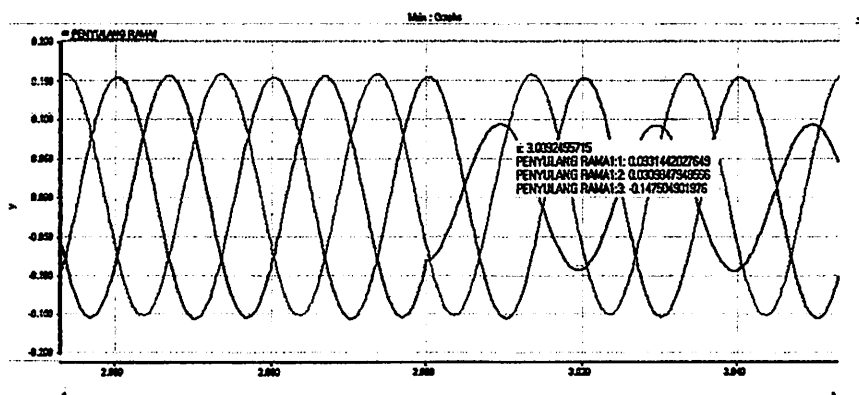
### 4.5.3 Penyulang Kemiri Sewu



Gambar 4.4  
Grafik Penyulang Kemiri Sewu Sebelum Pemasangan CLR

Gambar 4.4 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat sejak detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,22969 kA menjadi 0,13747 kA.

### 4.5.4 Penyulang Rama 1

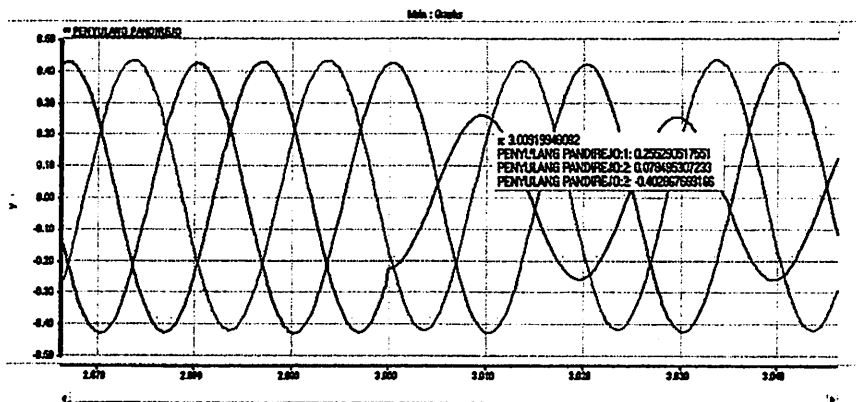


Gambar 4.5  
Grafik Penyulang Rama 1 Sebelum Pemasangan CLR

Gambar 4.5 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat sejak detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker.

Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,15542 kA menjadi 0,09039 kA.

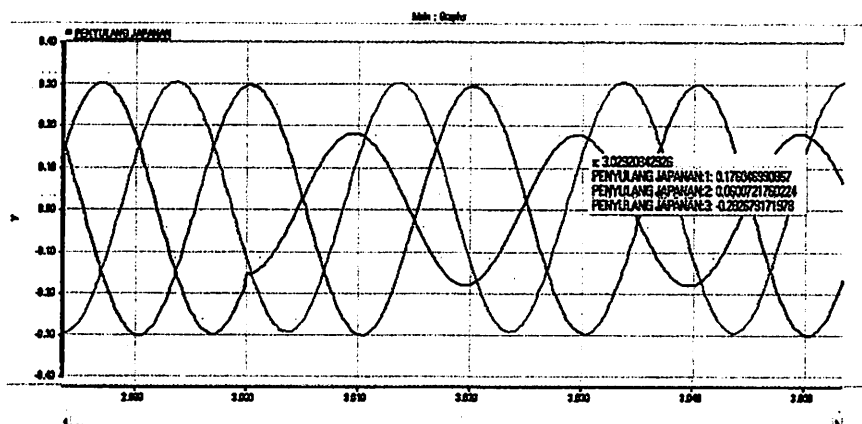
#### 4.5.5 Penyulang Pandirejo



Gambar 4.6  
Grafik Penyulang Pandirejo Sebelum Pemasangan CLR

Gambar 4.6 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat sejak detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,42799 kA menjadi 0,25606 kA.

#### 4.5.6 Penyulang Japanan

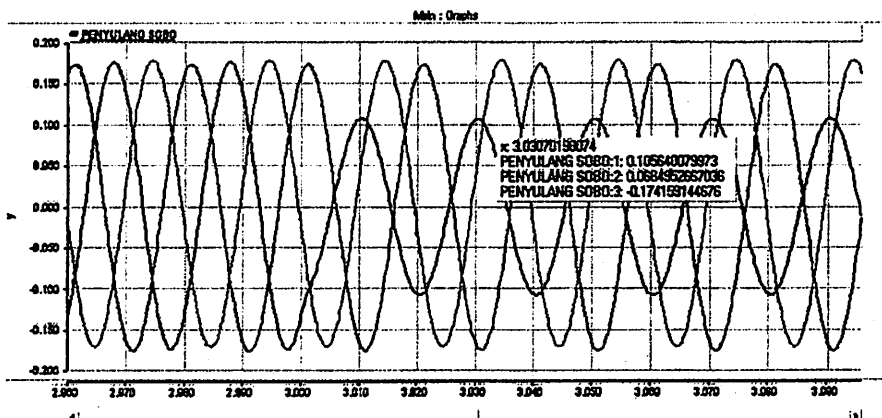


Gambar 4.7  
Grafik Penyulang Japanan Sebelum Pemasangan CLR

Gambar 4.7 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat sejak detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,30001 kA menjadi 0,17909 kA.

## 4.6. Hasil Simulasi Ketika Terjadi Gangguan Sesudah Pemasangan CLR 0,026504 H

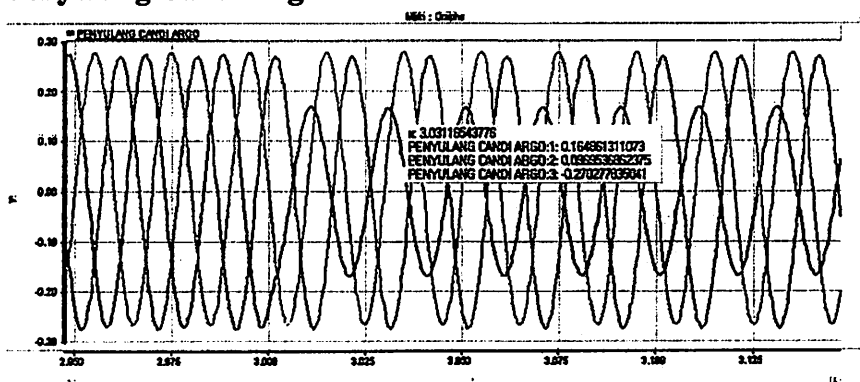
### 4.6.1. Penyulang Sobo



Gambar 4.8  
Grafik Penyulang Sobo Sesudah Pemasangan CLR

Gambar 4.8 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat pada mulai detik ke3 dimana gelombang sinusoidal tampak cacat atau mengalami flikering. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,21128 kA menjadi 0,12689 kA.

### 4.6.2. Penyulang Candi Argo

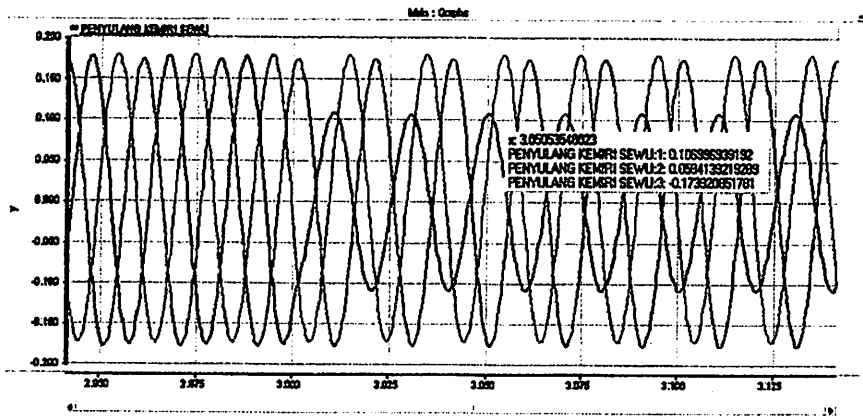


Gambar 4.9  
Grafik Penyulang Candi Argo Sesudah Pemasangan CLR

Gambar 4.9 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat pada mulai detik ke3 dimana gelombang sinusoidal tampak cacat atau mengalami flikering. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,39818 kA menjadi 0,23769 kA.



### 4.6.3. Penyulang Kemiri Sewu

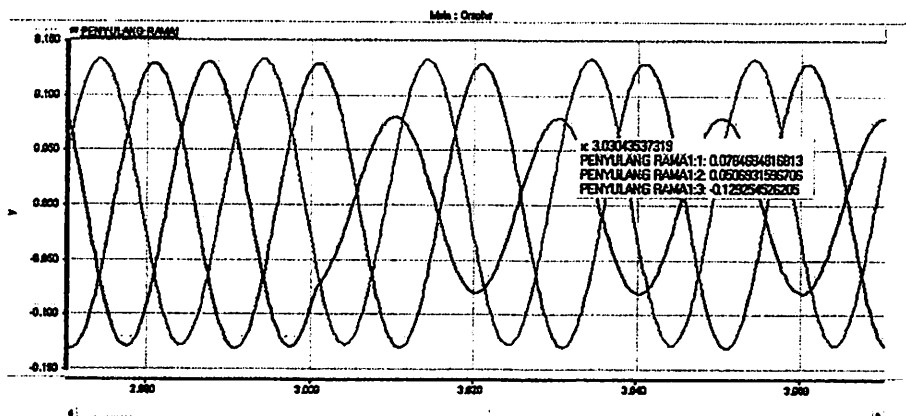


Gambar 4.10

Grafik Penyulang Kemiri Sewu Sesudah Pemasangan CLR

Gambar 4.10 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat pada mulai detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami fliker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,21386 kA menjadi 0,12911 kA.

### 4.6.4. Penyulang Rama i

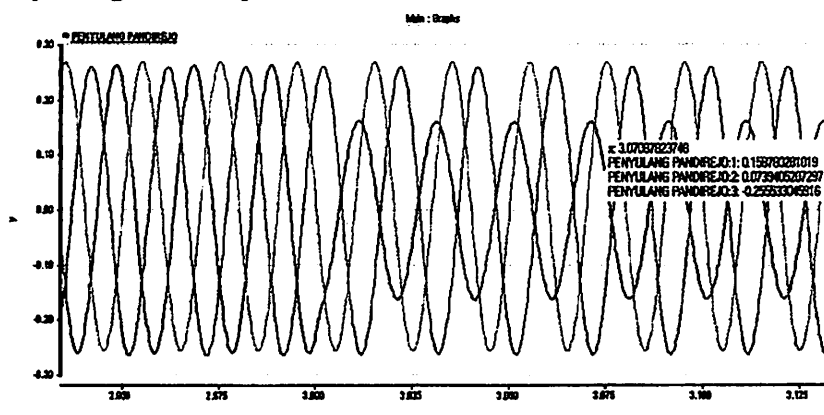


Gambar 4.11

Grafik Penyulang Rama 1 Sesudah Pemasangan CLR

Gambar 4.11 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat pada mulai detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami fliker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,14794 kA menjadi 0,08826 kA.

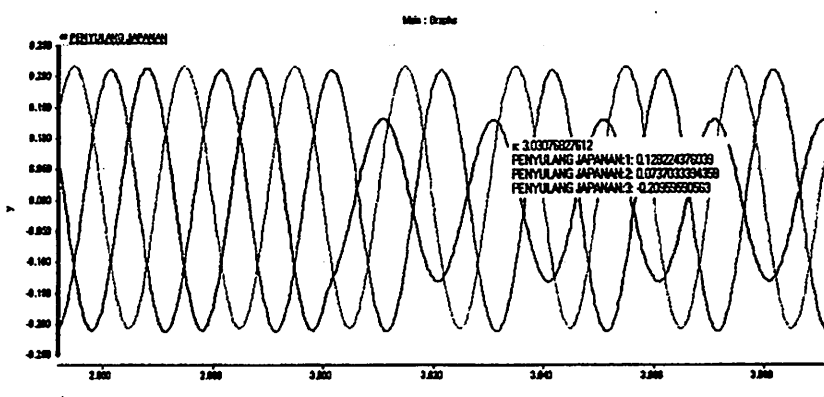
#### 4.6.5. Penyulang Pandirejo



Gambar 4.12  
Grafik Penyulang Pandirejo Sesudah Pemasangan CLR

Gambar 4.12 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat pada mulai detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,37363 kA menjadi 0,22706 kA.

#### 4.6.6. Penyulang Japanan



Gambar 4.13  
Grafik Penyulang Japanan Sesudah Pemasangan CLR

Gambar 4.13 menerangkan bahwa terjadi gangguan hubung singkat pada mulai detik ke3 dimana gelombang sinusoida tampak cacat atau mengalami flicker. Terlihat adanya penurunan nilai arus pada saat terjadi gangguan dari 0,27341 kA menjadi 0,16589 kA.

#### 4.7. Analisa Hasil Simulasi

##### 4.7.1. Perbandingan nilai arus pada saat sebelum dan sesudah gangguan tanpa menggunakan CLR

Tabel 4.1  
Perbandingan Nilai Arus pada Saat Sebelum dan Sesudah Gangguan Tanpa Menggunakan CLR

###### A. TANPA MENGGUNAKAN CLR

	PEAK AWAL		PEAK GANGGUAN		PENURUNAN	
	DETIK KE-	ARUS (kA)	DETIK KE-	ARUS (kA)	ARUS	%
SOBO	2,98706	0,22771	3,02940	0,13474	0,09297	40,83
CANDI ARGO	2,96702	0,45930	3,02951	0,27166	0,18764	40,85
KEMIRI SEWU	2,96682	0,22969	3,04953	0,13747	0,09222	40,15
RAMA 1	2,96698	0,15542	3,08961	0,09309	0,06233	40,10
PANDEREJO	2,66702	0,42799	3,16983	0,25606	0,17193	40,17
JAPANAN	2,86704	0,30001	3,04946	0,17909	0,12092	40,31

##### 4.7.2. Perbandingan nilai arus pada saat sebelum dan sesudah gangguan dengan menggunakan CLR sebesar 0,026504 H

Tabel 4. 2  
Perbandingan Nilai Arus pada Saat Sebelum dan Sesudah Gangguan dengan Menggunakan CLR

###### B. MENGGUNAKAN CLR 0,026504 H

	PEAK AWAL		PEAK GANGGUAN		PENURUNAN	
	DETIK KE-	ARUS (kA)	DETIK KE-	ARUS (kA)	ARUS	%
SOBO	2,96694	0,21128	3,02992	0,12689	0,08439	39,94
CANDI ARGO	2,98757	0,39818	3,02989	0,23769	0,16049	40,31
KEMIRI SEWU	2,98706	0,21386	3,04989	0,12911	0,08475	39,63
RAMA 1	2,94701	0,14794	3,02959	0,08826	0,05968	40,34
PANDEREJO	2,96736	0,37363	3,00994	0,22706	0,14657	39,23
JAPANAN	2,92738	0,27341	3,00974	0,16589	0,10752	39,33

#### 4.7.3. Perbandingan penurunan nilai arus gangguan dengan menggunakan CLR sebesar 0,026504 H dan tanpa dipasang CLR

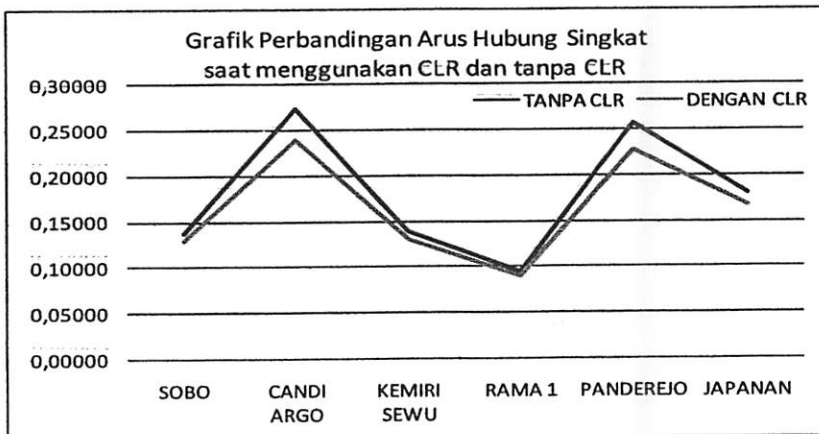
Tabel 4.3

Perbandingan Nilai Arus pada Saat Sebelum dan Sesudah Gangguan Menggunakan CLR dan Tanpa Menggunakan CLR

PERBANDINGAN NILAI ARUS GANGGUAN SEBELUM DAN SESUDAH MENGGUNAKAN CLR

	TANPA CLR		DENGAN CLR		DELTA PEAK GANGGUAN	
	PEAK NORM	PEAK GANGG	PEAK NORM	PEAK GANGG	ARUS	%
SOBO	0,22771	0,13474	0,21128	0,12689	0,00785	5,83
CANDI ARGO	0,45930	0,27166	0,39818	0,23769	0,033967	12,50
KEMIRI SEWU	0,22969	0,13747	0,21386	0,12911	0,00837	6,08
RAMA 1	0,15542	0,09309	0,14794	0,08826	0,004831	5,19
PANDEREJO	0,42799	0,25606	0,37363	0,22706	0,0289984	11,32
JAPANAN	0,30001	0,17909	0,27341	0,16589	0,013204	7,37
Rata- rata penurunan						8,05

Untuk mempermudah dalam menganalisa hasil simulasi, maka tabel 4.3 dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti di bawah ini:



Gambar 4.14  
Grafik Perbandingan Performance CLR

Dari Gambar 4.14 di atas, terdapat perbedaan nilai arus hubung singkat akibat pemasangan CLR, tampak grafik warna biru lebih rendah dibandingkan warna merah. Dari enam penyulang yang diuji, prosentase rata-rata penurunan arus hubung singkat berkisar 8,05%.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Hasil analisa terhadap simulasi pemasangan rangkaian *Current Limiting Reactor* (CLR) di setiap incoming penyulang dengan injeksi gangguan pada busbar 20 kV outgoing trafo GI Bumi Cokro dengan menggunakan bantuan *software PSCAD /EMTDC V4.2 Power System Simulation* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam simulasi, pemasangan *Current Limiting Reactor* (CLR) dapat menurunkan arus gangguan rata-rata untuk semua penyulang pada GI Bumi Cokro sebesar 8,05%.
2. Fluktuasi prosentase penurunan arus gangguan sangat dipengaruhi oleh besarnya beban sesaat sebelum terjadinya gangguan, semakin besar beban semakin besar pula prosentase penurunan arus gangguan.
3. Hubungan antara nilai arus gangguan berbanding terbalik dengan besarnya nilai CLR, semakin besar nilai CLR (dalam henry) maka nilai arus gangguan semakin kecil.
4. Dengan adanya pembatasan nilai arus gangguan secara tidak langsung dapat mempertahankan umur peralatan hingga masa usia pemakaian yang telah ditetapkan.

#### 5.2. Saran

Bahwa setiap Gardu Induk memiliki tipikal gangguan yang berbeda antara satu dengan yang lain sehingga perlu diklasifikasikan agar langkah- langkah penurunan nilai arus gangguan dapat lebih optimal. Hasil simulasi dari penelitian ini menunjukkan penurunan nilai arus gangguan setelah dilakukan penambahan rangkaian *Current Limiting Reactor* (CLR) pada outgoing trafo gardu induk. Mengingat banyaknya parameter yang mempengaruhi nilai arus gangguan, maka dalam pengaplikasian CLR diharapkan juga memperhitungkan dampak dari peralatan- peralatan yang telah terpasang sebelumnya seperti kapasitor, sistem pentanahan dan lain- lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Oswald, Mendrock. October 2009. "energize". Austria.
- Marsudi, Djiteng. 2006. "Operasi Sistem Tenaga Listrik". Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sulasno. 1993. "Analisa Sistem Tenaga Listrik" satya Wacana. Semarang.
- Stevenson, D, William. 1998. "Element of Power System Analysis". McGraw-Hill, Inc., Amerika, Kanada.
- Gonen, Turan. 1988. "Electric Power Transmission system Engineering". John Wiley dan sons, inc., Kanada.
- Noblat M, dumas F, dan Poulain C. September 2010. "Calculation of short-circuit current" <URL: <http://www.schneider-electric.com>>  
[www.nwl.com](http://www.nwl.com)// current limiting reactor (CLR)

# LAMPIRAN



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PESERO) MALANG  
ANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : ACHMAD DACHLAN
2. NIM : 06.12.912
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : **ANALISA PENGARUH PEMASANGAN *CURRENT LIMITING REACTOR (CLR)* UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN DI GARDU INDUK BUMI COKRO**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Sabtu

Tanggal : 20 Agustus 2011

Dengan Nilai : 84,8 (A) *~*

Panitia Ujian Skripsi :

Ketua

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

Sekretaris

DR. Eng. Aryuanto S, ST., MT  
NIP. Y. 1030800417

Anggota Penguji :

Penguji I

Awan Uji Krismanto, ST., MT.  
NIP. 198003012005011002

Penguji II

Ir. Taufik Hidayat, MT  
NIP. Y. 10187000151



**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**UNIVERSITAS ADARA ULIAN SERIKSI**

1. Nama : AGHMAD DAHLAN  
 2. NIM : 0012012  
 3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1  
 4. Keahlian : TEKNIK ENERGI LISTRIK  
 5. Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH PEMERANGAN CURRENT  
 LIMUING REAKTOR (CER) UNTUK MEMERATAI  
 ARUS GANGGUAN DI GARIS TRANSMISI RUMAH SAKIT

1) dipersembahkan kepada Majelis Pengaji Skripsi jenjang Sarjana (S-1) pada :  
 Hari : Sabtu  
 Tanggal : 20 Agustus 2011  
 Dengan Nilai : 84,8 (A)

Pembaca Ujian Skripsi :  
 Sekretaris

Pembaca I : Dr. Yanti Laili Nakhoda MT NIP. 101880180  
 Pembaca II : Dr. Heng Yudianto S. ST. MT NIP. 103080017

Anggota Pembaca :

Pembaca I :  
 Pembaca II :

Pembaca I : Dr. Yanti Laili Nakhoda S. ST. MT NIP. 103080180  
 Pembaca II : Dr. Heng Yudianto S. ST. MT NIP. 101870017



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 20 Agustus 2011

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : ACHMAD DACHLAN
2. NIM : 06.12.912
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi :

**ANALISA PENGARUH PEMASANGAN *CURRENT LIMITING REACTOR* (CLR) UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN DI GARDU INDUK BUMICOKRO**

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Menentukan letak gangguan	
2	Kontribusi pemasangan CLR terhadap trafo daya	
3	Kesimpulan	
4	Tinjauan pustaka	

Dosen Penguji I

Awan Uji Krismanto, ST., MT  
NIP.198003012005011002

Dosen Penguji II

Ir. Taufik Hidayat, MT  
NIP. Y. 10187000151

Dosen Pembimbing I

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP.Y.1038900109

Dosen Pembimbing II

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strat: 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : ACHMAD DAHLAN  
NIM : 0612012  
Perbaikan melalui :

Perbaiki kinerja instalasi

Malang,



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### Formullir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Achmad Dediawan  
NIM : 0612912  
Perbaikan meliputi :

Tambahkan hasil pengujian nya.

2. ~~Adalah~~ pemasangan RLR mempunyai  
fungsi  
nilai koefisien kebocoran daya nya ada  
- Menentukan Angles : dalam kumpukan

Malang,

(  )



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : ACHMAD DACHLAN  
Nim : 06.12.912  
Masa Bimbingan : 9 JULI 2011 s/d 9 JANUARI 2012 *BY*  
Judul Skripsi : ANALISA PEMASANGAN CURRENT LIMITING  
REACTOR UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN  
DI GARDU INDUK BUMICOKRO PANDAAN

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.		Bab I	<i>[Signature]</i>
2.		Bab II	<i>[Signature]</i>
3.		Bab III	<i>[Signature]</i>
4.		Bab IV	<i>[Signature]</i>
5.		Bab V	<i>[Signature]</i>
6.		Acc Maju	<i>[Signature]</i>
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang,  
Dosen Pembimbing I,

*[Signature]*

**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
NIP.Y 1038900209



**FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama : ACHMAD DACHLAN  
Nim : 06.12.912  
Masa Bimbingan : 9 JULI 2011 s/d 9 JANUARI 2012 *BU*  
Judul Skripsi : **ANALISA PEMASANGAN CURRENT LIMITING REACTOR UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN DI GARDU INDUK BUMICOKRO PANDAAN**

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.		BAB I	b
2.		BAB II	b
3.		BAB III	b
4.		BAB IV	b
5.		BAB V	b
6.		Acc majlis	b
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang,  
Dosen Pembimbing II,

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