

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KINERJA CIRCUIT BREAKER PADA SISI 150 kV  
GARDU INDUK LAMHOTMA**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**RIZKI INDRA PANGESTU**

**NPM : 1307220063**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

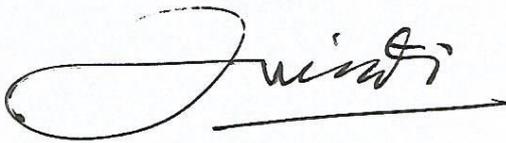
Nama : Rizki Indra Pangestu  
NPM : 1307220063  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Circuit Breaker Pada Sisi 150 kV Gardu Induk  
Lamhotma

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Maret 2019

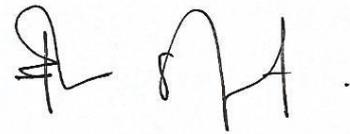
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I / Penguji



(Ir. Yusniati, M.T)

Dosen Pembimbing II / Penguji



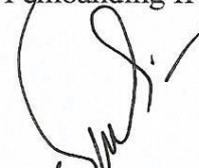
(Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd)

Dosen Pembanding I / Penguji



(Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M)

Dosen Pembanding II / Penguji



(Noorly Evalina, S.T, M.T)

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,  
  
Irsan Fasaribu, S.T, M.T)

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Rizki Indra Pangestu  
Tempat/Tanggal Lahir : Bandung, 05 Desember 1995  
NPM : 1307220063  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

**“Analisis Kinerja Circuit Breaker pada Sisi 150 kV Gardu Induk Lamhotma”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila dikemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



Rizki Indra Pangestu

## ABSTRAK

*Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. Dalam kehidupan sehari-hari sering terjadi berbagai macam gangguan dalam konsumsi listrik. oleh karena itu untuk mencegah gangguan tersebut terjadi maka diperlukan circuit breaker. Pemasangan circuit breaker ditujukan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada peralatan - peralatan Gardu Induk yang nantinya akan menyebabkan terhambatnya penyaluran tenaga listrik ke beban (konsumen). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja circuit breaker pada saat terjadinya gangguan serta untuk menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja circuit breaker pada Gardu Induk Lamhotma. Adapun hasil penelitian terkait kinerja circuit breaker pada gardu induk Lamhotma adalah bahwa Kinerja Circuit Breaker Pada Sisi 150 kV Gardu Induk Lamhotma dalam kategori baik. hal tersebut dilihat dari setting waktu kerja relai arus lebih yang terpasang pada penyulang 20 kV Gardu Induk Lamhotma yaitu tidak lebih kecil dari 0,3 detik (keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari transformator-transformator arus yang telah terhubung ke jaringan yang lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari circuit breaker atau PMT yaitu besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi. Besar atau kecilnya arus gangguan itu dipengaruhi oleh jarak terjadinya gangguan, semakin jauh titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan yang terjadi begitu pula sebaliknya, semakin dekat titik gangguan maka semakin besar pula arus gangguan yg terjadi. Kemudian yang berikutnya mempengaruhi kinerja circuit breaker atau PMT adalah setting relai arus lebih. Semakin cepat waktu kerja relai untuk memerintahkan circuit breaker atau PMT memutus jaringan maka akan semakin baik pula kinerjanya.*

**Kata Kunci :** *Circuit Breaker, Gardu Induk Lamhotma, Relai Arus Lebih*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikumWr. Wb*

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insyaallah berguna bagu semesta alam. Shalawat dan salam kita hadiahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membwa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“ANALISIS KINERJA CIRCUIT BREAKER PADA SISI 150 kV Gardu Induk Lamhotma”**.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis dengan setulus hati menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda Miswanto dan Ibunda Neneng Kurniati Serta Kakak Khania Puspita Lestari tersayang, yang dengan penuh keikhlasan, cinta dan kasih sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, membimbing, dan mendoakan dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar,ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu,ST.,S.Pd.,MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap,ST.,MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Ibu Ir. Yusniati, MT. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Elvy Sahnur Nasution, ST, M.Pd. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh staf Dosen Pengajar Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
8. Seluruh Karyawan biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Seluruh staf pekerja dan infrastruktur di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Lamhotma
10. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2013. Kevin Prayudi Herman, Parid Wildan, Defri Aulia Akbar, Yudha Utomo Putra, Mhd. Haris Habib Hrp, Mhd. Andri Yusfianda, Bachtiar Rambe yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

*Wasslamu'alaikum Wr.Wb*

Medan, 15 Maret 2019

Penulis

Rizki Indra Pangestu

1307220063

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penelitian .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Penelitian Relevan.....	6
2.2 Gardu Induk .....	8
2.2.1 Fungsi Gardu Induk .....	8
2.2.2 Jenis Gardu Induk.....	9
2.2.3 Komponen (Bagian) Gardu Induk .....	16
2.3 Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) .....	21
2.3.1 Fungsi Bagian Utama CB/PMT .....	22
2.3.2 Klasifikasi CB/PMT .....	24
2.3.3 Sistem Penggerak .....	28
2.3.4 Relai Arus Lebih .....	29
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>31</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.2 Variabel Penelitian .....	31
3.3 Jalannya Penelitian.....	34
3.4 <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	35

<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	36
4.1 Data-Data Komponen Gardu Induk Lamhotma.....	36
4.2 Perhitungan dan Analisis Data.....	37
4.2.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	37
4.2.1.1 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah .....	42
4.2.1.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	43
4.2.1.3 Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....	45
4.3 Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat.....	47
4.4 Perhitungan Setting Relai .....	47
4.5 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai .....	49
4.6 Analisa Waktu Kerja Relai .....	52
4.7 Perbandingan Hasil Waktu Kerja Relai.....	53
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Gardu Induk Pasangan Luar .....	10
Gambar 2.2 : Gardu Induk Pasangan Dalam .....	11
Gambar 2.3 : <i>Single Line</i> Diagram Sistem <i>Ring</i> Busbar .....	14
Gambar 2.4 : <i>Single Line</i> Diagram Sistem <i>Single</i> Busbar .....	14
Gambar 2.5 : <i>Single Line</i> Diagram Sistem <i>Double</i> Busbar .....	15
Gambar 2.6 : <i>Single Line</i> Diagram Sistem <i>On Half</i> Busbar.....	16
Gambar 2.7 : Macam-Macam CB/PMT .....	22
Gambar 2.8 : CB/PMT <i>Single Pole</i> .....	25
Gambar 2.9 : CB/PMT <i>Three Pole</i> .....	25
Gambar 3.1 : <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	35
Gambar 4.1 : <i>Single Line</i> Diagram Gardu Induk Lamhotma .....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Karakteristik K dan $\alpha$ Relai Arus Waktu Terbalik.....	30
Tabel 3.1 : Karakteristik Operasi Waktu Relai Inverse .....	34
Tabel 4.1 : Impedansi Penyulang Urutan Positif & Negatif .....	40
Tabel 4.2 : Impedansi Penyulang Urutan Nol .....	40
Tabel 4.3 : Impedansi Ekuivalen $Z_{1eq}$ & $Z_{2eq}$ .....	41
Tabel 4.4 : Impedansi Ekuivalen $Z_{0q}$ .....	42
Tabel 4.5 : Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah .....	43
Tabel 4.6 : Arus Gangguan Hubung Singkat fasa ke fasa.....	45
Tabel 4.7 : Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.....	46
Tabel 4.8 : Waktu Kerja Relai Arus Gangguan 3 Fasa.....	50
Tabel 4.9 : Waktu Kerja Relai Arus Gangguan 2 Fasa.....	51
Tabel 4.10 : Waktu Kerja Relai Arus Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	52
Tabel 4.11 : Perbandingan Waktu Kerja Relai Terukur dengan Waktu Kerja Relai Terhitung .....	53

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan dalam pemanfaatan tenaga listrik di zaman modern ini banyak mengalami perkembangan dalam bidang teknologi yang tentunya berpengaruh pada besarnya konsumsi listrik di masyarakat. Pemanfaatan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari ini tidak terlepas dari berbagai macam gangguan. Gangguan yang terjadi yaitu seperti pada proses pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk, gardu distribusi bahkan bisa saja berpengaruh pada proses konsumsi listrik di masyarakat yang disebabkan oleh petir dan hubungan arus pendek listrik.

Gangguan-gangguan tersebut tidak dapat diprediksi waktu terjadinya. Dalam hal ini peneliti lebih fokus terhadap gangguan yang terjadi pada gardu induk. Dimana suatu sistem gardu induk memiliki alat pengaman yang dapat mendeteksi dan memproteksi sistem dari gangguan yang terjadi. Peralatan pengaman (sistem proteksi) yang tepat dan dapat diandalkan ketika terjadinya gangguan salah satunya berupa *circuit breaker* (CB).

Dalam ilmu kelistrikan (elektro), *circuit breaker* mempunyai peranan vital dalam proses pengaman atau proteksi pada suatu sistem kelistrikan. *Circuit Breaker*/Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat yang paling penting dari semua alat penghilang / peredam dari gangguan tenaga. PMT mempunyai 2 kemampuan untuk menghilangkan arus hubung singkat yang sangat besar yang melebihi nilai nominal dari arus beban yang melewati konduktor maupun isolator. Pemisah adalah suatu alat untuk memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan

tinggi biasanya digunakan untuk memisahkan beban yang akan diperbaiki dari beban bertegangan.[1]

Dari latar belakang masalah yang telah dipaparkan peneliti bermaksud untuk menganalisis pengaruh dari gangguan listrik pada gardu induk terhadap kinerja *circuit breaker*. Berdasarkan hal tersebut peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Kinerja *Circuit Breaker* Pada Sisi 150 kV Gardu Induk Lamhotma".

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah prinsip kerja *circuit breaker* memutuskan sebuah rangkaian yang mengalami gangguan?
2. Bagaimanakah kinerja *circuit breaker* pada saat terjadi gangguan pada Gardu Induk Lamhotma?
3. Apa sajakah faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *circuit breaker* pada Gardu Induk Lamhotma?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui proses *circuit breaker* memutuskan sebuah rangkaian yang mengalami sebuah gangguan.

2. Untuk menganalisa kinerja *circuit breaker* pada saat terjadinya gangguan pada Gardu Induk Lamhotma.
3. Untuk menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *circuit breaker* pada Gardu Induk Lamhotma.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah dipaparkan diatas serta untuk membantu proses penelitian maka dalam penelitian ini harus mempunyai batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisis nilai settingan relai dan faktor yg akan mempengaruhi kinerja *circuit breaker*. Dimulai pada saat relai merasakan gangguan sampai proses *circuit breaker* memutuskan tenaga listrik.
2. Analisis kinerja *circuit breaker* dilaksanakan hanya pada sisi 150 kV Gardu Induk Lamhotma.
3. Penelitian hanya dilakukan pada Gardu Induk Lamhotma Medan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian bermanfaat bagi pengembangan ilmu kelistrikan terutama terhadap penerapan dan pemahaman *circuit breaker* pada Gardu Induk.
2. Bagi pihak-pihak yang terkait dapat memberikan informasi pentingnya *circuit breaker* yang ada di setiap Gardu Induk.
3. Untuk menambah bahan bacaan tentang kinerja *circuit breaker* pada Gardu Induk serta dapat menambah referensi untuk penelitian selanjutnya yang

berkaitan dengan penelitian ini. Diharapkan dengan adanya tugas akhir ini dapat memberikan manfaat terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan ilmu kelistrikan yang menyangkut tentang *circuit breaker*

### **1.6 Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa metode penelitian untuk mengumpulkan data dan informasi sebagai berikut :

a. Studi Kepustakaan

Metode pengumpulan data dan informasi yang ditempuh dengan cara membaca buku-buku referensi, internet, dan buku panduan tentang gardu induk, relai, dan *circuit breaker*.

b. Studi Lapangan

Pengumpulan data dan informasi dengan cara melakukan penelitian dan melihat secara langsung penerapan *circuit breaker* pada Gardu Induk Lamhotma.

c. Wawancara

Mengumpulkan data dan informasi dengan cara mewawancarai dengan berbagai pihak yang memahami dan menguasai materi sistem kinerja *circuit breaker* dan gardu induk sebagai narasumber.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini menggunakan sistematika seperti berikut ini, yaitu :

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

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

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan tentang tinjauan pustaka dan teori penunjang yang relevan, yang membahas tentang pengertian *one line diagram*, jaringan transmisi, gardu induk, dan *circuit breaker*.

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan membahas tentang lokasi penelitian, jalannya penelitian, alat-alat yang digunakan pada proses penelitian dan jadwal penelitian.

## **BAB 4. ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN**

Berisikan tentang analisa Kinerja *Circuit Breaker* pada Gardu Induk Lamhotma Medan

## **BAB 5. PENUTUP**

Berisikan tentang kesimpulan dan saran tentang hasil analisa Kinerja *Circuit Breaker* pada Gardu Induk Lamhotma Medan

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Relevan

Untuk mendukung penelitian ini, berikut dikemukakan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini:

1. Tofan Aryanto, Sutarno, Said Sunardiyo (2013) dalam jurnal teknik elektro vol. 5 no. 2 yang berjudul “ Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara “. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah gangguan yang sering mempengaruhi sistem proteksi area trafo tenaga di Gardu Induk 150 KV Jepara dari tahun 2007 sampai 2012 adalah gangguan nonteknis dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya, yang mengakibatkan *Short Circuit Feeder* (SCF) pada Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) tertimpa pohon. Sistem proteksi area trafo tenaga di Gardu Induk 150 KV Jepara dari tahun 2007 sampai 2012 memiliki keandalan dengan predikat cukup baik dalam mengatasi kuantitas gangguan.[2]
2. KGS. M. Mu’ammam (2014) dalam skripsinya yang berjudul “ Evaluasi Penggunaan Circuit Breaker Pada Gardu Induk Bukit Siguntang Palembang”. Hasil penelitiannya tentang evaluasi circuit breaker menunjukkan bahwa circuit breaker masih mampu memproteksi gangguan yang terjadi pada tiap penyulang karena gangguan yang terjadi masih dibawah nilai breaking capacity dari circuit breaker sebesar 25 kA, arus gangguan maksimal yang terjadi hanya sebesar 42 A. Berdasarkan usia circuit breaker yang ada pada

masing-masing penyulang, circuit breaker tersebut masih mampu beroperasi minimal 15 tahun lagi karena usia circuit breaker yang ada pada penyulang baru 10 tahun sedangkan usia investasi dari circuit breaker tersebut yaitu 25 tahun. apabila usia circuit breaker telah mencapai 15 tahun kedepan maka harus dilakukan penggantian circuit breaker, walaupun circuit breaker yang ada masih dalam kondisi baik, demi keamanan dari peralatan-peralatan yang ada.[3]

3. [4] M.Ahrar Adi Putra (2017) dalam skripsinya yang berjudul “ Analisis Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi Di Gardu Induk 150 Kv Jeranjang “. Hasil yang diperoleh dari penelitiannya adalah gangguan yang sering mempengaruhi sistem proteksi area trafo tenaga di gardu induk 150 kv jeranjang dari tahun 2012 sampai 20126 adalah gangguan nonteknis dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya, dari gangguan yang terjadi kehandalan rele untuk mengamankan peralatan memiliki predikat yang baik.
4. Ardianto, Firdaus, Noveri L. M (2017) dalam Jom Fakultas Teknik Volume 4 No. 1 Februari 2017 yang berjudul “ Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti “. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah Jenis gangguan yang terjadi pada Gardu Induk Garuda Sakti adalah gangguan internal, eksternal dan gangguan tidak diketahui penyebabnya, sedangkan gangguan yang sering terjadi di Gardu Induk Garuda Sakti adalah gangguan yang tidak diketahui penyebabnya (*black out*). Dari tahun 2013 sampai 2015 terjadi 28 kali

gangguan trafo. Sistem proteksi yang bekerja pada saat terjadi 28 kaligangguan di Gardu Induk Garuda Sakti tahun 2013 sampai tahun 2015 ada 6 macam rele yaitu : Rele differensial, Rele OCR/GFR, Rele OVR/UVR, Rele REF/SBEF, Rele UVLS dan Rele DF/DT yang seluruh rele memiliki keandalan 100% dan mendapat predikat cukup baik. [5]

## **2.2 Gardu Induk**

[6] Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

### **2.2.1 Fungsi Gardu Induk**

Fungsi utama dari gardu induk yaitu untuk mentransformasikan daya listrik, contohnya seperti :

- 1) Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV).
- 2) Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV/70 kV).
- 3) Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV, 70 kV/20 kV).

Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses

penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk.

### 2.2.2 Jenis Gardu Induk

[6] Ada beberapa jenis gardu induk yang dapat dijumpai, dan dapat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

#### 1. Berdasarkan Besaran Tegangan

Berdasarkan dari besaran tegangannya, gardu induk dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) dengan besaran tegangan 500 kV, 275 kV dan Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) dengan besaran tegangan 150 kV dan 70 kV. Dari kedua Gardu induk tersebut, apabila dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum GITET dan GI hampir sama secara keseluruhan, perbedaann dasar yang membedakannya adalah :

- a) Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah transformator daya masing-masing 1 phasa (*Bank Transformer*) dan dilengkapi peralatan reaktor yang berfungsi mengkompensasikan daya reaktif pada jaringan.
- b) Pada GI menggunakan transformator daya 3 phasa dan tidak dilengkapi dengan peralatan reaktor.[6]

#### 2. Berdasarkan Pemasangan Peralatan

Berdasarkan dari pemasangan peralatannya, gardu induk dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

##### 1) Gardu Induk Pasangan Luar

Gardu induk yang sebagian besar komponennya ditempatkan diluar gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi, sistem kendali dan komponen

bantu lainnya yang dipasang di dalam gedung. Biasanya gardu induk ini sering disebut dengan gardu induk konvensional, dan sebagian besar gardu iinduk yang ada di Indonesia adalah gardu induk yang seperti ini.



Gambar 2.1. Gardu Induk Pasangan Luar

## 2) Gardu Induk Pasangan Dalam

Gardu induk yang hampir semua komponennya (*Switchgear*, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen proteksi, *cubicle*, dan lainnya) dipasang di gedung, kecuali transformator daya yang umumnya dipasang di luar gedung. Gardu induk ini sering disebut dengan *Gas Insulated Substation* (GIS). GIS sendiri merupakan bentuk pengembangan gardu induk yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan, seperti di kota-kota besar di Pulau Jawa. Adapun beberapa keunggulan GIS jika dibandingkan dengan GI Konvensional yaitu :

- a) Hanya membutuhkan lahan dengan luas  $\pm 3000$  meter persegi atau  $\pm 6\%$  dari luas lahan untuk GI Konvensional.

- b) Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman
- c) Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa di desain sesuai dengan kondisi sekitar.



Gambar 2.2. Gardu Induk Pasangan Dalam

### 3) Gardu Induk Kombinasi Pasangan Luar dan Pasangan Dalam

Gardu induk jenis ini menempatkan komponen *switchgear* nya di dalam dan di luar gedung, seperti *tie line* dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam *switchgear*. Sama seperti jenis gardu induk yang lain, transformator daya ditempatkan di luar gedung.

### 3. Berdasarkan Fungsinya

Berdasarkan dari fungsinya gardu induk dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

#### 1) Gardu Induk Penaik Tegangan

Gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena output voltage yang dihasilkan

pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi tegangannya dinaikkan menjadi tegangan

#### 2) Gardu Induk Penurun Tegangan

Gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan tinggi, dan dari tegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi.

#### 3) Gardu Induk Pengatur Tegangan

Gardu induk ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik, karena tegangan listrik yang disalurkan sangat jauh, maka terjadi jatuh tegangan (*Voltage Drop*) transmisi yang cukup besar. Oleh karena itu dibutuhkan alat penaik tegangan seperti *Capasitor Bank* , sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

#### 4) Gardu Induk Pengatur Beban

Gardu induk yang berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban. Dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air ke kolam utama.

#### 5) Gardu Distribusi

Gardu induk yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

### **4. Berdasarkan Isolasi yang Digunakan**

Berdasarkan dari jenis isolasi yang digunakan gardu induk dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

#### 1) Gardu Induk yang Menggunakan Isolasi Udara

Gardu induk ini menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya. Contoh Gardu yang menggunakan isolasi udara ini yaitu gardu induk konvensional, dan gardu induk ini memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.

#### 2) Gardu Induk yang Menggunakan Isolasi Gas SF<sub>6</sub>

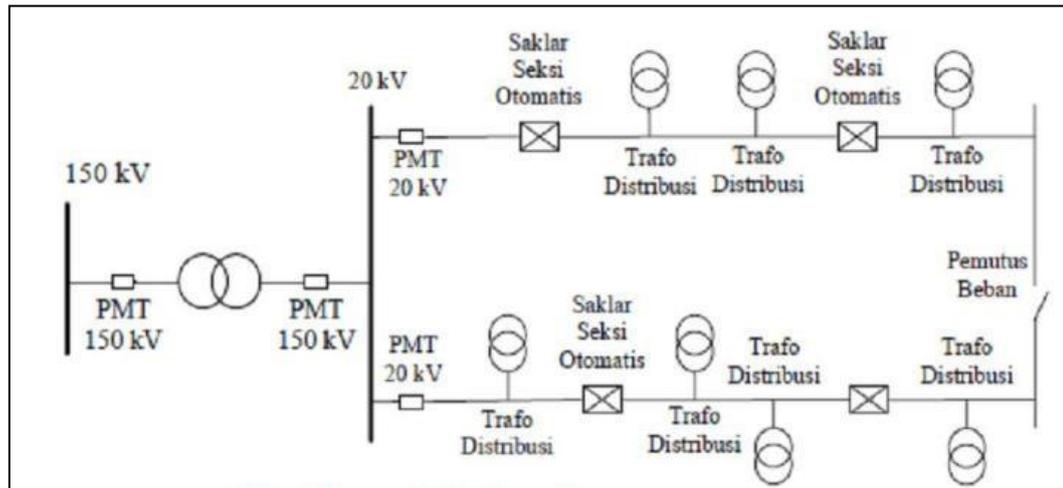
Gardu induk ini menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian bertegangan yang lainnya, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Gardu induk ini biasa disebut *Gas Insulated Substation* (GIS), yang tidak memerlukan tempat yang terlalu luas.

### **5. Berdasarkan Sistem (Busbar)**

Busbar merupakan titik hubung pertemuan (*connecting*) antara transformator daya dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan meyalurkan tenaga listrik. Berdasarkan Sistem (Busbar) gardu induk terbagi menjadi beberapa jenis, antarlain:

#### 1) Gardu Induk Sistem *Ring* Busbar

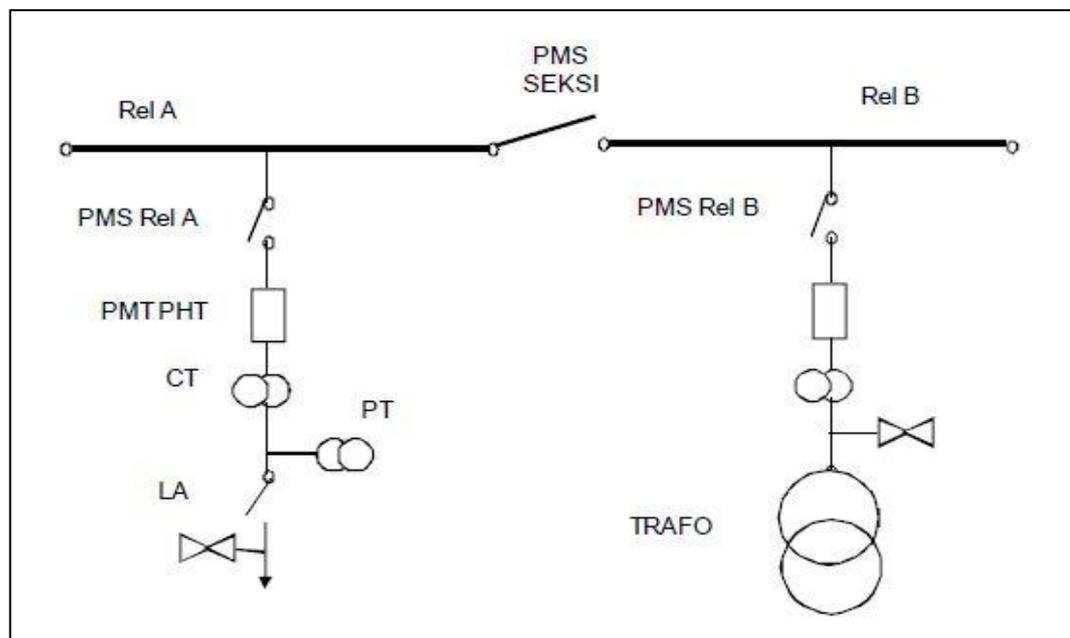
Gardu induk sistem *ring* busbar adalah gardu induk yang busbarnya berbentuk ring. Pada gardu induk jenis ini semua rel atau busbar yang ada, terhubung satu dengan yang lainnya dan membentuk ring (cincin).



Gambar 2.3. *Single Line Diagram* Sistem *Ring Busbar*.

## 2) Gardu Induk Sistem *Single Busbar*

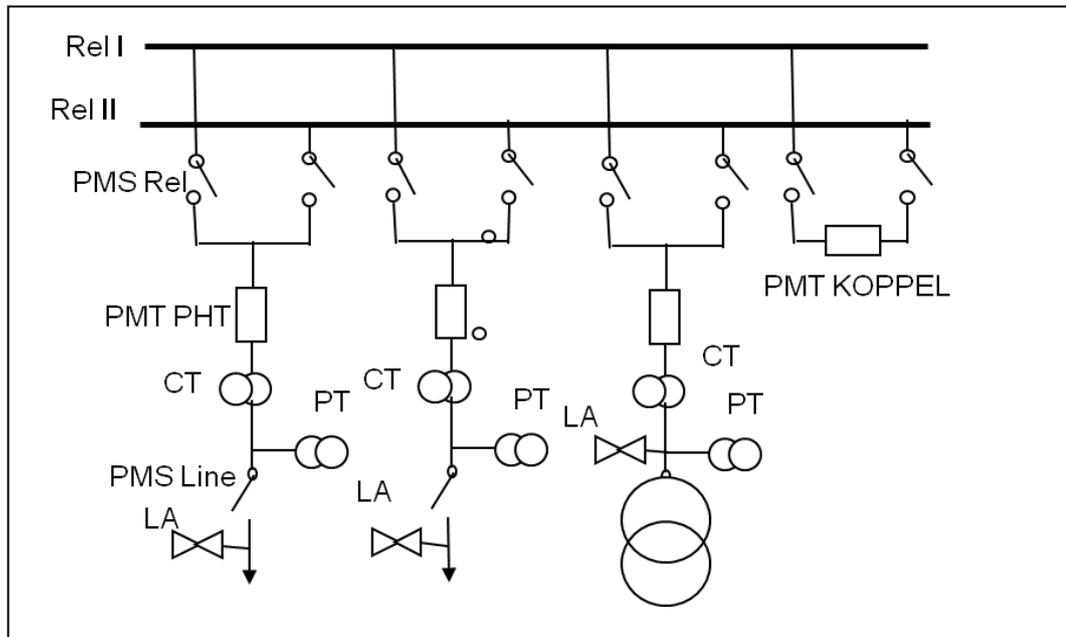
Gardu induk sistem *single busbar* adalah gardu induk yang mempunyai satu (*single*) busbar. Pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk yang berada di ujung (akhir) suatu sistem transmisi.



Gambar 2.4. *Single Line Diagram* Sistem *Single Busbar*.

### 3) Gardu Induk Sistem *Double* Busbar

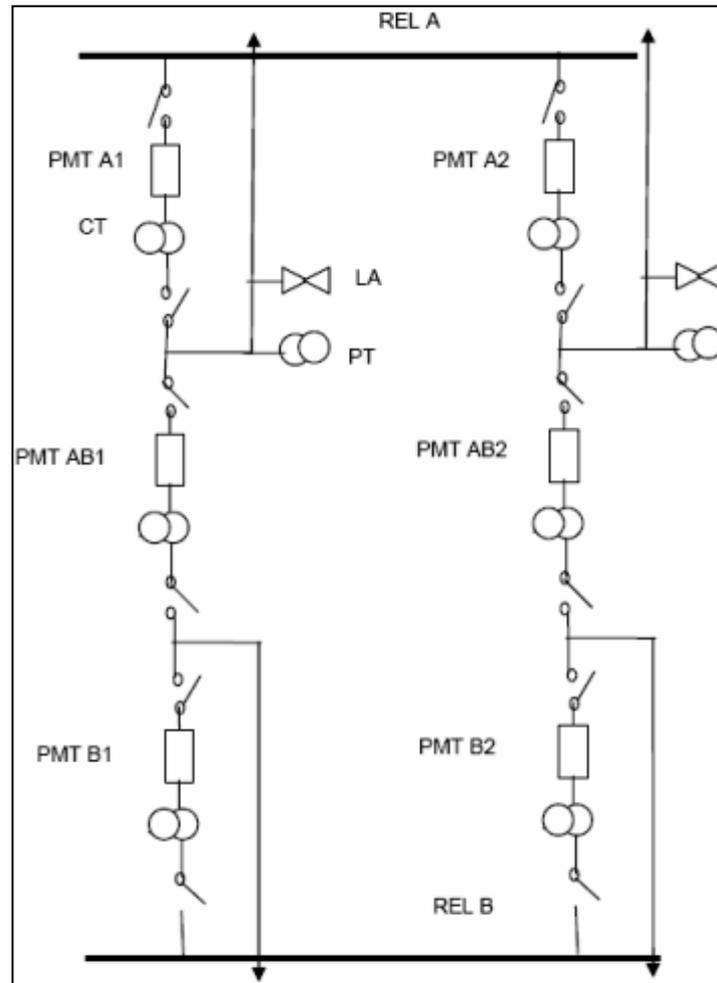
Gardu induk sistem *double* busbar adalah gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar. Gardu induk ini sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (manuver sistem). Gardu induk jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan.



. Gambar 2.5. *Single Line* Diagram Sistem *Double* Busbar

### 4) Gardu Induk Sistem *On Half* Busbar

Gardu induk sistem satu setengah (*On Half*) busbar adalah gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar. Pada umumnya gardu induk jenis ini dipasang pada gardu induk pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar. Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif karena dapat mengurangi pemadaman beban saat dilakukan perubahan sistem. Sistem ini menggunakan tiga buah PMT dalam satu diagonal yang terpasang secara deret atau seri.



Gambar 2.6. *Single Line Diagram Sistem On Half Busbar.*

### 2.2.3 Komponen (Bagian) Gardu Induk

[7] Gardu induk terdiri dari banyak komponen yang bekerjasama satu dengan yang lain agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, berikut ini adalah komponen-komponen yang digunakan pada gardu induk :

#### 1) *Switch Yard (SwitchGear)*

*Switch Yard* adalah bagian dari gardu induk yang dijadikan sebagai tempat komponen utama gardu induk. Apabila komponen utama gardu induk terpasang di area terbatas dan di dalam gedung dinamakan *SwitchGear*.

## 2) Transformator Daya

Transformator berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besarnya tegangan sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya dilengkapi dengan transformator pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari transformator daya. Peralatan ini disebut *Neutral Current Transformer* (NCT), peralatan lainnya adalah pentanahan transformator yang disebut, *Neutral Grounding Resistance* (NGR).

## 3) *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

*Neutral Grounding Resistance* (NGR) adalah komponen yang dipasang antara titik netral transformator dengan pentanahan. Komponen ini berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.

## 4) Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB)

Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. PMT atau CB dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal maupun pada saat terjadi gangguan.

## 5) Sakelar Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch* (DS)

Sakelar pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch* (DS) adalah peralatan pemisah, yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban, Karena PMS hanya dapat dioperasikan pada saat tidak berbeban, maka yang harus dioperasikan terlebih dahulu adalah PMT atau CB. Setelah rangkaian diputus oleh PMT atau CB, barulah PMS dioperasikan.

6) *Lightning Arrester (LA)*

*Lightning Arrester (LA)* berfungsi untuk melindungi peralatan listrik di gardu induk dari tegangan akibat terjadinya sambaran petir (*Lightning Surge*) pada kawat transmisi. Dalam keadaan normal LA bersifat isolatif atau tidak bisa menyalurkan arus listrik. Dan sebaliknya, apabila terjadi gangguan LA akan bersifat konduktif atau dapat menyalurkan arus listrik.

7) Transformator Arus atau *Current Transformer (CT)*

Transformator arus (CT) berfungsi untuk merubah besaran arus, dari arus yang besar ke arus yang kecil, atau memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik menjadi arus untuk sistem pengukuran dan proteksi.

8) Transformator Tegangan atau *Potential Transformer (PT)*

Transformator Tegangan (PT) berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi.

9) Transformator Pemakaian Sendiri (TPS)

Transformator Pemakaian Sendiri (TPS) berfungsi sebagai sumber tegangan AC 3 fasa 220/380 Volt. Biasanya digunakan untuk kebutuhan internal gardu induk, yaitu penerangan (*switch yard*, gedung kontrol, halaman GI, dan sekeliling GI), alat pendingin (AC) dan *Rectifier*, pompa air, motor-motor listrik, dan lain-lain.

#### 10) Rel Busbar

Rel busbar berfungsi sebagai titik pertemuan/hubungan antara transformator daya, SUTT/SKTT, serta komponen listrik lainnya yang ada pada *switch yard*.

#### 11) Gedung Kontrol

Gedung kontrol berfungsi sebagai pusat aktifitas pengoperasian gardu induk. .

#### 12) Panel Kontrol

Panel kontrol berfungsi untuk mengetahui kondisi gardu induk dan merupakan pusat kendali gardu induk. Di dalamnya berisi saklar, indikator-indikator, meter-meter, tombol-tombol komando operasional PMT, PMS dan alat ukur besaran listrik, serta *annunciator*. Panel kontrol biasanya berada satu ruangan dengan tempat operator bekerja yaitu pada gedung kontrol.

#### 13) Panel Proteksi

Panel proteksi berfungsi untuk memproteksi atau melindungi sistem jaringan gardu induk pada saat terjadi gangguan maupun karena kesalahan operasi. Di dalam panel proteksi berisi peralatan-peralatan elektro dan elektronika dan lain-lain yang bersifat presisi. Setiap relay yang terpasang dan panel proteksi, diberi nama relay sesuai fungsinya. Relay panel proteksi terdiri dari :

- a) *Transmission Line Relay Panel* (relay panel TL)
- b) *Transformer Relay Panel* (relay panel TR)
- c) *Busbar Protection Relay Panel*

#### 14) Sumber DC Gardu Induk

Sumber DC gardu induk yang berupa baterai berfungsi untuk menggerakkan peralatan kontrol, relay pengaman, motor penggerak, PMT/CB, PMS/DS, dan lain-lain. Sumber DC harus selalu terhubung dengan rectifier dan harus diperiksa secara rutin, seperti memeriksa kondisi air, kebersihan dan berat jenisnya.

#### 15) Panel AC/DC Gardu Induk

Panel DC/AC gardu induk adalah alat listrik yang berupa lemari pembagi. Di dalam panel tersebut terpasang sakelar kecil atau fuse-fuse sebagai pembagi beban dan pengaman dari instalasi yang terpasang pada gardu induk.

#### 16) Kubikel 20 kV

Kubikel adalah switchgear untuk tegangan menengah (20kV) yang berasal dari output transformator daya, yang selanjutnya diteruskan ke konsumen melalui penyulang (*feeder*) yang terhubung dengan kubikel tersebut. Komponen atau rangkaian kubikel antara lain :

- a) Panel Penghubung (*couple*)
- b) *Incoming Cubicle*
- c) PMT/CB dan *Current Transformator* (CT)
- d) Komponen proteksi dan pengukuran
- e) *Bus Sections*
- f) *Feeder* atau Penyulang

#### 17) Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengaman terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasional

dan penyebab lainnya. Beberapa komponen pada gardu induk yang perlu dibeikan proteksi yaitu :

- a) Transformator Daya
- b) Rel Busbar
- c) Penghantar (Saluran Udara Tegangan Tinggi).

### **2.3 *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga Listrik (PMT)**

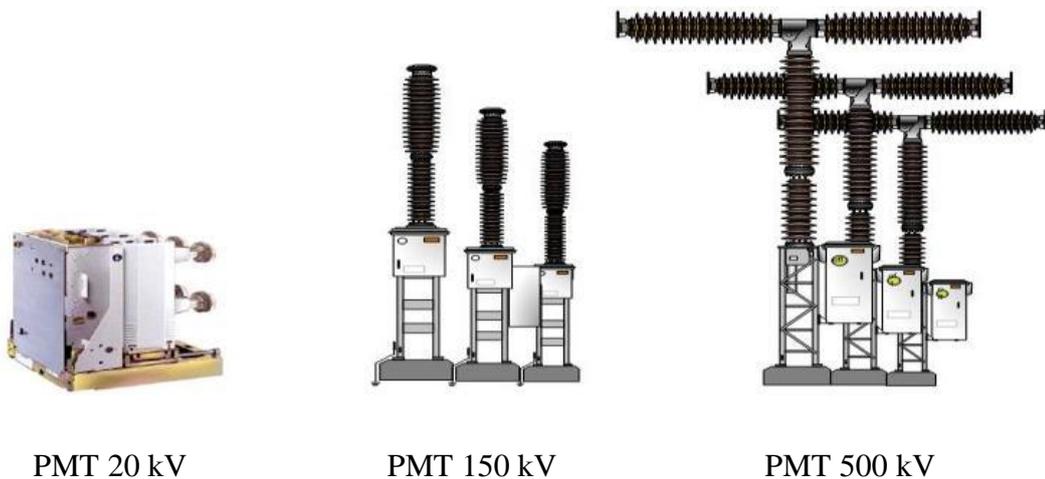
[8] *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. CB atau PMT dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal maupun pada saat terjadi gangguan seperti arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. CB /PMT harus memiliki persyaratan agar dapat melakukan hal-hal seperti diatas, yaitu sebagai berikut :

- a) Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
- b) Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada CB/ PMT itu sendiri.
- c) Dapat Memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak CB/PMT itu sendiri.

Setiap PMT dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu PMT yaitu :

- a) Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus dayanya akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.

- b) Arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui CB/PMT. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana CB/PMT dipasang.
- c) Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan CB/PMT tersebut.
- d) Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. Hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
- e) Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek disekitarnya.
- f) Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
- g) Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
- h) Iklim dan ketinggian lokasi penempatan CB/PMT.



Gambar 2.7. Macam-macam CB/PMT

### 2.3.1 Fungsi Bagian Utama CB/PMT

[9] Ruang pemutus tenaga berfungsi sebagai ruangan pemadam busur api, yang terdiri dari :

a) Unit pemutus utama yang berfungsi sebagai pemutus utama

Unit pemutus ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada isolator porselen.

b) Unit pemutus pembantu berfungsi sebagai pemutus arus yang melalui tahanan

Unit pemutus pembantu ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada porselen.

c) Katup Kelambatan

Berfungsi sebagai pengatur udara bertekanan dari pemutus utama ke unit pemutus pembantu, sehingga kontak pada unit pemutus pembantu akan terbuka kurang dari 25 ms (mikro detik) setelah kontak-kontak pada pemutus utama terbuka. Katup kelambatan ini berupa bejana berbentuk silinder yang berongga sebagai ruang udara dan juga terdapat ruang pengatur, katup penahan, katup pengatur, rumah perapat dan tempat katup.

d) Tahanan

Tahanan ini dipasang paralel dengan unit pemutus utama, yang berfungsi untuk mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul dan mengurangi arus pukulan pada waktu pemutusan.

e) Kapasitor

Kapasitor dipasang paralel dengan tahanan unit pemutus utama dan unit pemutus pembantu, yang berfungsi untuk mendapatkan pembagian tegangan yang

sama pada setiap celah kontak, sehingga kapasitas pemutusan pada setiap celah sama besarnya.

f) Kontak-kontak

1. Unit pemutus utama kontak bergerak dilapisi dengan perak terdiri dari :
  - a. Kepala kontak bergerak
  - b. Silinder kontak
  - c. Jari-jari kontak
  - d. Batang kontak
  - e. Pegangan kontak-kontak tetap, terdiri dari Kepala kontak dan Pegangan kontak
2. Unit pemutus pembantu
  - a. Kontak bergerak
  - b. Kontak tetap, yang terdiri dari Jari-jari kontak dan Pegangan kontak

### 2.3.2 Klasifikasi CB/PMT

Klasifikasi Pemutus Tenaga dapat dibagi atas beberapa jenis, yaitu berdasarkan tegangan rating/nominal, jumlah mekanik penggerak, media isolasi, dan proses pemadaman busur api dengan gas SF<sub>6</sub>.

a. Berdasarkan besar/kelas tegangan

Berdasarkan besar/ kelas tegangannya, CB/PMT dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu :

- 1) Tegangan rendah (*Low Voltage*), dengan range tegangan 0,1 - 1 kV.
- 2) Tegangan menengah (*Medium Voltage*), dengan range tegangan 1 kV - 35 kV.
- 3) Tegangan tinggi (*High Voltage*), dengan range tegangan 35 kV - 245 kV.

4) Tegangan extra tinggi (*Extra High Voltage*), dengan range tegangan lebih dari 245 kV.

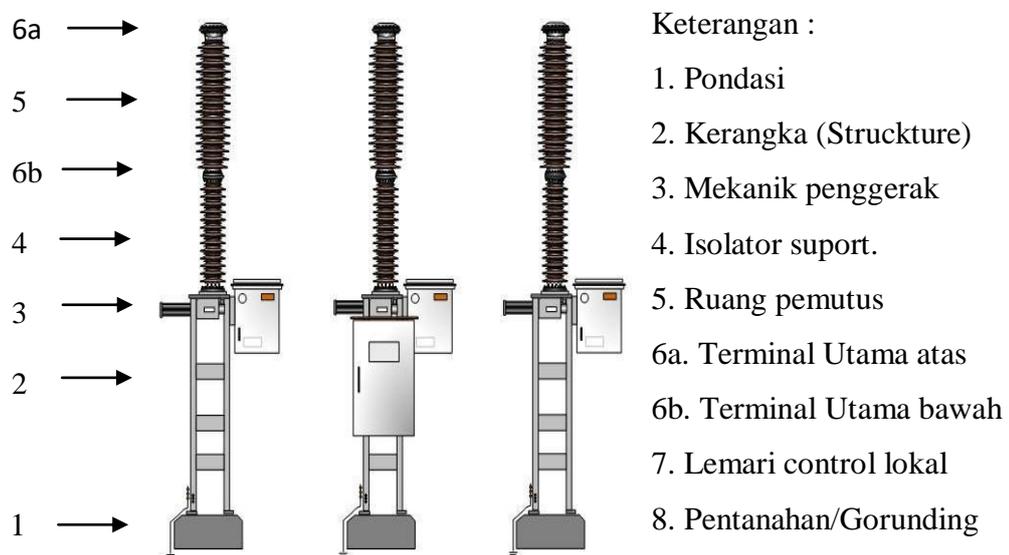
b. Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak (*Tripping Coil*)

Berdasarkan jumlah mekanik penggerak, CB/PMT dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

### 1. *Single Pole*

Tipe ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing *pole*.

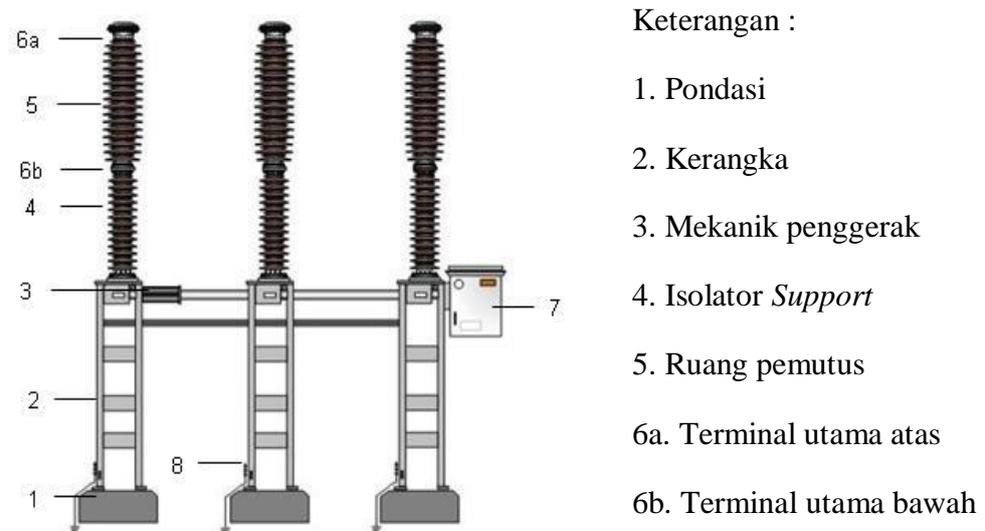
Umumnya tipe ini dipasang pada bay penghantar agar bisa *reclose* satu fasa.



Gambar 2.8. CB/PMT *Single Pole*

### 2. *Three Pole*

Tipe ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya di lengkapi dengan kopel mekanik, umumnya tipe ini dipasang pada bay trafo dan bay kopel serta CB/PMT 20 kV untuk distribusi



Gambar 2.9. CB/PMT *Three Pole*

c. Berdasarkan Jenis Media Isolasi

#### 1. Media Minyak

Jenis ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV. Pada CB/PMT dengan media minyak terdapat 2 jenis berdasarkan penggunaan minyaknya, yaitu :

- a) CB/PMT dengan banyak menggunakan minyak (*Bulk Oil Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api listrik selama terjadi pemutusan kontak dan sebagai isolator antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan.
- b) CB/PMT dengan sedikit menggunakan minyak (*Low Oil Content Circuit Breaker*), pada tipe ini minyak hanya dipergunakan sakelar sebagai peredam loncatan bunga api listrik, sedangkan sebagai bahan isolator dari bagian yang bertegangan digunakan porselen atau material isolasi dari jenis organik

## 2. Media Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*)

Jenis ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. CB/PMT jenis ini dirancang untuk mengatasi kelemahan pada PMT minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat. Kontak pemutus sendiri ditempatkan di dalam isolator, dan juga katup hembusan udara. Pada sakelar PMT kapasitas kecil, isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

## 3. Media Vakum (*Vacuum Circuit Breaker*)

Jenis ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV. Ruang hampa udara pada CB/PMT jenis ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik. Pada CM/PMT media vakum, kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Untuk mencegah udara masuk ke dalam bilik, maka bilik ini harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya diikat ketat dengan perapat logam. Ruang kontak utama dibuat dari bahan porselen, kaca atau plat baha yang kedap udara. Ruang kontak utamanya tidak dapat dipelihara dan umur kontak utama sekitar 20 tahun. Karena kemampuan tegangan dielektrikum yang tinggi maka bentuk fisik CB/PMT jenis ini relatif kecil.

## 4. Media Gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*)

Jenis ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV. Media gas yang digunakan pada tipe ini adalah gas SF<sub>6</sub> (*Sulphur HexaFluoride*). Sifat gas SF<sub>6</sub> murni adalah tidak

berwarna, tidak berbau, tidak beracun, dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150 °C, gas SF<sub>6</sub> mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF<sub>6</sub> ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka.

### 2.3.3 Sistem Penggerak

Sistem penggerak berfungsi sebagai penggerak kontak gerak (*moving contact*) untuk operasi pemutusan atau penutupan CB/PMT. Terdapat beberapa jenis penggerak pada CB/PMT, yaitu :

#### 1. Penggerak Pegas (*Spring Drive*)

Mekanis penggerak dengan menggunakan pegas (*Spring*) terdiri dari 2 jenis. Pegas Pilin (*Helical Spring*) CB/PMT jenis ini menggunakan pegas pilin sebagai sumber tenaga penggerak yang ditarik atau diregangkan oleh motor melalui rantai dan Pegas Gulung (*Scroll Spring*) CB/PMT ini menggunakan pegas gulung untuk sumber tenaga penggerak yang diputar oleh motor melalui roda gigi.

#### 2. Penggerak Hidrolik

Penggerak mekanik hidrolik adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik, dan hidrolik *oil* yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup CB/PMT.

### 3. Penggerak Pneumatic

Penggerak mekanik pneumatic adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik, dan udara bertekanan yang dirangkai sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup CB/PMT.

### 4. SF6 Gas Dinamik

CB/PMT jenis ini menggunakan gas SF6 dengan memanfaatkan tekanan gasnya yang berfungsi ganda, selain sebagai pemadam tekanan gas juga dimanfaatkan sebagai media penggerak.

#### 2.3.4 Relai Arus Lebih

[10] Pada dasarnya relai arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting. Relai arus juga memiliki macam-macam karakteristik, yaitu :

##### 1. Relai waktu seketika (*instantaneous Relay*)

Relai yang bekerja seketika (tanpa waktu jeda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingannya, relai akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik. Relai ini jarang berdiri sendiri tetapi pada umumnya dikombinasikan dengan relai arus lebih dengan karakteristik yang lain.

##### 2. Relai Arus Lebih Waktu tertentu (*Definite Time Relay*)

Relai ini akan memberikan perintah kepada CB atau PMT saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan yang melampaui settingnya ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relai mulai *pick up* sampai kerja relai diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relai.

### 3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik

Relai ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*Inverse Time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, Karakteristik waktunya dibedakan menjadi empat macam yaitu *Standar Inverse*, *Very Inverse*, *Extreemely Inverse* dan *Long Time Inverse*.

Tabel.2.1.Karakteristik K dan  $\alpha$  Relai Arus Waktu Terbalik

Karakteristik	K	$\alpha$
<i>Standar Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1,0
<i>Extreemely Inverse</i>	80,0	2,0
<i>Long Time Inverse</i>	120,0	1,0

Pada relai arus lebih ini, memiliki dua jenis pengaman yang berbeda yaitu Pengaman Hubung Singkat Fasa. Dimana relai mendeteksi arus fasa, oleh karena itu disebut dengan relai fasa. Karena pada relai tersebut dialiri oleh arus fasa, makasetting arusnya harus lebih besar dari arus maksimum beban dan yang kedua adalah Pengaman Hubung Tanah.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di PT.PLN (Persero) Gardu Induk Lamhotma, Jalan Seruwai Sei Mati Medan Labuhan pada bulan Maret 2018.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Secara garis besar ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kinerja dari sebuah *circuit breaker*, khususnya yang ada di Gardu Induk Lamhotma, yaitu :

##### **a. Arus Gangguan Hubung Singkat**

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat terjadinya gangguan hubung singkat, dimana nanti akan diperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat yg terjadi. Gangguan hubung singkat ini dapat terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau sering disebut dengan gangguan arus lebih.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangatlah penting untuk mempelajari dan mengetahui sistem tenaga listrik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nanti. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk setting dan koordinasi peralatan proteksi, menentukan kapasitas alat pemutus daya, menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang akan

digunakan, dan menganalisa sistem jika ada hal yang tidak baik ketika sistem sedang beroperasi.

### **b. Impedansi**

Dalam menghitung impedansi ada 3 macam impedansi urutan yaitu Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ), Impedansi urutan Negatif ( $Z_2$ ), dan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ).

Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) yaitu impedansi yang hanya disarankan oleh arus urutan positif, Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ) yaitu impedansi yang hanya disarankan oleh arus urutan negatif, dan Impedansi urutan nol ( $Z_0$ ) adalah impedansi yang hanya disarankan oleh arus urutan nol.

### **c. Impedansi Sumber**

Untuk menghitung impedansi sumber dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$X_s = \frac{\text{Tegangan Sisi Primer Transformator (kV}^2\text{)}}{\text{Daya Hubung Singkat Bus 150 kV (MVA)}}$$

Dimana : Impedansi Sumber (Ohm) =  $X_s$

Tegangan sisi primer transformator (kV)

Daya hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

### **d. Impedansi Transformator**

Perhitungan impedansi pada transformator biasanya hanya diambil harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya yg relatif kecil. Untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam *Ohm* dapat dihitung dengan menggunakan cara sebagai berikut.

Pertama-tama mencari nilai *ohmm* pada 100% untuk transformator pada sisi 20 kV, yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{\text{Tegangan Transformator Daya 1 (sisi 20 kV)}^2}{\text{Daya transformator Daya 1}}$$

Dimana : Impedansi Transformator (*Ohm*) =

Tegangan sisi primer transformator (kV)

Daya Transformator Daya 1 (MVA)

#### e. Setting Relai Arus Lebih

Penyetelan relai arus lebih pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga harus terlebih dahulu dihitung nilai arus nominal transformator tenaganya. Arus setting untuk relai arus lebih baik pada sisi primer maupun pada sisi sekundernya adalah

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,05 \times I_{\text{Nominal Transformator}}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai sekunder yang dapat disetkan pada relai arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio dari transformator arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

#### f. Setting Waktu

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, kemudian digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Persamaan untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuat relainya. Dalam hal ini persamaan yang digunakan diambil dengan relai merk MC 30.

Tabel.3.1. Karakteristik Operasi Waktu Relai Inverse

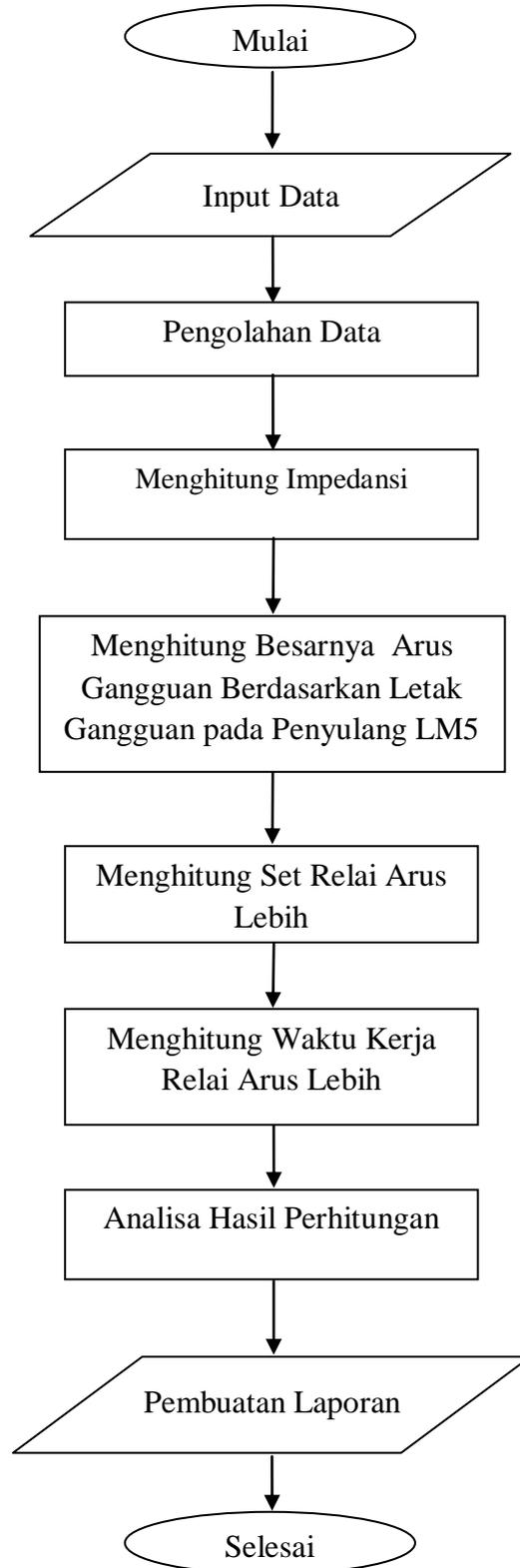
Tipe Relai	Setelan Waktu (TMS)
<i>Standar Inverse</i>	$tms = \frac{0,14 \times t}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right)^{0,02} - 1}$
<i>Very Inverse</i>	$tms = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right) - 1}$
<i>Extreemely Inverse</i>	$tms = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right)^2 - 1}$
<i>Long Time Inverse</i>	$tms = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right) - 1}$

### 3.3 Jalannya Penelitian

Penelitian pertama kali dimulai dengan merumuskan masalah yang akan dikaji dalam penelitian, kemudian dilanjutkan dengan studi kepustakaan untuk mendukung dan menjadi landasan pelaksanaan penelitian. Jalannya penelitian dilakukan dengan rumusan sebagai berikut :

- a. Melakukan pengamatan pada Gardu Induk Lamhotma.
- b. Membuat analisis kinerja *circuit breaker* pada Gardu Induk Lamhotma berdasarkan data yang diperoleh dari hasil wawancara dengan pihak-pihak terkait.

### 3.4 Flow Chart Penelitian



Gambar3.1. *Flow Chart* Penelitian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data-Data Komponen Gardu Induk Lamhotma

##### a. Data Transformator Daya 1 (TD1)

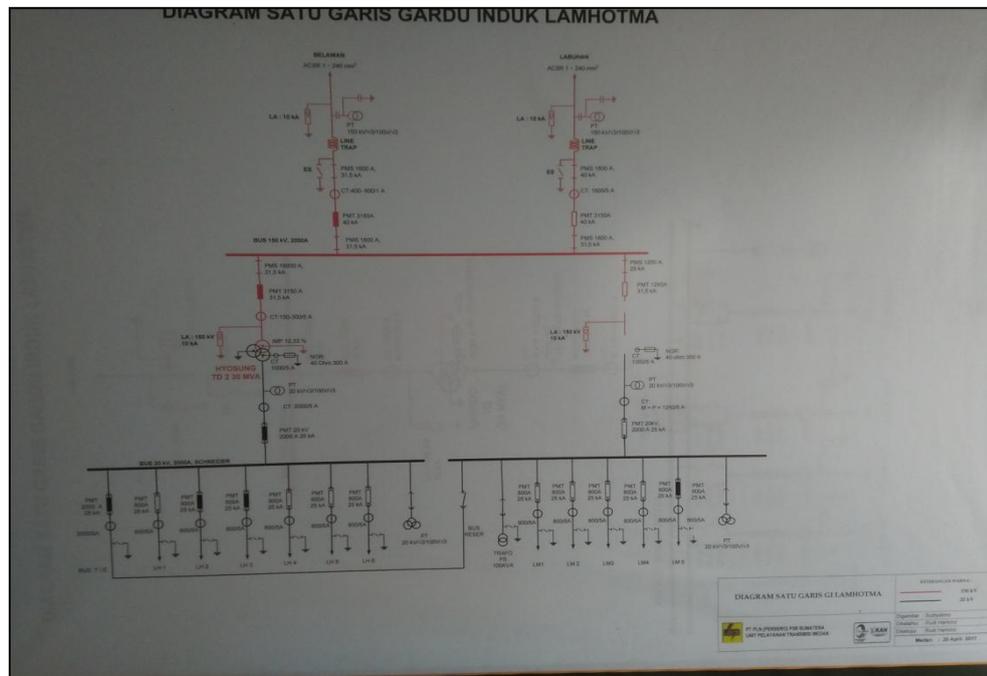
1. Merk = UNINDO
2. Daya = 60 MVA
3. Tegangan = 150/20 kV
4. Impedansi = 12,50%
5. Tegangan Primer = 150 kV
6. Tegangan Sekunder = 20 kV
7. Ratio *Current Transformator* = 2000/5 A
8. Arus Nominal Transformator ` = 1732,1 A
9. Hubungan belitan Transformator = YNyn0
10. Ground Resistor = 40 ohm

##### b. Data Relai Arus Lebih Sisi Penyulang 20 kV

1. Merk = SCHNEIDER
2. Tipe = P142316A6M0448J
3. Nomor seri = 36112291
4. Karakteristik = Normal Inverse
5. Arus nominal = 5 A
6. Tms = 0,1
7. Rasio CT = 400/5 A

## 4.2 Perhitungan dan Analisis Data

Berikut ini adalah gambar *Single Line Diagram* Gardu Induk Lamhotma yang digunakan sebagai se untuk membantu proses perhitungan analisa data



Gambar 4.1. *Single Line Diagram* Gardu Induk Lamhotma

### 4.2.1. Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa, dan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Data hubung singkat di bus sisi 150 kV gardu induk lamhotma yang diperoleh adalah sebesar 2,962 MVA.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini dihitung berdasarkan panjangnya penyulang, yaitu diasumsikan terjadi di 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang.

### A. Impedansi Sumber

Besarnya nilai impedansi sumbernya ( $X_s$ ) adalah :

$$X_{s(\text{sisi } 150 \text{ kV})} = \frac{\text{Tegangan Sisi Primer Transformator (kV}^2\text{)}}{\text{Daya Hubung Singkat Bus 150 kV (MVA)}}$$

$$X_{s(\text{sisi } 150 \text{ kV})} = \frac{150^2}{2962} = 7,59 \text{ Ohm}$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder, maka :

$$X_{s(20\text{kV})} = \frac{\text{Tegangan(sisi sekunder TD1)}^2}{\text{Tegangan(sisi primer TD1)}^2} \times \text{Daya Hubung Singkat Bus}$$

$$X_{s(20\text{kV})} = \frac{20^2}{150^2} \times 2962 = 0,134 \text{ Ohm}$$

### B. Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga saatu di Gardu Induk Lamhotma adalah 12,50%, agar dapat mengetahui besar nilainya reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu di hitung terlebih dahulu besar nilai ohm pada keadaan 100% nya, Besarnya nilai ohm pada keadaan 100% yaitu :

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{\text{Tegangan Transformator Daya1 (sisi } 20\text{kV)}^2}{\text{Daya Transformator Daya 1}}$$

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{20^2}{60} = 6,667 \text{ Ohm}$$

Nilai reaktansi Transformator tenaga :

1. Reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

$$\text{maka } X_{t1} = X_{t2} = 12,50 \% \times 6,667 = 0,833 \text{ Ohm}$$

2. Reaktansi Urutan nol ( $X_{t0}$ )

Karena transformator daya yang mensuplai penyulang LM5 mempunyai hubungan YNYN0 (tidak mempunyai belitan delta), maka besarnya  $X_{t0}$  berkisar

di antara 9 s/d 14 kemudian dikalikan dengan besarnya nilai  $X_{t1}$ . Dalam perhitungan ini diambil nilai  $X_{t0} = 11 \times X_{t1} = 11 \times 0,833 = 9,163 \text{ Ohm}$

### C. Impedansi Penyulang

Dari data yang telah diperoleh, bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang LM5 hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu tipe XLPE dengan ukuran  $240 \text{ mm}^2$ . Dengan panjangnya penyulang yaitu sejauh 5,507 km. Berdasarkan IEC.502 besarnya nilai impedansi yang dimiliki oleh penghantar jenis XLPE dengan ukuran  $240 \text{ mm}^2$ , yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 \text{ (XLPE 240)} &= (0,125 + j0,097) \text{ Ohm / km} \times 5,507 \\ &= 0,688 + j0,534 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 \text{ (XLPE 240)} &= (0,275 + j0,029) \text{ Ohm / km} \times 5,507 \\ &= 1,514 + j0,159 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Dengan seperti itu nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan dengan asumsi jarak 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut :

#### a) Urutan positif dan negatif

Untuk urutan positif dan negatif besarnya nilai impedansi penyulang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Z_1 \& Z_2 = Z_1 \& Z_2 \text{ (XLPE 240)} \times \% \text{ asumsi jarak terjadinya gangguan}$$

Maka diperoleh :

$$\text{pada jarak 25\%} = (0,688 + j0,534) \times 25 \% = 0,172 + j0,133 \text{ ohm}$$

$$\text{pada jarak 50\%} = (0,688 + j0,534) \times 50 \% = 0,344 + j0,267 \text{ ohm}$$

$$\text{pada jarak 75\%} = (0,688 + j0,534) \times 75 \% = 0,516 + j0,400 \text{ ohm}$$

$$\text{pada jarak 100\%} = (0,688 + j0,534) \times 100 \% = 0,688 + j0,534 \text{ ohm}$$

Tabel.4.1. Impedansi Penyulang Urutan Positif &amp; Negatif

Panjang (%)	Impedansi Penyulang ( $Z_1$ & $Z_2$ )
25	$0,172 + j0,133 \text{ ohm}$
50	$0,344 + j0,267 \text{ ohm}$
75	$0,516 + j0,400 \text{ ohm}$
100	$0,688 + j0,534 \text{ ohm}$

## b) Urutan Nol

Untuk urutan positif dan negatif besarnya nilai impedansi penyulang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Z_0 = Z_0 (\text{XLPE 240}) \times \% \text{ jarak terjadinya gangguan}$$

Maka diperoleh :

$$\text{pada jarak 25\%} = (1,514 + j0,159) \times 25 \% = 0,378 + j0,039 \text{ ohm}$$

$$\text{pada jarak 50\%} = (1,514 + j0,159) \times 50 \% = 0,757 + j0,079 \text{ ohm}$$

$$\text{pada jarak 75\%} = (1,514 + j0,159) \times 75 \% = 1,135 + j0,119 \text{ ohm}$$

$$\text{pada jarak 100\%} = (1,514 + j0,159) \times 100 \% = 1,514 + j0,159 \text{ ohm}$$

Tabel.4.2. Impedansi Penyulang Urutan Nol

Panjang (%)	Impedansi Penyulang ( $Z_0$ )
25	$0,378 + j0,039 \text{ ohm}$
50	$0,757 + j0,079 \text{ ohm}$
75	$1,135 + j0,119 \text{ ohm}$
100	$1,514 + j0,159 \text{ ohm}$

Menghitung Impedansi ekivalen jaringan  $Z_{1eq}$  &  $Z_{2eq}$  :

$$Z_{1eq} \text{ \& } Z_{2eq} = Z_{1s} \text{ (sisi 20 kV) } + Z_{1T} + Z_{1} \text{ penyulang}$$

pada jarak 25% =  $j0,134 + j0,833 + 0,172 + j0,133 = 0,172 + j1,100$  ohm

pada jarak 50% =  $j0,134 + j0,833 + 0,344 + j0,267 = 0,344 + j1,234$  ohm

pada jarak 75% =  $j0,134 + j0,833 + 0,516 + j0,400 = 0,516 + j1,367$  ohm

pada jarak 100% =  $j0,134 + j0,833 + 0,688 + j0,534 = 0,688 + j1,501$  ohm

Tabel.4.3. Impedansi Ekivalen  $Z_{1eq}$  &  $Z_{2eq}$

Panjang (%)	Impedansi Ekivalen $Z_{1eq}$ & $Z_{2eq}$
25	$0,172 + j1,100$ ohm
50	$0,344 + j1,234$ ohm
75	$0,516 + j1,367$ ohm
100	$0,688 + j1,501$ ohm

Menghitung impedansi ekivalen jaringan  $Z_{0eq}$  :

$$Z_{0eq} = Z_{0T} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang}$$

pada jarak 25 % =  $j9,163 + 3 \times 40 + 0,378 + j0,039 = 120,378 + j9,202$  Ohm

pada jarak 50 % =  $j9,163 + 3 \times 40 + 0,757 + j0,079 = 120,757 + j9,242$  Ohm

pada jarak 75 % =  $j9,163 + 3 \times 40 + 1,135 + j0,119 = 121,135 + j9,282$  Ohm

pada jarak 100 % =  $j9,163 + 3 \times 40 + 1,514 + j0,159 = 121,514 + j9,322$  Ohm

Tabel.4.4. Impedansi Ekivalen  $Z_{0q}$ 

Panjang (%)	Impedansi Ekivalen ( $Z_{0q}$ )
25	$120,378 + j9,202 \text{ Ohm}$
50	$120,757 + j9,242 \text{ Ohm}$
75	$121,135 + j9,282 \text{ Ohm}$
100	$121,514 + j9,322 \text{ Ohm}$

#### 4.2.1.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah biasanya terjadi karena adanya hubung singkat sesaat setelah sambaran petir yang cukup besar. Perhitungan gangguan hubung singkat ini dapat dihitung berdasarkan panjang penyulang, dengan titik gangguan diasumsikan sejauh 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang. Untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

$$V = 3 \times \text{Tegangan Fasa-Netral}$$

$$Z = \text{Impedansi } (Z_1 + Z_2 + Z_0) \text{ ekivalen}$$

Jadi untuk perhitungan gangguan 1 fasa ke tanah adalah sebagai berikut :

**a) Titik gangguan pada jarak 25 % dari pangjang penyulang :**

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,172 + j1,100) + (0,172 + j1,100) + (120,378 + j9,282)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{120,722 + j11,402} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{121,26 < 6} = \frac{34641,01}{121,26 < 6} = 285,67 < 6 \text{ A}$$

b) Titik gangguan pada jarak 50% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,344 + j1,234) + (0,344 + j1,234) + (120,757 + j9,242)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{121,445 + j11,71} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{122,008 < 6,12} = \frac{34641,01}{122,008 < 6,12} = 283,92 < 6,12 \text{ A}$$

c) Titik gangguan pada jarak 75% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,516 + j1,367) + (0,516 + j1,367) + (121,490 + j9,282)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{122,167 + j12,016} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{122,757 < 6,24} = \frac{34641,01}{122,757 < 6,24} = 282,2 < 6,24 \text{ A}$$

d) Titik gangguan pada jarak 100% dari panjang penyulang :

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,688 + j1,501) + (0,688 + j1,501) + (121,514 + j9,322)}$$

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{122,89 + j12,324} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{123,506 < 6,36} = \frac{34641,01}{123,506 < 6,36} = 280,5 < 6,36 \text{ A}$$

Tabel.4.5. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Panjang (%)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah
25	285,67 < 6 A
50	283,92 < 6,12 A
75	282,2 < 6,24 A
100	280,5 < 6,36 A

#### 4.2.1.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Arus hubung singkat fasa ke fasa dapat disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada bagian transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah

dari rusaknya isolator pada bagian transmisi atau distribusi. Arus gangguan ini dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Hanya saja karena arus gangguannya fasa ke fasa, maka nilai V dan Z nya berubah, Dimana :

$$V = \text{Tegangan fasa ke fasa}$$

$$Z = \text{Impedansi } (Z_1 + Z_2) \text{ ekivalen}$$

Jadi untuk perhitungan gangguan fasa ke fasa adalah sebagai berikut :

**a) Titik gangguan pada jarak 25% panjang penyulang :**

$$I = \frac{20000}{(0,172 + j1,100) + (0,172 + j1,100)}$$

$$I = \frac{20000}{0,344 + j2,200} = \frac{20000}{2,227} < 90,125 \text{ A}$$

**b) Titik gangguan pada jarak 50% panjang penyulang :**

$$I = \frac{20000}{(0,344 + j1,234) + (0,344 + j1,234)}$$

$$I = \frac{20000}{0,688 + j2,468} = \frac{20000}{2,562} < 82,7 \text{ A}$$

**c) Titik gangguan pada jarak 75% panjang penyulang :**

$$I = \frac{20000}{(0,516 + j1,367) + (0,516 + j1,367)}$$

$$I = \frac{20000}{1,032 + j2,734} = \frac{20000}{2,922} < 77,02 \text{ A}$$

**d) Titik gangguan pada jarak 100% panjang penyulang :**

$$I = \frac{20000}{(0,516 + j1,367) + (0,516 + j1,367)}$$

$$I = \frac{20000}{1,376 + j3,002} = \frac{20000}{3,302} < 72,63 \text{ A}$$

Tabel.4.6. Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Panjang (%)	Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa
25	8980,7 < 90,125 A
50	7806,4 < 82,7 A
75	6844,6 < 77,02 A
100	6056,9 < 72,63 A

#### 4.2.1.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Arus gangguan hubung singkat fasa dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Hanya saja arus gangguannya 3 fasa, maka nilai V dan Z nya berubah, dimana :

$$V = \text{Tegangan Fasa - Netral}$$

$$Z = \text{Impedansi } (Z_1) \text{ ekivalen}$$

Jadi untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah sebagai berikut :

**a) Titik gangguan pada jarak 25% panjang penyulang :**

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,172 + j1,100)}$$

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,113} = 10374,67 < 90,125 \text{ A}$$

**b) Titik gangguan pada jarak 50% panjang penyulang :**

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,344 + j1,234)}$$

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,281} < 82,7 = 9014,05 < 82,7 \text{ A}$$

**c) Titik gangguan pada jarak 75% panjang penyulang :**

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,516 + j1,367)}$$

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,461} < 77,02 = 7903,49 < 77,02 \text{ A}$$

**d) Titik gangguan pada jarak 100% panjang penyulang :**

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{(0,688 + j1,591)}$$

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,651} < 72,63 = 6993,94 < 72,63 \text{ A}$$

Tabel.4.7. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Panjang (%)	Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa
25	10374,66 < 90,125 A
50	9014,05 < 82,7 A
75	7903,49 < 77,02 A
100	6993,94 < 72,63 A

### 4.3 Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat

Dari hasil perhitungan yg telah didapatkan, arus gangguan hubung singkat nilainya sangat dipengaruhi oleh jarak atau titik dimana gangguan terjadi. Semakin jauh jarak titik gangguan maka arus hubung singkat yg diperoleh semakin kecil, begitu pula sebaliknya, semakin dekat titik gangguan arus hubung singkatnya maka nilai arus hubung singkatnya akan semakin tinggi. Selain itu apabila dilihat dari gangguan terhadap fasa, arus gangguan dengan nilai terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa.

### 4.4 Perhitungan Settingan Relai

#### A. Settingan Relai Arus Lebih Penyulang 20 kV

##### 1) Setelan Arus

Pada Gardu Induk Lamhotma jenis relai yg digunakan memiliki karakteristik normal *inverse*. Untuk relai dengan karakteristik jenis ini biasanya di setting sebesar  $1,05 - 1,1 \times I_{max}$ , dengan syarat waktu minimum tidak boleh lebih kecil dari 0,3 detik.

Arus beban ( $I_{beban}$ ) = 286,40 Amp

Ratio CT = 400/5 Amp

$I_{set} \text{ (primer)} = 1,05 \times I_{beban} = 1,05 \times 286,40 = 300,7 \text{ A}$

$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} = 300,7 \times \frac{1}{400/5} = 3,76 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$

##### 2) Setelan *Time Multiple Setting* (tms)

$$t = \frac{0,14 \times \text{tms}}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,3 = \frac{0,14 \times \text{tms}}{\left(\frac{10374,66}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{tms} = \frac{\left(\frac{10374,66}{300,7}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,3$$

$$\text{tms} = \frac{0,02202}{0,14}$$

$$\text{tms} = 0,157 \text{ detik}$$

## B. Setelan Relai Arus Gangguan Tanah Penyulang 20 kV

### 1) Setelan Arus

Untuk setelan arus relai ini menggunakan panduan yaitu setelan arus gangguan tanah penyulang di setting  $10\% \times$  arus gangguan tanah terkecil pada penyulang. Hal ini dimaksudkan untuk menampung tahanan busur.

$$I \text{ set (primer)} = 10\% \times (\text{gangguan di lokasi } 100\% \text{ panjang penyulang})$$

$$I \text{ set (primer)} = 0,1 \times 280,5 = 28,05 \text{ A}$$

$$I \text{ set (sekunder)} = I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} = 28,05 \times \frac{1}{400/5} = 0,35 \text{ A}$$

### 2) Setelan *Time Multiple Setting* (tms)

$$t = \frac{0,14 \times \text{tms}}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ set}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,3 = \frac{0,14 \times \text{tms}}{\left(\frac{285,67}{28,05}\right)^{0,02} - 1}$$

$$\text{tms} = \frac{\left(\frac{285,67}{28,05}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,3$$

$$\text{tms} = \frac{0,0475}{0,14} \times 0,3$$

$$\text{tms} = 0,1017 \text{ detik}$$

#### 4.5 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai

Pemeriksaan waktu kerja relai yang akan mempengaruhi kinerja *circuit breaker* ini ditujukan untuk mengetahui waktu kerja relai terhadap besarnya arus gangguan di masing-masing titik gangguan yang telah diasumsikan sebelumnya, yaitu pada 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

##### A. Waktu Kerja Relai Untuk Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

###### 1) Lokasi Gangguan 25% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{10374,66}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,073}$$

$$t = 0.299 \text{ detik}$$

###### 2) Lokasi Gangguan 50% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{9014,05}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,070} = 0,312 \text{ detik}$$

###### 3) Lokasi Gangguan 75% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{7903,49}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,067} = 0.325 \text{ detik}$$

###### 4) Lokasi Gangguan 100% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{6993,94}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,065} = 0.338 \text{ detik}$$

Tabel.4.8. Waktu Kerja Relai Gangguan 3 Fasa

Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Relai (detik)
25	0,299
50	0.312
75	0,325
100	0,338

B. Waktu Kerja Relai Untuk Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

1) Lokasi Gangguan 25% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{8980,7}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,070}$$

$$t = 0.312 \text{ detik}$$

2) Lokasi Gangguan 50% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{7806,4}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,067} = 0,326 \text{ detik}$$

3) Lokasi Gangguan 75% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{6844,6}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,064}$$

$$t = 0.340 \text{ detik}$$

## 4) Lokasi Gangguan 100% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,157}{\left(\frac{6056,9}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,02198}{0,061}$$

$$t = 0.355 \text{ detik}$$

Tabel.4.9. Waktu Kerja Relai Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Relai (detik)
25	0,312
50	0.326
75	0,340
100	0,355

## C. Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 1 Fasa ke Tanah

## 1) Lokasi Gangguan 25% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,1017}{\left(\frac{285,67}{28,05}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,014238}{0,0475}$$

$$t = 0,299 \text{ detik}$$

## 2) Lokasi Gangguan 50% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,1017}{\left(\frac{283,92}{28,05}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,014238}{0,0473} = 0,3004 \text{ detik}$$

3) Lokasi Gangguan 75% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,1017}{\left(\frac{282,2}{28,05}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,014238}{0,0472}$$

$$t = 0.301 \text{detik}$$

4) Lokasi Gangguan 100% Panjang Penyulang

$$t = \frac{0,14 \times 0,1017}{\left(\frac{280,5}{28,05}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,014238}{0,0471}$$

$$t = 0.302 \text{ detik}$$

Tabel.4.10. Waktu Kerja Relai Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Lokasi Gangguan (%)	Waktu Kerja Relai (detik)
25	0,299
50	0.3004
75	0,301
100	0,302

#### 4.6 Analisa Waktu Kerja Relai

Berdasarkan perbandingan syarat waktu minimum yang tidak boleh < 0,3 detik dengan table 4.8, 4.9, 4.10, dapat dianalisa bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai atau dengan kata lain perbedaan yang dimiliki tidak terlalu jauh, sehingga dapat disimpulkan bahwa settingan relai arus yang dipasang dilapangan sudah baik. Karena dari hasil perhitungan untuk di set ke relai harus disesuaikan dengan tap yang ada pada relai yang digunakan,

sehingga hasilnya tidak akan sama 100% dengan hasil perhitungan. Dengan baiknya settingan relai ini maka kinerja *circuit breaker* atau PMT juga dikatakan baik, karena relai dan *circuit breaker* saling berkaitan erat satu samalain. Relai akan mengindikasikan kepada *circuit breaker* apabila terjadi gangguan dan relai akan membuat *circuit breaker* memutuskan rangkaian yang terindikasikan terkena gangguan tadi sekaligus berperan sebagai *protector* atau pengaman pada rangkaian.

#### 4.7 Perbandingan Hasil Waktu Kerja Relai

Adapun perbandingan hasil waktu kerja relai terhitung dengan hasil waktu kerja relai terukur pada PT PLN(Persero) Gardu Induk Lamhotma yang telah diperoleh sebelumnya adalah sebagai berikut :

Tabel.4.11. Perbandingan Waktu Kerja Relai Terukur dengan Waktu kerja Relai Terhitung

Hasil Pengukuran Waktu Kerja Relai Pada Gardu Induk Lamhotma (ms)	Hasil Perhitungan pada Analisa Data (ms)		
	3 Fasa	Fasa ke Fasa	1 Fasa ke Tanah
R = 30,6	29,9	31,2	29,9
S = 30,4	31,6	32,6	30,04
T = 30,2	32,5	34	30,1
	33,8	35,5	30,2

Berdasarkan data dari tabel diatas, waktu kerja relai terukur tidak memiliki selisih yang kecil. Hal ini dapat dimaklumi karena hasil perhitungan memang tidak bisa sama persis dengan hasil pengukuran. Dengan selisih waktu kerja relai

yang kecil ini yaitu sekitar 0,01 s/d 0.05 detik, tidak akan mempengaruhi kinerja dari sebuah *circuit breaker* atau sistem proteksinya.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari Hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil dan pembahasan, prinsip kerja *circuit breaker* dalam memutuskan suatu rangkaian atau jaringan listrik yaitu dimulai dengan relai yang akan bekerja mendeteksi arus gangguan dengan bantuan dari transformator arus. Saat ada arus yang melebihi nilai dari arus nominal relai maka relai akan bekerja dan membuka *circuit breaker* atau PMT yang kemudian akan memutuskan jaringan kelistrikannya.
2. Berdasarkan hasil analisis perhitungan, kinerja *circuit breaker* atau PMT adalah baik. Hal ini terjadi karena pada setting waktu kerja relai arus lebih yang terpasang pada penyulang 20 kV Gardu Induk Lamhotma yaitu tidak lebih kecil dari 0,3 detik (keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari transformator-transformator arus yang telah terhubung ke jaringan yang lainnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu kerja relai untuk gangguan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah yang terjadi pada 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang = 0.299, 0.3004, 0.301, dan 0.302 detik. Untuk gangguan arus hubung singkat 2 fasa yang terjadi pada 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang = 0.312, 0.326, 0.340, dan 0.355 detik. Untuk gangguan arus 3 fasa pada 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang = 0.299, 0.312, 0.325, dan 0.338 detik. Dari Hasil

diatas hampir seluruh waktu kerja tidak lebih kecil dari 0,3 detik, apabila terjadi perbedaan selisih waktu merupakan hal yang wajar karena hasil perhitungan tidak akan 100% sama dengan data yang sudah ada di lapangan.

3. Berdasarkan hasil analisis, ada beberapa hal yang akan mempengaruhi kinerja dari *circuit breaker* atau PMT yaitu besarnya arus gangguan hubung singkat yg terjadi. Besar atau kecilnya arus gangguan itu dipengaruhi oleh jarak terjadinya gangguan, semakin jauh titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan yang terjadi begitu pula sebaliknya, semakin dekat titik gangguan maka semakin besar pula arus gangguan yg terjadi. Kemudian yang berikutnya mempengaruhi kinerja *circuit breaker* atau PMT adalah setting relai arus lebih. Semakin cepat waktu kerja relai untuk memerintahkan *circuit breaker* atau PMT memutus jaringan maka akan semakin baik pula kinerjanya.

## 5.2 Saran

1. Akan lebih baik jika seluruh Gardu Induk yang ada untuk mengikuti Gardu Induk Lamhotma dalam hal baiknya kinerja sebuah *circuit breaker* atau PMT yang terpasang, agar saat terjadi gangguan, jaringan tidak akan terkena dampak fatal yang dapat merusak jaringan dan mengganggu sistem kelistrikan yang sedang berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Tirana, "Pemisah dan penghubung pada Gardu Induk Pemisah dan penghubung pada Gardu Induk," pp. 1–19.
- [2] S. S. Tofan Aryanto, Sutarno, "Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara," *J. Tek. Elektro*, vol. Vol. 5, no. 2, p. 10, 2013.
- [3] K. M. MU'AMMAR, "Evaluasi Penggunaan Circuit Breaker Pada Gardu Induk Bukit SiGuntang Palembang," *KGS. M. MU'AMMAR 0611 3031 0158 Politek.*, p. 3, 2000.
- [4] M. A. A. PUTRA, "Analisis Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 kV Jeranjang," 2017.
- [5] N. L. M. J. Ardianto, Firdaus, "Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti," *Anal. Kinerja Sist. Prot. Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [6] M. MP, "Klasifikasi gardu induk," 2015.
- [7] M. ROJAQ, "Macam-macam Komponen Pada Gardu Induk," 2017.  
[Online]. Available: <https://mandornya.blogspot.com/2015/04/macam-macam-komponen-gardu-induk.html>.
- [8] H. Guntoro, "Circuit Breaker - Sakelar Pemutus Tenaga / PMT bagian-1." [Online]. Available: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/10/circuit-breaker-sakelar-pemutus.html>.

- [9] M. T. Amelia, "Evaluasi Penggunaan Pemutus Tenaga Pada Gardu Induk Bungaran Palembang," 2015.
- [10] HaGe, "Relai Arus Lebih," 2009. [Online]. Available: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/07/relay-arus-lebih.html>.
- [11] Bonggas L.Tobing.2012.*Peralatan Tegangan Tinggi*.Erlangga.Jakarta.
- [12] Softcopy PT.PLN (Persero) Gardu Induk Lamhotma

# LAMPIRAN

Lampiran 1

**PT. PLN (PERSERO) GARDU INDUK LAMHOTMA MEDAN**



**GARDU INDUK LAMHOTMA MEDAN**



