

# **ANALISIS KINERJA *CIRCUIT BREAKER* PADA SISI 20 KV GARDU INDUK GLUGUR**

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

**Disusun Oleh:**

**ILHAM NUARI**

**2007220045**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2025**

## PALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ilham Nuari  
NPM : 2007220045  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : ANALISIS KINERJA CIRCUIT BREAKER PADA SISI  
20KV GARDU INDUK GLUGUR  
Bidang ilmu : Sistem Kontrol

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

Medan, 13 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

NOORLY EVALINA S.T.,M.T

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Ir. Abdul Aziz Hutasuht, MM

Program Studi Teknik Elektro



Nasution, S.T., M.Pd

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ilham Nuari

Tempat /Tanggal Lahir : Rambahan Baru, 10 Januari 2002

NPM : 2007220045

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

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

### **"ANALISIS KINERJA CIRCUIT BREAKER PADA SISI 20KV GARDU INDUK GLUGU"**

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 kemudian 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 Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2025

Saya yang menyatakan,

  
  
Ilham Nuari

## ABSTRAK

Transformator distribusi merupakan peralatan penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi dari sistem transmisi ke konsumen. Keandalan transformator harus dijaga agar tidak terjadi gangguan yang berakibat pada kerusakan peralatan maupun terhentinya penyaluran energi listrik. Salah satu upaya untuk menjaga keandalan transformator adalah dengan menerapkan sistem proteksi yang andal. Relay arus lebih (Over Current Relay/OCR) dan relay gangguan tanah (Ground Fault Relay/GFR) menjadi proteksi utama yang bekerja secara terkoordinasi dengan circuit breaker. Penelitian ini bertujuan menganalisis koordinasi proteksi pada transformator distribusi 20 kV dengan menggunakan perhitungan arus nominal, arus hubung singkat, serta penentuan setting OCR dan GFR berdasarkan kurva inverse IEC. Tahapan penelitian meliputi perhitungan arus nominal transformator, konversi ke arus sekunder CT, perhitungan arus hubung singkat pada berbagai titik, serta penentuan waktu kerja relay melalui persamaan kurva inverse. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa arus nominal transformator adalah 1732,1 A pada sisi primer 20 kV, dengan arus sekunder CT sebesar 14,43 A untuk rasio 600/5. Setting relay OCR ditentukan pada arus sekunder sekitar 2,18 A untuk arus minimum dan 15,16 A untuk arus nominal, dengan waktu kerja relay antara 0,287 s hingga 0,425 s bergantung pada besar arus gangguan. Hal ini menunjukkan bahwa relay mampu bekerja selektif, cepat, dan sesuai dengan karakteristik kurva inverse. Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pengaturan relay selalu mempertimbangkan koordinasi dengan peralatan proteksi lain di jaringan distribusi. Evaluasi dan penyesuaian berkala juga diperlukan sesuai perubahan kondisi sistem. Selain itu, penggunaan perangkat lunak analisis sistem tenaga disarankan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan perhitungan setting proteksi.

**Kata kunci:** *Transformator distribusi, relay arus lebih, OCR, GFR, arus hubung singkat, koordinasi proteksi.*

## **ABSTRACT**

*The distribution transformer is a crucial component in the power system that functions to transfer electrical energy from the transmission system to consumers. Its reliability must be maintained to prevent disturbances that could cause equipment damage and interrupt power delivery. One of the efforts to ensure transformer reliability is the application of a dependable protection system. The Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) are the primary protective devices that operate in coordination with circuit breakers. This research aims to analyze the protection coordination of a 20 kV distribution transformer using calculations of nominal current, short-circuit current, and the determination of OCR and GFR settings based on the IEC inverse time curve. The research stages include calculating the transformer nominal current, converting it to the CT secondary current, calculating short-circuit current at various points, and determining relay operating time through the inverse curve equation. The calculation results show that the nominal current of the transformer is 1732.1 A at the 20 kV primary side, with a CT secondary current of 14.43 A for a 600/5 ratio. The OCR relay setting is determined at approximately 2.18 A secondary for the minimum current and 15.16 A for the nominal current, with relay operating times ranging between 0.287 s and 0.425 s depending on the fault current magnitude. These results indicate that the relay can operate selectively, quickly, and in accordance with the inverse curve characteristics. Based on the findings, it is recommended that relay settings always consider coordination with other protective devices in the distribution network. Periodic evaluation and adjustment are also necessary in line with changes in system conditions. Furthermore, the use of power system analysis software is recommended to improve the accuracy and reliability of protection setting calculations.*

**Keywords:** *Distribution transformer, over current relay, OCR, GFR, short-circuit current, protection coordination.*

## KATA PENGHANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga saya dapat menyelesaikan tugas Metode Penelitian di Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl.Kapten Muckhtar Basri No.3 Medan.

Dimana penelitian ini adalah suatu mata kuliah yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa/i Teknik Elektro dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan hasil akhir penelitian ini dilampirkan pada sebuah laporan yang wajib diselesaikan untuk mahasiswa.

Dalam penulisan laporan ini kami menyadari masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana saya mengharapkan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan laporan ini.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan ini, terutama kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan kasih sayang yang tidak ternilai kepada kami semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Benny Oktarialdy, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Noorly Evalina ST, MT. Selaku Pembimbing Akademik Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh staff pengajar dan Birokrasi fakutas teknik universitas muhammadiyah sumatera utara.

7. Seluruh rekan-rekan Teknik Elektro dan TTK (Teman-Teman Kafein ku, Bedul, Gojek, Hanafi JR, Danu Mbayang, Bobok caniago, Ane Tembung), saya mengucapkan terimakasih atas segala support dan saran yang berharga bagi saya, dan saya berharap Kawan-kawan semua bisa mempercepat Langkahnya dalam mengerjakan skripsi agar dapat wisuda Bersama di tahun ini Aamiin.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa proposal ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang relevansinya dengan penyempurnaan tugas akhir ini sangat penulis harapkan. Kritik dan saran sekecil apapun akan penulis perhatikan dan pertimbangkan guna penyempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini bagi pembaca siapa saja yang melihat isi bahan atau sebagai pembanding Wassalamualaikum wr wb.

Medan, 14 Agustus 2025

ILHAM NUARI

## DAFTAR ISI

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KATA PENGHANTAR.....</b>                                               | <b>v</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                    | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                                | <b>x</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                 | <b>xi</b>  |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                                            | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang.....                                                   | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                 | 2          |
| 1.3 Ruang Lingkup .....                                                   | 2          |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                                               | 3          |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                               | 3          |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                       | <b>4</b>   |
| 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....                                         | 4          |
| 2.2 Gardu Induk.....                                                      | 7          |
| 2.2.1 <i>Switch Yard (Switch Gear)</i> .....                              | 8          |
| 2.2.2 Transformator Daya .....                                            | 10         |
| 2.2.3 <i>Neutral Grounding Resistance (NGR)</i> .....                     | 11         |
| 2.2.4 Pemutus Tenaga (PMT) atau <i>Circuit breaker (CB)</i> .....         | 13         |
| 2.2.5 Sakelar Pemisah (PMS) atau <i>Disconnecting Switch (DS)</i> .....   | 15         |
| 2.2.6 <i>Lightning Arrester (LA)</i> .....                                | 16         |
| 2.2.7 Transformator Arus atau <i>Current Transformer (CT)</i> .....       | 17         |
| 2.2.8 Transformator Tegangan atau <i>Potential Transformer (PT)</i> ..... | 19         |
| 2.2.9 Transformator Pemakaian Sendiri (TPS) .....                         | 20         |
| 2.2.10 Rel Busbar .....                                                   | 22         |
| 2.2.11 Panel Kontrol .....                                                | 23         |
| 2.2.12 Gedung Kontrol .....                                               | 25         |



|                                          |                                                                     |           |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.13                                   | Panel Proteksi .....                                                | 26        |
| 2.2.14                                   | Sumber DC Gardu Induk.....                                          | 27        |
| 2.2.15                                   | Panel AC/DC Gardu Induk .....                                       | 28        |
| 2.2.16                                   | Kubikel 20 kV.....                                                  | 30        |
| 2.2.17                                   | Sistem Proteksi .....                                               | 32        |
| 2.3                                      | <i>Circuit breaker</i> (CB) atau Pemutus Tenaga Listrik (PMT) ..... | 32        |
| 2.3.1                                    | Fungsi Bagian Utama CB/PMT .....                                    | 34        |
| 2.3.2                                    | Klasifikasi CB/PMT.....                                             | 40        |
| 2.3.3                                    | Perhitungan Rele Arus Lebih (OCR).....                              | 42        |
| 2.3.4                                    | Arus Hubung Singkat.....                                            | 43        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b> |                                                                     | <b>45</b> |
| 3.1                                      | Waktu Dan Tempat .....                                              | 45        |
| 3.2                                      | Alat Dan Bahan Penelitian .....                                     | 45        |
| 3.3                                      | Jalannya Penelitian .....                                           | 45        |
| 3.4                                      | Alur Penelitian.....                                                | 46        |
| <b>BAB 4 .....</b>                       |                                                                     | <b>47</b> |
| 4.1                                      | Data-data komponen Gardu Induk Glugur .....                         | 47        |
| 4.2                                      | <i>circuit breaker</i> memutuskan sebuah rangkaian.....             | 48        |
| 4.3                                      | Perhitungan dan Analisi Data .....                                  | 49        |
| 4.3.1                                    | Arus Gangguan Hubung Singkat.....                                   | 49        |
| 4.3.2                                    | Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....       | 53        |
| 4.3.3                                    | Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa .....         | 54        |
| 4.2.4                                    | Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....               | 55        |
| 4.4                                      | Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat.....                           | 56        |
| 4.5                                      | Perhitungan Settingan Relay .....                                   | 57        |
| 4.5.1                                    | Settingan Relay Arus Lebih Penyulangan 20 KV .....                  | 57        |
| 4.5.2                                    | Setelan Relai Arus Gangguan Tanah Penyulang 20 kV .....             | 57        |

|                       |                                                              |           |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6                   | Pemeriksaan Waktu Kerja Relai .....                          | 57        |
| 4.5.1                 | Waktu Kerja Relai Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa .....       | 57        |
| 4.5.2                 | Waktu Kerja Relai Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa ..... | 57        |
| 4.5.3                 | Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 1 Fasa ke Tanah .....       | 57        |
| 4.7                   | Analisa Waktu Kerja Relai .....                              | 57        |
| 4.8                   | Perbandingan Hasil Waktu Kerja Relai .....                   | 57        |
| <b>BAB 5</b>          | .....                                                        | <b>58</b> |
| 5.1                   | Kesimpulan.....                                              | 58        |
| 5.2                   | Saran .....                                                  | 59        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> | .....                                                        | <b>60</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| GAMBAR 2.1 GARDU INDUK .....                              | 8  |
| GAMBAR 2.2 SWITCH YARD (SWITCH GEAR) .....                | 10 |
| GAMBAR 2.3 TRANSFORMATOR DAYA.....                        | 11 |
| GAMBAR 2.4 NEUTRAL GROUNDING RESISTANCE (NGR) .....       | 13 |
| GAMBAR 2.5 PEMUTUS TENAGA (PMT) ATAU (CB) .....           | 14 |
| GAMBAR 2.6 SAKELAR PEMISAH (PMS).....                     | 16 |
| GAMBAR 2.7 LIGHTNING ARRESTER (LA).....                   | 17 |
| GAMBAR 2.8 TRANSFORMATOR ARUS .....                       | 19 |
| GAMBAR 2.9 TRANSFORMATOR TEGANGAN .....                   | 20 |
| GAMBAR 2.10 TRANSFORMATOR PEMAKAIAN SENDIRI.....          | 21 |
| GAMBAR 2.11 REL BUSBAR.....                               | 23 |
| GAMBAR 2.12 PANEL KONTROL.....                            | 24 |
| GAMBAR 2.13 GEDUNG KONTROL .....                          | 26 |
| GAMBAR 2.14 PANEL PRODUKSI.....                           | 27 |
| GAMBAR 2.15 SUMBER DC GARDU INDUK.....                    | 28 |
| GAMBAR 2.16 PANEL AC/DC GARDU INDUK.....                  | 30 |
| GAMBAR 2.17 KUBIKEL 20 KV .....                           | 31 |
| GAMBAR 2.18 CB/PMT .....                                  | 34 |
| GAMBAR 3.1 FLOWCHART PENELITIAN .....                     | 46 |
| GAMBAR 4.1 DIAGRAM SATU GARIS CB POSISI NORMAL DAN TRIP . | 48 |
| GAMBAR 4.2 CB POSISI NORMAL DAN TRIP .....                | 48 |
| GAMBAR 4.3 SLD GLUGUR.....                                | 49 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                              |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| TABEL 2. 1 KARAKTERISTIK OPERASI WAKTU RELAI INVERSE.....                    | 44                                  |
| TABEL 3. 1 WAKTU DAN TAHAP KEGIATAN PENELITIAN .....                         | 45                                  |
| TABEL 4. 1 IMPEDANSI PENYULANG URUTAN POSITIF & NEGATIF ....                 | 51                                  |
| TABEL 4. 2 IMPEDANSI PENYULANG URUTAN NOL .....                              | 52                                  |
| TABEL 4. 3 IMPEDANSI EKIVALEN                                                | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 4 IMPEDANSI EKIVALEN                                                | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 5 ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH .....                | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 6 ARUS GANGGUAN HUBUNGAN SINGKAT FASA KE FASA .....                 | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 7 ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT FASA KE FASA .....                   | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 8 WAKTU KERJA RELAI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT 3 FASA .....       | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 9 WAKTU KERJA RELAI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT FASA KE FASA ..... | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 10 WAKTU KERJA RELAI GANGGUAN 1 FASA KE TANAH .....                 | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| TABEL 4. 11 HASIL PERHITUNGAN PADA ANALISA DATA.....                         | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

*Circuit breaker*, atau pemutus sirkuit, adalah perangkat listrik yang berfungsi untuk melindungi sirkuit listrik dari kerusakan akibat arus lebih (*overcurrent*), yang disebabkan oleh kelebihan beban atau korsleting. *Circuit breaker* merupakan komponen vital dalam sistem distribusi listrik karena mampu secara otomatis memutus aliran listrik saat terdeteksi adanya gangguan, sehingga mencegah potensi bahaya seperti kebakaran atau kerusakan peralatan Listrik.

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. Adapun pada saat pengoperasian suatu sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan, mulai dari gangguan Trafo, gangguan LA, gangguan Transmisi, dimana penyebab gangguan tersebut bisa mengakibatkan PMT trip (Aland et al., 2022).

Keandalan sistem penyaluran tenaga listrik yang diharapkan, ternyata belum sepenuhnya dapat dipenuhi. Berbagai faktor sangat mempengaruhi kelangsungan penyaluran tenaga listrik ini, baik faktor alam maupun teknis lainnya. Hal ini dapat dimengerti karena sistem penyaluran tenaga listrik yang selama ini diterapkan di Indonesia masih kebanyakan menggunakan sistem saluran udara, sehingga kerawanan banyak terjadi yang menyebabkan terganggunya penyaluran tenaga listrik tersebut (Setiono, 2018).

Penelitian ini akan menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisa kinerja *circuit breaker* (PMT) terhadap gangguan, data akan dikumpulkan dari laporan operasional operator. Analisis statistik akan dilakukan untuk mengetahui gangguan-gangguan yang ada pada jalur distribusi gardu induk.

Data yang diperoleh akan dianalisis secara manual untuk menemukan gangguan yang terjadi pada saluran distribusi. Metode ini diharapkan dapat memberikan Gambaran yang jelas mengenai kinerja *circuit breaker* (PMT) pada sisi 20kv GI Glugur.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk merumuskan strategi keandalan sistem proteksi yang lebih baik dalam jaringan distribusi listrik. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja *circuit breaker* (PMT), tetapi juga menawarkan solusi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem proteksi jaringan listrik. Oleh karena itu, judul penelitian ini adalah "Analisis Kinerja *circuit breaker* (PMT) pada sisi 20KV Gardu Induk Glugur".

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas tersebut, maka permasalahan pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana *circuit breaker* memutuskan sebuah rangkaian yang mengalami gangguan di saluran Penyulang?
2. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *circuit breaker* pada Gardu Induk Glugur?
3. Bagaimana kinerja *circuit breaker* pada saat terjadi gangguan pada Gardu Induk Glugur?

## 1.3 Ruang Lingkup

Adapun hal-hal yang dibatasi (ruang lingkup) dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya akan menganalisis data sekunder yang diperoleh dari laporan operasional dan literatur yang relevan.
2. Penelitian tidak akan menggunakan perangkat lunak analisis daya, tetapi akan mengandalkan analisis statistik manual.
3. Penelitian dilakukan 1 hari untuk pengambilan data.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan tersebut, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis proses *circuit breaker* memutuskan sebuah rangkaian yang mengalami sebuah gangguan.
2. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *circuit breaker* pada Gardu Induk Glugur.
3. Menganalisis kinerja *circuit breaker* pada saat terjadinya gangguan pada Gardu Induk Glugur.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian bermanfaat bagi pengembangan ilmu kelistrikan terutama terhadap penerapan dan pengembangan *circuit breaker* pada Gardu Induk.
2. Dapat memberikan informasi penting nya *circuit breaker* yang ada pada Gardu Induk.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Sistem proteksi merupakan pengaman listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, transformator tenaga, transmisi tenaga listrik dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Salah satu sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah Relai Arus Lebih merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, dan dapat juga digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan. Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Waktu kerja relai di sisi penyulang lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja di incoming dengan selisih waktu rata-rata sebesar 0,55 detik. Hal ini disebabkan lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu. Semakin jauh jarak lokasi gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di incoming (Azis & Febrianti, 2019)

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen. Setelah tenaga listrik dibangkitkan oleh suatu pusat pembangkit listrik, selanjutnya tenaga listrik disalurkan (ditransmisikan) melalui jaringan transmisi. Dari jaringan transmisi selanjutnya didistribusikan kepada para konsumen tenaga listrik melalui jaringan distribusi tenaga listrik. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).



Dalam operasi sistem tenaga Listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. sistem distribusi adalah salah satu komponen sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan. Hal ini diakibatkan karena letaknya yang berada di alam bebas. Penyebab gangguan ini misalnya petir, bencana alam, atau rusaknya isolator. Dari bermacam gangguan pada saluran distribusi yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat(Darmana et al., 2015).

*Circuit breaker* atau Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal(Darmana et al., 2015).

Namun dengan tersedianya listrik, maka harus diperhatikan juga tingkat keamanan dari jaringan listrik yang ada. Terlebih lagi pada bagian transmisinya. Sistem proteksi memegang peranan penting dalam kelangsungan dan keamanan terhadap keamanan terhadap penyaluran daya listrik. Pengamanan pada jaringan transmisi perlu mendapat perhatian yang serius dalam setiap perencanaanya. Dimana sistem transmisi memiliki parameter-parameter dan keadaan sistem yang berubah secara terus menerus, sehingga strategi pengamanannya harus disesuaikan dengan perubahan dinamis dalam hal desain dan pengaturan peralatannya. Sistem proteksi berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari kemungkinan kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan dari alam atau akibat rusaknya peralatan secara tiba-tiba, meloalisir daerahdaerah sistem yang mengalami gangguan sekecil mungkin, dan mengusahakan secepat mungkin untuk mengatasi gangguan yang terjadi di daerah tersebut, sehinga stabilitas sistemnya dapat terpeliharaan, dan juga untuk mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik(Lisi F et al., 2018).

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM) merupakan bagian dari sistem distribusi yang berhubungan langsung ke pelanggan. Pada operasi sistem tenaga listrik dapat terjadi gangguan yang mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Suatu gangguan distribusi hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi(Hendriyadi, 2017).

Kinerja sistem distribusi merupakan tingkat keberhasilan sebuah sistem atau bagian dari sebuah sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada waktu dan kondisi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat kinerja dari sebuah sistem, perlu dilakukan kajian berupa perhitungan dan analisa terhadap tingkat keberhasilan pada sistem yang ditinjau pada periode tertentu, untuk kemudian dibandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan sebelumnya. Kontinuitas pelayanan merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan, dan kesemuanya tergantung pada jenis dan tipe penyalur dan peralatan pengaman yang digunakan. Jaringan distribusi sebagai saran penyalur energi listrik mempunyai tingkat kontinuitas pelayanan berdasarkan jangka waktu mengoperasikan kembali saluran setelah mengalami gangguan (Teknologi & Uda, 2020)

Jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat. Setiap kali terjadi gangguan hubung singkat di sisi penyulang, secara teknis akan terjadi penurunan tegangan 20 kV sampai beberapa persen dari nilai nominalnya. Pada umumnya ada 3 (tiga) macam arus gangguan hubung singkat yang ada pada sistem tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 3 fasa, arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (Maisyarah, 2019).

Kegagalan pada instalasi sistem tenaga listrik tidak mungkin dapat dihindari, untuk mengurangi kerusakan dan memperkecil daerah gangguan maka dibutuhkan sistem proteksi. Khususnya pada saluran distribusi, gangguan yang mungkin terjadi sebagian besar adalah gangguan hubung singkat, baik hubung singkat tiga fasa, antar fasa atau hubung singkat antara fasa dengan tanah. Salah satu alat yang termasuk sistem proteksi tersebut dinamakan relai. Relai mendeteksi adanya gangguan dalam sistem tenaga listrik dan memberikan informasi secara otomatis kepada pemutus tenaga agar memisahkan secepat mungkin peralatan listrik yang dilindungi dengan gangguan. Sebagai langkah utama dalam mengatasi adanya gangguan, khususnya pada saluran distribusi biasanya dipakai selain relai jarak yaitu relai arus lebih dan relai gangguan tanah. Dalam fungsinya sebagai sistem proteksi, evaluasi kinerja relai arus lebih atau *over relay current* (OCR) dan relai gangguan tanah atau *ground fault relay* (GFR) tersebut harus dilakukan secara kontinyu. Keandalan sebuah sistem proteksi sangat dituntut demi terjaganya

kontinuitas penyaluran energi listrik. Untuk itu diperlukan koordinasi antar komponen penunjang sistem proteksi. Komponen proteksi yang penting diantaranya *over current relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR) (Dermawan & Nugroho, 2017).

Gangguan Hubung Singkat Menurut IEC 60909, gangguan hubung singkat didefinisikan sebagai hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial (bertegangan). Salah satu upaya yang dilakukan untuk membatasi pengaruh hubung singkat yaitu membatasi lama waktu terjadinya Hubung Singkat. Hal ini dilaksanakan misalnya memasang relai arus lebih dengan komponen waktu pada pemutus tenaga relatif cepat. Pengaturan penyetelan waktu relai akan diperoleh pengaman yang selektif artinya pemutusan hanya akan terjadi pada bagian-bagian yang terganggu saja (Faidhal Anwar Limbong et al., 2019).

## **2.2 Gardu Induk**

Gardu induk adalah fasilitas penting dalam sistem kelistrikan yang berfungsi sebagai pusat untuk mengubah, mengatur, dan mendistribusikan tenaga listrik. Gardu induk memainkan peran kunci dalam sistem kelistrikan modern. Mereka memastikan bahwa pasokan listrik yang diterima oleh konsumen adalah dalam kondisi yang aman dan stabil, mengurangi kemungkinan gangguan, dan meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik secara keseluruhan. Tanpa gardu induk, distribusi listrik yang efektif dan efisien akan sangat sulit dicapai.

Gardu Induk (GI) merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, tanpa adanya Gardu Induk maka tenaga listrik tidak dapat disalurkan. Sehingga pembangunan Gardu Induk diperlukan perhitungan yang tepat sesuai dengan kebutuhan, selain itu Gardu Induk yang didesain harus aman dan dapat diandalkan (Mangkuto et al., 2019)



Gambar 2.1 Gardu Induk

Komponen gardu induk adalah bagian-bagian individu yang membentuk sistem gardu induk dan masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mengatur, mengontrol, dan mendistribusikan tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen. berikut ini adalah komponen-komponen yang digunakan pada gardu induk:

### 2.2.1 *Switch Yard (Switch Gear)*

Adalah area atau bagian dalam gardu induk yang terdiri dari perangkat untuk mengontrol, memutus, dan menyambungkan arus listrik dalam sistem tenaga listrik. *Switch gear* merupakan komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, berfungsi untuk melindungi dan mengelola arus listrik agar tetap aman dan efisien.

Fungsi Utama *Switch Yard / Switch Gear*

#### 1. Pemutus dan Penghubung Sirkuit (*Switching*)

Menghubungkan atau memutuskan aliran listrik dari satu bagian sistem ke bagian lain.

#### 2. Pengaman Sistem (*Protection*)

Melindungi sistem dari gangguan seperti hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*overload*) dengan menggunakan alat pemutus (*circuit breaker*), relai proteksi.

#### 3. Pengukuran dan Pengawasan (*Monitoring & Metering*)

Dilengkapi dengan alat ukur seperti CT (*Current Transformer*), PT (*Potential Transformer*), dan meteran lainnya untuk memantau kondisi sistem.

#### 4. Distribusi Energi Listrik

Mendistribusikan energi listrik dari pembangkit ke gardu induk atau ke jaringan distribusi.

Komponen Utama *Switch Yard* / *Switch Gear*:

##### 1. *Circuit breaker* (Pemutus Tenaga)

Alat untuk memutus dan menghubungkan aliran listrik secara otomatis saat terjadi gangguan.

##### 2. Isolator (*Isolating Switch*)

Alat untuk memutus sirkuit secara manual dan memberikan isolasi fisik agar aman saat perawatan.

##### 3. *Disconnecter*

Memutus aliran listrik dengan aman untuk keperluan pemeliharaan, biasanya tidak dapat memutus arus gangguan.

##### 4. Busbar

Konduktor utama yang menghubungkan beberapa jalur atau peralatan dalam *switch yard*.

##### 5. *Current Transformer (CT)* dan *Voltage Transformer (VT)*

Mengubah arus dan tegangan tinggi ke level yang lebih rendah untuk pengukuran dan proteksi.

##### 6. Rele Proteksi

Sistem elektronik atau elektromagnetik yang mendeteksi gangguan dan memerintahkan *circuit breaker* untuk memutus aliran listrik.

Jenis *Switch Yard*:

##### 1. *Air Insulated Switchyard (AIS)*

Semua peralatan disangga dan dipisahkan dengan udara sebagai isolator.

##### 2. *Gas Insulated Switchyard (GIS)*

Peralatan dan sambungan listrik menggunakan gas isolasi seperti SF<sub>6</sub> yang memiliki isolasi lebih baik dan ukuran lebih kompak.



Gambar 2.2 *Switch Yard (Switch Gear)*

### 2.2.2 Transformator Daya

Transformator merupakan peralatan statis untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya dengan mengubah tegangan tanpa merubah frekuensi (Ondrialdi et al., 2020). Transformator daya adalah jenis transformator yang dirancang untuk menangani daya listrik dalam jumlah besar dan sering digunakan dalam sistem transmisi dan distribusi listrik. Transformator ini mengubah tegangan listrik dari tingkat tinggi ke tingkat lebih rendah (atau sebaliknya) untuk memastikan energi listrik dapat didistribusikan secara efisien dan aman ke konsumen akhir.

Fungsi Transformator Daya:

1. Menaikkan Tegangan (*Step-Up Transformer*)

Digunakan di gardu induk pembangkit untuk menaikkan tegangan listrik agar efisien dalam transmisi jarak jauh.

2. Menurunkan Tegangan (*Step-Down Transformer*)

Digunakan di gardu distribusi untuk menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan pelanggan (rumah tangga, industri).

Komponen Utama Transformator Daya:

1. Inti Besi (*Core*): Terbuat dari pelat baja silikon yang berfungsi untuk menyalurkan fluks magnetik.
2. Kumparan Primer dan Sekunder: Kawat tembaga atau aluminium yang dililitkan pada inti.

3. Tangki dan Isolasi: Menampung dan melindungi kumparan serta inti, khususnya untuk tipe oil-immersed.
4. Sistem Pendingin: Minyak atau udara untuk mencegah panas berlebih.

Karakteristik dan Parameter Penting:

1. Rating Daya (kVA atau MVA): Menunjukkan kapasitas daya yang dapat ditangani.
2. Impedansi: Hambatan total yang menyebabkan penurunan tegangan dan rugi-rugi daya.
3. Efisiensi: Rasio daya keluaran terhadap daya masukan.
4. Regulasi Tegangan: Perubahan tegangan output saat beban berubah.

Kelebihan Transformator Daya:

1. Efisiensi tinggi (biasanya di atas 95%).
2. Tidak ada bagian bergerak sehingga perawatan lebih mudah.
3. Mampu menangani daya besar untuk transmisi dan distribusi listrik.



Gambar 2.3 Transformator Daya

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

*Neutral Grounding Resistance (NGR)* adalah resistor yang digunakan untuk membatasi arus gangguan atau arus hubung singkat yang mengalir melalui titik netral sistem listrik ke tanah. NGR menghubungkan titik netral dari transformator atau generator ke tanah dan bertindak sebagai pengatur arus gangguan untuk meningkatkan keselamatan dan melindungi peralatan.

#### Tujuan Penggunaan NGR:

1. Membatasi Arus Gangguan Tanah  
Menghindari kerusakan peralatan dan mengurangi risiko kebakaran atau ledakan.
2. Melindungi Sistem Isolasi  
Dengan membatasi tegangan lebih (*overvoltage*) akibat gangguan tanah.
3. Menjaga Kontinuitas Operasi  
Sistem masih bisa beroperasi dalam kondisi gangguan satu fasa ke tanah, tergantung sistem proteksi.
4. Memungkinkan Deteksi Gangguan Tanah  
Arus yang dibatasi oleh NGR bisa dipantau untuk proteksi dan alarm.

#### Jenis-jenis Neutral Grounding:

1. *Solid Grounding*: Netral langsung dihubungkan ke tanah tanpa resistor, menghasilkan arus gangguan tanah sangat besar.
2. *Resistive Grounding* (dengan NGR): Netral dihubungkan ke tanah melalui resistor, membatasi arus gangguan tanah.
3. *Reactance Grounding*: Netral dihubungkan ke tanah melalui induktor, membatasi arus gangguan dengan cara reaktansi.
4. *Resonant Grounding*: Menggunakan kapasitor untuk menetralkan arus gangguan.

#### Pemilihan Nilai NGR

Nilai tahanan NGR dipilih berdasarkan:

1. Besarnya arus gangguan yang diperbolehkan.
2. Tegangan sistem.
3. Kebutuhan proteksi dan koordinasi dengan sistem proteksi lainnya.

#### Aplikasi NGR:

1. Sistem distribusi listrik di pabrik dan instalasi industri.
2. Sistem tenaga dengan transformator yang menggunakan *grounding resistive* untuk meningkatkan keamanan.
3. Instalasi generator dan pembangkit listrik.





Gambar 2.4 *Neutral Grounding Resistance (NGR)*

#### 2.2.4 Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit breaker* (CB)

Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit breaker* (CB) adalah alat yang dirancang untuk memutuskan arus listrik dalam sirkuit secara otomatis ketika terdeteksi gangguan, seperti arus lebih atau hubung singkat. Tujuannya adalah untuk melindungi sistem listrik dan peralatan dari kerusakan serta memastikan operasi yang aman dan andal.

Fungsi Utama *Circuit breaker*:

1. Memutuskan arus listrik secara otomatis saat terjadi gangguan.
2. Mengamankan peralatan listrik dari kerusakan akibat arus lebih.
3. Dapat dioperasikan secara manual atau otomatis untuk pemeliharaan.
4. Mengisolasi bagian sistem untuk perbaikan tanpa mematikan seluruh jaringan.

Jenis-Jenis PMT / *Circuit breaker*:

##### 1. *Miniature Circuit breaker* (MCB)

Umumnya digunakan untuk instalasi rumah dan bangunan kecil. MCB memproteksi dari arus lebih dan hubung singkat dengan kapasitas arus kecil hingga menengah.

##### 2. *Molded Case Circuit breaker* (MCCB)

Digunakan untuk instalasi dengan kapasitas arus lebih besar dan lebih fleksibel dalam pengaturan arus trip.

##### 3. *Air Circuit breaker* (ACB)

Biasanya digunakan pada instalasi tegangan menengah hingga tinggi, dengan pemadaman busur listrik menggunakan udara.

#### 4. *Vacuum Circuit breaker (VCB)*

Memutus arus dengan memadamkan busur listrik dalam ruang hampa udara, cocok untuk tegangan menengah.

#### 5. *Oil Circuit breaker (OCB)*

Memadamkan busur dengan media minyak, umum pada sistem tegangan tinggi.

Komponen Utama:

1. Kontak listrik: Tempat arus mengalir yang akan terbuka untuk memutus aliran.
2. Mekanisme pemutusan: Sistem mekanis yang membuka kontak saat terjadi gangguan.
3. Sistem pelepasan (trip unit): Sensor yang mendeteksi arus lebih atau hubung singkat dan memicu mekanisme pemutusan.
4. Handle/manual *switch*: Untuk operasi manual membuka atau menutup sirkuit.

Kelebihan PMT/CB:

1. Otomatis memutus aliran listrik saat terjadi gangguan.
2. Bisa digunakan berulang kali (tidak perlu diganti seperti fuse).
3. Mempercepat proses pemutusan arus, sehingga mengurangi risiko kerusakan.
4. Memungkinkan operasi manual untuk pemeliharaan.



Gambar 2.5 Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit breaker* (CB)

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

Sakelar Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch* (DS) adalah alat yang dirancang untuk memisahkan atau menghubungkan sirkuit listrik atau peralatan dengan memutuskan jalur arus listrik. Sakelar ini umumnya digunakan untuk isolasi peralatan atau sirkuit dari sistem tenaga listrik utama untuk tujuan pemeliharaan atau perbaikan.

Fungsi Sakelar Pemisah:

#### 1. Isolasi Peralatan Listrik

Agar aman saat dilakukan pemeliharaan atau pemeriksaan.

#### 2. Memberi Kejelasan Visual Pemisahan

Posisi terbuka sakelar bisa terlihat langsung sebagai tanda aman (isolasi sudah dilakukan).

#### 3. Mendukung Operasi *Switching*

Digunakan bersamaan dengan pemutus tenaga (CB) dalam prosedur pemutusan.

Karakteristik Umum PMS / DS:

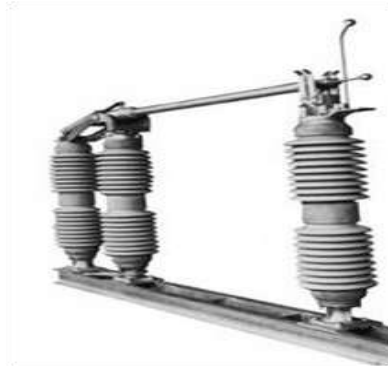
1. Tidak boleh dioperasikan saat berarus: Untuk menghindari kerusakan atau busur Listrik.
2. Dilengkapi dengan *interlock*: Mencegah pembukaan jika CB belum trip.
3. Posisi ON/OFF terlihat jelas: Memberikan bukti visual isolasi.
4. Biasanya dioperasikan secara manual: Bisa juga dengan motor di sistem besar.

Jenis-Jenis Sakelar Pemisah:

1. *Single Break*: Satu titik pemutusan per fasa.
2. *Double Break*: Dua titik pemutusan per fasa (lebih andal untuk sistem besar).
3. *Pantograph Type*: Digunakan di *switchyard* dengan tegangan sangat tinggi.
4. *Vertical Break / Centre Break*: Umum di instalasi luar (*outdoor*) tegangan tinggi.

Lokasi Umum Penggunaan PMS / DS:

1. Gardu Induk (*Switchyard*).
2. Antara PMT (CB) dan Trafo.
3. Antara *Line Incoming* dan Busbar.
4. Pada sistem pembangkit dan distribusi industry.



Gambar 2.6 Sakelar Pemisah (PMS) atau *Discounnecting Switch* (DS)

### 2.2.6 *Lightning Arrester (LA)*

*Arrester* adalah suatu alat bagi pelindung suatu sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Alat pelindung terhadap surja petir ini berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah (Hajar, 2017). komponen yang dipasang pada sistem tenaga listrik untuk mengalihkan arus petir atau lonjakan tegangan yang tiba-tiba ke tanah, melindungi peralatan dan sistem dari kerusakan. *Arrester* ini bekerja dengan cara mengarahkan arus berlebih yang disebabkan oleh petir atau lonjakan tegangan lainnya ke sistem pembumian.

Fungsi Utama *Lightning Arrester*:

1. Melindungi peralatan dari tegangan lebih transien (seperti akibat petir atau *switching*).
2. Mengalirkan arus petir ke tanah secara cepat dan aman.
3. Membatasi tegangan residual agar tidak melebihi batas isolasi peralatan.
4. Memastikan kontinuitas layanan dengan mencegah kerusakan saat petir menyambar jaringan.

Prinsip Kerja *Lightning Arrester*:

1. Dalam kondisi normal, LA tidak menghantarkan arus listrik karena tahananannya sangat tinggi.
2. Saat terjadi tegangan lebih (misalnya petir), LA membuka jalur ke tanah dan menghantarkan arus petir dengan cepat.
3. Setelah tegangan kembali normal, LA otomatis kembali ke kondisi isolatif, memutus jalur ke tanah.

#### Jenis-Jenis *Lightning Arrester*:

1. *Gap Type Arrester* (lama): Menggunakan celah loncatan (*spark gap*) dan resistor.
2. *Valve Type Arrester*: Menggunakan lapisan silika dan *valve* resistor.
3. *Metal Oxide Arrester (MOA)* paling umum saat ini: Tanpa celah, menggunakan *Zinc Oxide (ZnO)* sebagai elemen aktif.

#### Spesifikasi Penting LA:

1. *Rated Voltage*: Harus di atas tegangan normal sistem.
2. *Discharge Current Rating*: Kemampuan mengalirkan arus petir (contoh: 10 kA, 20 kA).
3. *Residual Voltage*: Tegangan maksimum yang dilewatkan ke sistem saat LA bekerja.



Gambar 2.7 *Lightning Arrester (LA)*

#### 2.2.7 Transformator Arus atau *Current Transformer (CT)*

Transformator Arus (CT) adalah jenis transformator yang dirancang untuk mengukur arus listrik dalam sistem tenaga listrik dengan cara menginduksi arus dalam kumparan sekunder. CT mengubah arus besar yang mengalir melalui konduktor utama menjadi arus kecil yang sebanding dan aman untuk diukur oleh peralatan pengukuran atau sistem proteksi.

#### Fungsi Utama CT:

1. Mengukur arus listrik besar dengan cara menurunkannya ke nilai yang lebih kecil dan aman (biasanya 5 A atau 1 A pada sisi sekunder).
2. Memberikan sinyal arus untuk alat proteksi (rele proteksi) agar dapat mendeteksi gangguan seperti arus lebih atau hubung singkat.
3. Memisahkan beban pengukuran dan proteksi dari jaringan tegangan tinggi agar aman untuk instrumen dan operator.

#### Prinsip Kerja CT:

1. CT memiliki lilitan primer dan sekunder.
2. Arus primer yang besar mengalir melalui lilitan primer (bisa satu atau beberapa putaran kawat).
3. CT menghasilkan arus sekunder yang proporsional, dengan perbandingan lilitan primer dan sekunder sesuai rasio CT.
4. Arus sekunder ini digunakan untuk pengukuran atau proteksi.

#### Komponen Utama CT:

1. Inti Besi (*Core*): Media fluks magnetik, biasanya bahan ferromagnetic.
2. Lilitan Primer: Tempat arus utama mengalir (bisa berupa satu kawat besar).
3. Lilitan Sekunder: Memberikan arus sekunder ke alat ukur/proteksi.
4. Isolasi: Melindungi lilitan dan operator dari tegangan tinggi.

#### Spesifikasi Umum CT:

1. Rasio CT: Perbandingan arus primer dan sekunder (contoh: 1000/5 A, artinya 1000 A pada primer menjadi 5 A pada sekunder).
2. Class Akurasi: Menentukan ketelitian pengukuran (contoh: Class 0.2, 0.5, 1, 5).
3. Beban Sekunder: Maksimum beban yang bisa dihubungkan di sisi sekunder tanpa mengurangi akurasi.

#### Aplikasi CT:

1. Panel proteksi dan kontrol gardu Listrik.
2. Sistem monitoring dan pengukuran energi Listrik.
3. Sistem proteksi rele otomatis.



Gambar 2.8 Transformator Arus

### 2.2.8 Transformator Tegangan atau *Potential Transformer* (PT)

Transformator Tegangan (PT) atau *Potential Transformer* (PT) adalah jenis transformator yang dirancang untuk mengukur tegangan dalam sistem tenaga listrik. PT mengubah tegangan tinggi yang ada di sirkuit utama menjadi tegangan yang lebih rendah, proporsional, dan aman untuk diukur oleh peralatan pengukuran atau sistem proteksi.

Fungsi Utama PT:

1. Mengukur tegangan sistem tenaga listrik dengan aman menggunakan alat ukur standar (biasanya 110 V atau 100 V pada sisi sekunder).
2. Memberi sinyal tegangan ke rele proteksi, seperti rele tegangan lebih, kurang tegangan, sinkronisasi.
3. Memberikan isolasi antara sistem tegangan tinggi dan peralatan ukur/proteksi.

Prinsip Kerja PT:

1. Sama seperti trafo biasa, PT memiliki lilitan primer dan sekunder.
2. Tegangan tinggi pada lilitan primer ditransformasikan ke tegangan rendah di lilitan sekunder sesuai dengan rasio PT (contoh: 20.000/110 V).
3. Tegangan sekunder ini aman untuk peralatan ukur dan sistem kontrol.

Komponen Utama PT:

1. Lilitan Primer: Terhubung ke sistem tegangan tinggi.
2. Lilitan Sekunder: Terhubung ke alat ukur atau proteksi.
3. Inti Besi: Menyalurkan fluks magnetik antar lilitan.
4. Isolasi: Melindungi dari tegangan tinggi.
5. Terminal Output: Titik koneksi ke perangkat pengukuran/proteksi.

Jenis-Jenis PT:

1. Induktif PT: Umum digunakan di gardu dan sistem industri.
2. *Capacitive Voltage Transformer (CVT)*: Untuk sistem tegangan ekstra tinggi (EHV), lebih ringan dan ekonomis.
3. *Three-Phase* PT: Untuk pengukuran sistem 3 fasa (kombinasi 3 PT atau satu unit terintegrasi).



Gambar 2.9 Transformator Tegangan

### 2.2.9 Transformator Pemakaian Sendiri (TPS)

Transformator Pemakaian Sendiri (TPS) adalah perangkat yang dirancang untuk mengubah tegangan dari sistem tenaga utama menjadi tegangan yang sesuai untuk digunakan oleh peralatan internal atau sistem di dalam suatu stasiun atau fasilitas. TPS memastikan bahwa fasilitas tersebut memiliki suplai tenaga yang diperlukan untuk operasionalnya sendiri. Transformator Pemakaian Sendiri (TPS) adalah transformator yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik internal dari suatu instalasi tenaga listrik, seperti pembangkit listrik atau gardu induk. TPS menyediakan daya bantu (*auxiliary power*) untuk menjalankan peralatan



pendukung seperti pompa, motor, sistem kontrol, pencahayaan, AC panel, dan lainnya.

Fungsi Utama TPS:

1. Menyuplai beban internal (non-produktif) dalam instalasi pembangkit atau gardu.
2. Menjamin kontinuitas operasi sistem bantu, bahkan saat sistem utama sedang tidak beroperasi.
3. Mengkonversi tegangan tinggi dari sisi generator atau trafo utama ke tegangan rendah, sesuai kebutuhan sistem bantu (misalnya ke 400 V, 380 V, atau 220 V).

Karakteristik dan Spesifikasi TPS:

1. Tegangan primer: Bisa dari 6.6 kV, 11 kV, 20 kV, tergantung sistem.
2. Tegangan sekunder: Umumnya 400 V atau 220 V.
3. Kapasitas daya: Disesuaikan dengan total beban bantu, misalnya 250 kVA, 500 kVA, 1 MVA, dst.
4. Jenis: Bisa trafo 1 fasa atau 3 fasa, *indoor* atau *outdoor*.
5. *Cooling system: Dry type* (pendingin udara) atau *oil immersed*.

Aplikasi Beban yang Disuplai TPS:

1. Sistem kontrol dan proteksi.
2. Motor-motor bantu (pompa, kompresor).
3. Sistem penerangan (lampu gedung, panel).
4. HVAC (pendingin ruangan panel).
5. *Charging battery & sistem DC*.
6. Panel distribusi bantu (AC panel).



Gambar 2.10 Transformator Pemakaian Sendiri

### 2.2.10 Rel Busbar

Rel Busbar adalah batang konduktor besar yang digunakan untuk mendistribusikan arus listrik dari sumber energi ke berbagai titik dalam sistem tenaga listrik. Busbar berfungsi sebagai titik pertemuan dan penghubung untuk beberapa sirkuit listrik, mengatur dan mengalirkan arus listrik dengan aman dan efisien ke beban atau peralatan yang berbeda.

Fungsi Utama Rel Busbar:

1. Mengumpulkan dan mendistribusikan arus listrik dari satu atau beberapa sumber (seperti transformator atau generator).
2. Menghubungkan beberapa peralatan (seperti pemutus tenaga, trafo, feeder) dalam satu sistem kelistrikan.
3. Memungkinkan fleksibilitas dalam pengoperasian sistem, termasuk pengalihan beban dan isolasi bagian yang bermasalah.

Jenis-jenis Konfigurasi Busbar:

1. *Single Busbar*: Satu rel utama sederhana dan murah, tapi kurang fleksibel.
2. *Double Busbar*: Dua rel utama; memungkinkan transfer beban saat perawatan.
3. *Main and Transfer Bus*: Ada bus utama dan bus cadangan (transfer).
4. *Ring Bus*: Bentuk lingkaran andal untuk sistem penting.

Komponen Pendukung Rel Busbar:

1. Isolator: Menahan busbar secara mekanik dan mengisolasi secara elektrik.
2. *Spacer & Clamps*: Menjaga jarak antar fasa dan menahan posisi busbar.
3. *Support Structure*: Menopang busbar di instalasi luar (outdoor).
4. Penandaan fasa (R-S-T): Untuk identifikasi dan keselamatan.

Keamanan dan Proteksi Busbar:

1. Proteksi arus lebih (*overcurrent relay*).
2. Proteksi busbar (*bus differential relay*).
3. Monitoring suhu (terutama untuk busbar tertutup atau tertanam).



Gambar 2.11 Rel Busbar

### 2.2.11 Panel Kontrol

Panel Kontrol adalah unit yang biasanya terdiri dari berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk mengelola dan mengontrol operasi sistem listrik atau fasilitas industri. Panel kontrol mengintegrasikan berbagai fungsi pengendalian, pengukuran, dan alarm dalam satu tempat, memberikan antarmuka yang mudah digunakan bagi operator untuk memantau dan mengatur sistem.

Fungsi Utama Panel Kontrol:

1. Mengontrol peralatan listrik secara manual atau otomatis (ON/OFF, *Start/Stop*, *Reset*).
2. Memantau kondisi sistem (tegangan, arus, frekuensi, suhu, status *breaker*)
3. Mengaktifkan sistem proteksi jika terjadi gangguan (mengirim sinyal trip ke CB).
4. Menjadi antarmuka operator (HMI) untuk pengoperasian aman dan efisien.
5. Mengatur logika interlock antara peralatan agar sistem bekerja sesuai urutan.

#### Jenis-Jenis Panel Kontrol Berdasarkan Fungsinya:

1. Panel Motor Kontrol (MCC): Untuk mengoperasikan dan melindungi motor.
2. Panel Distribusi (*Switchboard*): Mendistribusikan tenaga ke berbagai beban.
3. Panel Proteksi: Berisi rele proteksi dan sistem pengaman.
4. Panel Kontrol Trafo: Mengatur dan memantau kondisi trafo.
5. Panel SCADA / Remote Control: Untuk kontrol jarak jauh dan monitoring pusat.
6. Synchronizing Panel: Untuk sinkronisasi generator ke jaringan

#### Lokasi Pemasangan Panel Kontrol:

1. Ruang kontrol (control room).
2. Gardu distribusi / gardu induk.
3. Ruang panel industri / pabrik.
4. Di pembangkit (PLTU, PLTD, PLTA, PLTS)

#### Keamanan dan Standar Panel:

1. Harus sesuai dengan standar seperti IEC, NEMA, atau SNI.
2. Dilengkapi grounding system dan sistem proteksi gangguan.
3. Harus memiliki identifikasi label dan wiring diagram yang jelas.



Gambar 2.12 Panel Kontrol

### 2.2.12 Gedung Kontrol

Gedung Kontrol adalah fasilitas fisik yang menampung perangkat kontrol, panel kontrol, dan sistem pemantauan untuk mengelola operasi sistem tenaga listrik, pabrik, atau fasilitas industri lainnya. Gedung ini dirancang untuk memberikan ruang yang terorganisir dan aman bagi peralatan yang diperlukan untuk mengatur dan memantau berbagai aspek dari sistem yang lebih besar.

Fungsi Utama Gedung Kontrol:

1. Melindungi peralatan kontrol dan proteksi dari cuaca ekstrem, debu, kelembaban, dan gangguan eksternal.
2. Menyediakan ruang kerja yang aman bagi operator, teknisi, dan petugas pemeliharaan.
3. Menjadi pusat pemantauan dan pengoperasian sistem tenaga listrik, baik secara lokal maupun terintegrasi ke pusat (misal SCADA).
4. Menampung sistem pendukung lainnya seperti UPS, baterai DC, komunikasi, CCTV, HVAC, dan sistem pemadam kebakaran.

Keamanan & Standar Gedung Kontrol:

1. Dibangun sesuai standar ketahanan terhadap getaran, suhu, kelembaban, api, dan akses terbatas.
2. Dilengkapi sistem grounding, lightning protection, dan sistem keamanan fisik (akses kartu, CCTV).
3. Harus memenuhi standar kelistrikan dan keselamatan kerja seperti SPLN, IEC, atau IEEE.

Lokasi Umum Gedung Kontrol:

1. Di dalam gardu induk tegangan tinggi (150 kV / 500 kV).
2. Di area pembangkit listrik (PLTU, PLTA, PLTD, PLTS).
3. Di industri besar atau bandara/pelabuhan dengan sistem kelistrikan kompleks.



Gambar 2.13 Gedung Kontrol

### 2.2.13 Panel Proteksi

Panel Proteksi adalah unit yang terdiri dari berbagai perangkat proteksi seperti rele, pemutus sirkit, dan perangkat pengukuran yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik dari kerusakan akibat kondisi abnormal seperti hubungan pendek, kelebihan beban, atau kegagalan peralatan. Panel ini bertindak sebagai garis pertahanan pertama untuk memastikan sistem beroperasi dalam batas aman.

Fungsi Utama Panel Proteksi:

1. Mendeteksi gangguan listrik melalui sinyal dari transformator arus (CT) dan tegangan (PT).
2. Mengaktifkan pemutus tenaga (PMT/CB) secara otomatis untuk memutus sistem yang terganggu.
3. Melokalisasi gangguan agar tidak meluas ke seluruh sistem.
4. Mencatat dan menginformasikan gangguan untuk analisis lebih lanjut (melalui indikator, alarm, atau sistem SCADA).
5. Menjamin keselamatan peralatan dan personel.

Prinsip Kerja Sistem Proteksi:

1. Pengukuran: CT dan PT mengirimkan data arus dan tegangan ke rele.
2. Analisis: Rele memproses sinyal dan menentukan ada/tidaknya gangguan.
3. Tindakan: Jika gangguan terdeteksi, rele mengirim sinyal trip ke pemutus tenaga.

4. Pemutusan: Pemutus tenaga membuka sirkuit untuk memisahkan bagian yang terganggu.
5. Monitoring: Sistem mencatat dan memberi alarm untuk tindakan selanjutnya.

Aplikasi Panel Proteksi:

1. Gardu Induk (20 kV – 500 kV).
2. Pembangkit Listrik (PLTU, PLTA, PLTD, PLTS).
3. Distribusi Industri Besar.
4. Sistem Interkoneksi / Jaringan SUTT/SUTET.

Keandalan Sistem Proteksi:

1. Cepat: Respon dalam milidetik.
2. Selektif: Hanya memutus bagian yang terganggu.
3. Akurat: Tidak bekerja saat tidak ada gangguan.
4. Koordinatif: Sesuai urutan trip antara sistem *upstream* dan *downstream*.



Gambar 2. 14 Panel Produksi

#### 2.2.14 Sumber DC Gardu Induk

Sumber DC Gardu Induk adalah sistem yang menyediakan daya arus searah (DC) yang stabil dan andal untuk peralatan dan sistem di gardu induk. Sistem ini biasanya mencakup berbagai komponen seperti baterai, *charger*, dan panel distribusi DC yang memastikan bahwa perangkat yang memerlukan daya DC dapat beroperasi dengan baik, terutama dalam keadaan darurat atau gangguan daya utama.

Fungsi Utama Sumber DC Gardu Induk:

1. Menyuplai rele proteksi, panel kontrol, dan sistem SCADA.
2. Mengoperasikan pemutus tenaga (CB) saat terjadi gangguan.
3. Menyediakan *backup power* jika suplai AC utama hilang.
4. Menjamin kontinuitas proteksi dan pemantauan sistem meski gardu mengalami *blackout*.

Penting:

1. Sumber DC harus independen dan andal; kerusakannya bisa menyebabkan sistem gagal beroperasi saat gangguan terjadi.
2. Harus dilakukan *maintenance* berkala pada baterai dan charger untuk menjamin keandalan.
3. Biasanya tersedia dalam konfigurasi redundan (N+1) untuk menjamin kontinuitas.



Gambar 2.15 Sumber DC Gardu Induk

### 2.2.15 Panel AC/DC Gardu Induk

Panel AC/DC Gardu Induk adalah unit distribusi yang dirancang untuk mengatur dan mendistribusikan aliran listrik AC dan DC ke berbagai perangkat dan sistem di gardu induk. Panel ini sering mencakup berbagai komponen seperti pemutus sirkuit, rele, meter, dan sistem proteksi untuk mengelola daya listrik dengan efisien.



#### Fungsi Utama Panel AC/DC Gardu Induk:

1. Mendistribusikan daya AC untuk peralatan seperti pencahayaan, panel kontrol, dan sistem HVAC.
2. Mendistribusikan daya DC untuk rele proteksi, sistem kontrol, dan peralatan penting lainnya.
3. Mengontrol dan memonitor kondisi sumber daya AC dan DC untuk memastikan keandalan pasokan.
4. Menjaga kontinuitas operasi sistem proteksi dan kontrol, terutama saat terjadi gangguan pada sumber utama.

#### Pengaturan dan Aliran Daya:

1. Sumber AC utama biasanya berasal dari jaringan PLN atau generator.
2. *Battery charger* mengonversi daya AC menjadi DC untuk mengisi baterai dan menyuplai beban DC.
3. Baterai menyediakan suplai DC cadangan saat sumber AC hilang.
4. Daya AC dan DC didistribusikan ke beban masing-masing melalui panel ini.

#### Aplikasi dan Peran Panel AC/DC:

1. Menyediakan daya untuk relay proteksi dan pemutus tenaga.
2. Mendukung sistem SCADA dan monitoring gardu.
3. Menyediakan penerangan dan sistem alarm.
4. Memastikan sistem proteksi dan kendali tetap beroperasi saat gangguan listrik.



Gambar 2.16 Panel AC/DC Gardu Induk

#### 2.2.16 Kubikel 20 kV

Kubikel 20 kV adalah kabinet atau kotak yang dirancang untuk menampung berbagai perangkat listrik yang beroperasi pada tegangan 20 kV. Kubikel berfungsi sebagai penghubung, pengendali, pelindung serta pembagi tenaga listrik (Lestari et al., 2020). Kubikel ini meliputi berbagai komponen seperti pemutus sirkuit, sakelar, dan perangkat proteksi yang diperlukan untuk pengendalian dan proteksi sistem distribusi tenaga listrik pada tegangan menengah. Fungsi Utama Kubikel 20 kV:

1. Melindungi peralatan *switchgear* 20 kV dari lingkungan luar (debu, kelembaban, korosi)
2. Memudahkan pengoperasian dan pemeliharaan peralatan tegangan menengah.
3. Memberikan perlindungan keselamatan bagi operator dengan desain isolasi dan sekat.
4. Menyediakan ruang yang terorganisir untuk instalasi panel, kabel, dan perangkat proteksi.

#### Keunggulan Kubikel 20 kV:

1. Tingkat keamanan tinggi: Dengan isolasi gas (SF6) atau minyak, mengurangi risiko hubung singkat.
2. Ukuran kompak: Menghemat ruang dibandingkan instalasi *open switchyard*.
3. Mudah dikendalikan dan diotomasi: Bisa dilengkapi dengan sistem *remote control* dan monitoring.
4. Perawatan lebih mudah: Peralatan terorganisir dan akses lebih baik.

#### Jenis Kubikel 20 kV:

1. Kubikel SF6: Menggunakan gas SF6 sebagai isolator dan pemadam busur listrik.
2. Kubikel Vacuum: Menggunakan pemutus tenaga vacuum untuk memutus arus.
3. Kubikel *Gas Insulated Switchgear* (GIS): Semua peralatan tertutup dalam gas SF6 dengan dimensi kecil.



Gambar 2.17 Kubikel 20 KV

### 2.2.17 Sistem Proteksi

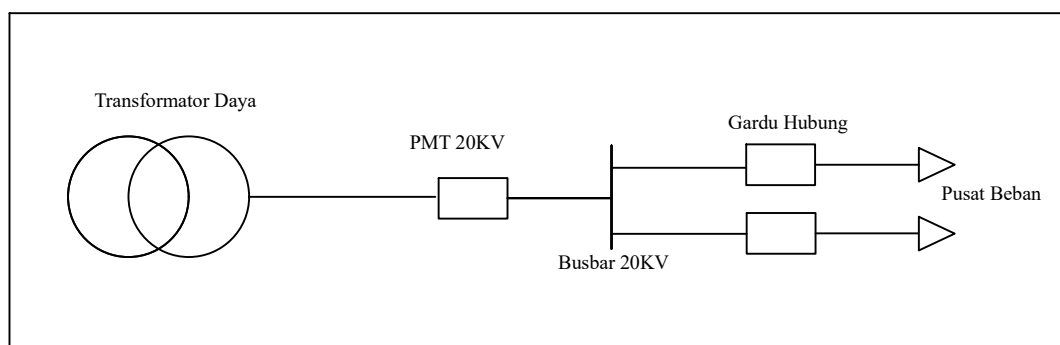
Sistem Proteksi adalah kumpulan perangkat dan teknik yang digunakan untuk melindungi sistem tenaga listrik dari kerusakan akibat gangguan, arus lebih, hubungan pendek, atau kondisi abnormal lainnya. Sistem ini juga memastikan bahwa gangguan di satu bagian sistem tidak menyebar ke bagian lain, menjaga kontinuitas layanan dan keselamatan operasional.

Fungsi Utama Sistem Proteksi:

1. Mendeteksi gangguan listrik seperti arus lebih, hubung singkat, gangguan tanah, tegangan lebih/kecil, dan frekuensi abnormal.
2. Memutus bagian sistem yang terganggu secara otomatis melalui pemutus tenaga (*circuit breaker*).
3. Mencegah meluasnya kerusakan pada peralatan dan sistem tenaga listrik.
4. Menjamin keselamatan personel yang bekerja di sekitar peralatan listrik.
5. Memastikan kontinuitas pasokan listrik dengan mengisolasi gangguan sesegera mungkin.

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

*Circuit breaker* merupakan peralatan proteksi rangkaian 2 listrik yang digunakan untuk memutus secara otomatis jika terjadi gangguan hubung singkat, arus beban lebih, dan tegangan lebih (Sulistiono & Kiswantono, n.d.). *Circuit breaker*/Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat yang paling penting dari semua alat penghilang / peredam dari gangguan tenaga. PMT (Yusniati et al., 2019).



Gambar 2.18 Sistem Distribusi Primer

Pemutus tenaga sering merujuk pada perangkat yang mengendalikan atau memutus aliran daya dalam aplikasi manajemen daya atau pengaturan beban. 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 2.19 CB/PMT

### 2.3.1 Fungsi Bagian Utama CB/PMT

Fungsi utamanya adalah untuk melindungi sistem listrik dari kerusakan akibat gangguan seperti arus lebih, hubungan pendek, atau kondisi abnormal lainnya. komponen utama:

#### 1. Kontak Utama (*Main Contacts*)

Berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik dalam sirkuit. Kontak ini adalah bagian yang secara langsung berfungsi untuk menyalurkan atau memutuskan aliran arus listrik.

Karakteristik Kontak Utama:

##### a) Kapasitas Arus

Kontak utama harus mampu menahan arus listrik nominal beban tanpa mengalami kerusakan atau penurunan kinerja.

##### b) Ketahanan Mekanis dan Elektrik

Harus tahan terhadap siklus buka-tutup berulang dan tahan terhadap lonjakan arus saat pemutusan.

##### c) Material Kontak

Biasanya terbuat dari logam konduktif seperti tembaga atau perak dengan lapisan khusus untuk mengurangi oksidasi dan percikan listrik (arc).

#### Cara Kerja:

Ketika perangkat saklar/pemutus diberi perintah untuk mengalirkan listrik, aktuator (misalnya elektromagnet pada contactor) akan mendorong kontak utama menutup, sehingga arus dapat mengalir ke beban. Sebaliknya, saat pemutus, kontak utama akan membuka dan menghentikan aliran arus.

#### 2. Kabel Pelepas (*Arc Extinguishing Chamber*)

Berfungsi untuk Menyerap dan memadamkan busur listrik yang terjadi ketika kontak utama membuka di bawah beban arus.

##### Jenis Ruang Pelepas Busur:

##### a) *Arc Chute* dengan Plat Logam

Plat logam membantu memecah busur menjadi bagian-bagian kecil agar lebih mudah dipadamkan.

##### b) Ruangan Berisi Gas Pemadam

Beberapa arc chamber menggunakan gas seperti SF<sub>6</sub> yang memiliki kemampuan isolasi dan memadamkan busur yang sangat baik.

##### c) Kombinasi Material Isolator dan Konduktor

Desain ruang busur dapat memanfaatkan bahan isolator dan konduktor untuk mengendalikan busur.

#### Pentingnya *Arc Extinguishing Chamber*:

##### a) Memperpanjang Umur Perangkat

Mengurangi keausan pada kontak utama akibat panas busur.

##### b) Meningkatkan Keandalan Operasi

Memastikan pemutusan arus listrik berjalan dengan aman dan tanpa gangguan.

##### c) Mengurangi Risiko Kerusakan Sistem

Mencegah terjadinya kerusakan akibat busur yang tidak terkontrol.

#### Cara Kerja:

Saat kontak utama mulai membuka dan busur listrik terbentuk, busur tersebut diarahkan ke dalam ruang pelepas busur yang dirancang khusus (*arc chamber*). Di dalam ruang ini, busur akan dipanjang dan dibagi menjadi beberapa busur kecil melalui plat atau kisi-kisi logam (*arc splitter*). Dengan memperbesar panjang busur

dan memperkecil volumenya, suhu busur meningkat dan akhirnya gas-gas yang terbentuk memadatkan busur tersebut.

### 3. Mekanisme Penggerak (*Operating Mechanism*)

Berfungsi untuk Mengatur pembukaan dan penutupan kontak utama. Ini termasuk mekanisme manual atau otomatis yang menggerakkan kontak utama.

Jenis Mekanisme Penggerak:

#### a) Manual *Operating Mechanism*

Mekanisme yang dioperasikan secara langsung oleh manusia menggunakan tuas atau handle.

#### b) *Electromagnetic Operating Mechanism*

Menggunakan elektromagnet yang akan menarik atau menolak mekanisme untuk membuka/menutup kontak.

#### c) *Spring Operating Mechanism*

Menggunakan pegas yang disimpan energi (*charged*) yang dilepaskan saat operasi, memberikan kecepatan tinggi pada kontak utama.

#### d) *Motorized Operating Mechanism*

Menggunakan motor listrik untuk menggerakkan kontak utama, biasanya pada perangkat dengan kapasitas besar.

Cara Kerja:

- a) Saat perintah buka atau tutup diterima (manual atau sinyal listrik), mekanisme penggerak mengaktifkan aktuator (elektromagnet, pegas, motor).
- b) Energi dari aktuator digunakan untuk menggerakkan bagian kontak utama membuka atau menutup.
- c) Mekanisme ini dirancang agar dapat bekerja cepat dan tepat untuk meminimalkan kerusakan akibat gangguan listrik.

### 4. Rele Proteksi (*Protective Relay*)

Berfungsi untuk Mendeteksi kondisi abnormal dalam sistem dan mengaktifkan mekanisme penggerak untuk memutuskan sirkuit.

Jenis-Jenis Rele Proteksi:



a) Rele Elektromagnetik

Menggunakan prinsip elektromagnet untuk bekerja, banyak digunakan di sistem lama.

b) Rele Elektronik

Menggunakan rangkaian elektronik untuk mendeteksi gangguan dengan akurasi lebih tinggi.

c) Rele Digital (Numerik)

Menggunakan mikrokontroler atau komputer untuk pengolahan sinyal dan memberikan proteksi yang lebih canggih dan fleksibel.

d) Rele Termal

Mendeteksi arus lebih berdasarkan panas yang dihasilkan oleh arus yang lewat.

5. Sistem Kontrol (*Control System*)

Berfungsi untuk Mengendalikan operasi CB, termasuk pengaktifan atau penonaktifan mekanisme penggerak, baik secara manual atau otomatis.

Komponen Sistem Kontrol:

a) Sensor

Mengukur variabel proses seperti suhu, tekanan, arus, tegangan, kecepatan.

b) *Controller*

Unit pengolah yang menerima data sensor dan memutuskan aksi kontrol, bisa berupa PLC (*Programmable Logic Controller*), mikroprosesor, atau relay logika.

c) Aktuator

Perangkat yang melakukan aksi fisik seperti membuka tutup katup, menggerakkan motor, mengaktifkan saklar.

d) *Interface Operator (HMI - Human Machine Interface)*

Panel atau perangkat yang memungkinkan operator memantau dan mengontrol sistem secara manual.

e) Komunikasi dan Jaringan

Menghubungkan berbagai komponen untuk koordinasi dan kontrol terpusat.

Jenis Sistem Kontrol:

a) Kontrol Manual

Operasi dikendalikan langsung oleh operator tanpa bantuan otomatisasi.

b) Kontrol Terotomatisasi

Menggunakan perangkat elektronik dan perangkat lunak untuk menjalankan proses secara otomatis.

c) Kontrol Terdistribusi (DCS)

Sistem kontrol yang terpusat secara logis tetapi tersebar secara fisik di berbagai bagian proses.

6. Fusible Links (untuk beberapa jenis CB)

Berfungsi untuk Menyediakan proteksi tambahan dengan memutuskan aliran listrik secara otomatis jika terjadi arus lebih yang ekstrem.

Penggunaan Fusible Link di *Circuit breaker*:

a) *Circuit breaker* dengan Fusible Link Terintegrasi

Beberapa jenis CB kecil atau khusus menggabungkan fusible link untuk proteksi tambahan.

b) Penggunaan di Panel Distribusi

Fusible link sering dipakai pada panel distribusi sebagai proteksi lokal dan tambahan untuk CB.

Cara Kerja: Ketika arus yang mengalir melebihi nilai maksimum yang diizinkan, kawat fusible link akan memanaskan akibat resistansi listrik yang tinggi dan akhirnya meleleh (putus). Dengan putusnya kawat ini, aliran listrik terhenti, sehingga sistem terlindungi dari kerusakan lebih lanjut.

7. Koneksi Terminal (*Terminal Connections*)

Berfungsi untuk Menyediakan titik koneksi untuk kabel masuk dan keluar dari CB.

Jenis Koneksi Terminal:

a) Terminal Baut (*Screw Terminal*)

Menggunakan baut untuk mengencangkan kabel pada terminal logam.

b) Terminal Jepit (*Spring Terminal*)

Menggunakan pegas untuk menahan kabel, biasanya untuk kabel kecil dan instalasi cepat.

c) Terminal Ring atau *Lug Terminal*

Kabel dilengkapi dengan lug (cincin) yang kemudian dibaut ke terminal.

d) Terminal Push-in

Kabel cukup didorong ke dalam terminal dan terkunci secara otomatis.

e) Terminal Solder

Sambungan dibuat dengan cara menyolder kabel ke terminal.

Pentingnya Koneksi Terminal yang Baik:

- a) Mencegah kegagalan sistem akibat sambungan yang longgar atau korosi.
- b) Menjamin keamanan operasi Listrik.
- c) Memudahkan proses *troubleshooting* dan pemeliharaan

8. Indikator (*Indicators*)

Berfungsi untuk Menunjukkan status operasi CB, seperti apakah dalam keadaan terbuka, tertutup, atau sedang dalam kondisi gangguan.

Jenis-Jenis Indikator:

a) Lampu Indikator (*Pilot Lamp*)

Lampu LED atau lampu pijar yang menyala untuk menandakan status tertentu (misal: *power ON, alarm*).

b) Meter Analog

Jarum yang menunjukkan nilai parameter listrik seperti voltmeter, ammeter, frekuensi meter.

c) Meter Digital

Tampilan digital yang menunjukkan nilai numerik dari parameter yang diukur.

d) Display LCD/LED

Digunakan untuk menampilkan informasi lebih kompleks seperti status sistem, grafik, atau pesan teks.

e) Alarm Suara (*Buzzer*)

Memberikan sinyal suara saat terjadi kondisi abnormal.

f) Indikator Visual Lainnya

Seperti indikator warna, panel indikator multi-segmen, atau indikator berbasis sentuhan.

Pentingnya Indikator:

- a) Memastikan informasi penting selalu terlihat dan dapat direspon cepat.
- b) Meningkatkan keamanan operasional.
- c) Mengurangi risiko kerusakan akibat keterlambatan deteksi gangguan.

d) Membantu diagnosa dan *troubleshooting* peralatan.

### 9. Unit Pelindung (*Protective Unit*)

Berfungsi untuk Menyediakan perlindungan tambahan, seperti pengaturan arus lebih, tegangan lebih, dan pengatur waktu untuk operasi CB.

Komponen Unit Pelindung:

a) Sensor (*Current Transformer, Voltage Transformer*)

Mengukur parameter listrik dan memberikan data ke unit pelindung.

b) Rele Proteksi

Otak unit pelindung yang menganalisis data dan menentukan kapan harus bertindak.

c) Pengendali Pemutus Arus (*Trip Unit*)

Mekanisme yang mengaktifkan *circuit breaker* untuk memutus arus.

Jenis Unit Pelindung:

a) Unit Pelindung Arus Lebih (*Overcurrent Protection*) Melindungi dari arus berlebih.

b) Unit Pelindung Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit Protection*).

c) Unit Pelindung Gangguan Tanah (*Ground Fault Protection*).

d) Unit Pelindung Tegangan Melindungi dari tegangan lebih atau kurang.

Cara Kerja: Unit pelindung menerima sinyal dari sensor, memproses data menggunakan rele proteksi, dan jika kondisi abnormal terdeteksi, unit pelindung akan segera mengirim perintah ke *circuit breaker* untuk membuka kontak utama dan memutus aliran listrik.

### 2.3.2 Klasifikasi CB/PMT

Pemutus Sirkuit (*Circuit breaker*, CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria, seperti jenis media pemadam, cara operasi, dan tegangan operasi.

#### A. Berdasarkan Media Pemadam

Berdasarkan media pemadam, CB/PMT dapat dibedakan menjadi empat kelompok, yaitu:

1. Pemutus Sirkuit Minyak, CB yang menggunakan minyak sebagai media pemadam busur dan sebagai isolator. berfungsi untuk mendinginkan busur dan memberikan isolasi antara kontak.
2. Pemutus Sirkuit Gas, CB yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> untuk pemadam busur dan isolasi. SF<sub>6</sub> memiliki kemampuan pemadam busur yang sangat baik dan isolasi yang tinggi.
3. Pemutus Sirkuit Udara, CB yang menggunakan udara sebagai media pemadam busur. Udara dihasilkan oleh kompresor atau udara atmosfer untuk memadamkan busur.
4. Pemutus Sirkuit Vakum, CB yang menggunakan ruang vakum untuk pemadam busur. Busur listrik dipadamkan di dalam tabung vakum.

B. Berdasarkan cara pengeoperasian, CB/PMT dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Pemutus Sirkuit Manual

CB yang dioperasikan secara manual oleh operator. Memerlukan tindakan fisik untuk mengaktifkan atau memutuskan sirkuit. Sederhana dan dapat dioperasikan tanpa sumber daya tambahan. Tidak otomatis dalam merespons gangguan.

2. Pemutus Sirkuit Otomatis

CB yang dioperasikan secara otomatis berdasarkan kondisi listrik yang terdeteksi. Menggunakan rele dan sistem kontrol untuk memutuskan sirkuit tanpa intervensi manual. Respons cepat terhadap gangguan dan meningkatkan keandalan sistem. Memerlukan sistem kontrol dan pengaturan yang lebih kompleks.

C. Berdasarkan tegangan operasi, CB/PMT dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Pemutus Sirkuit Tegangan Rendah

CB yang dirancang untuk bekerja pada tegangan rendah, umumnya di bawah 1 kV. Melindungi sistem distribusi dan peralatan pada tegangan rendah. Desain kompak dan mudah diatur.

2. Pemutus Sirkuit Tegangan Menengah

CB yang dirancang untuk tegangan menengah, biasanya antara 1 kV hingga 72.5 kV. Melindungi sistem distribusi pada tegangan menengah. Kapasitas proteksi

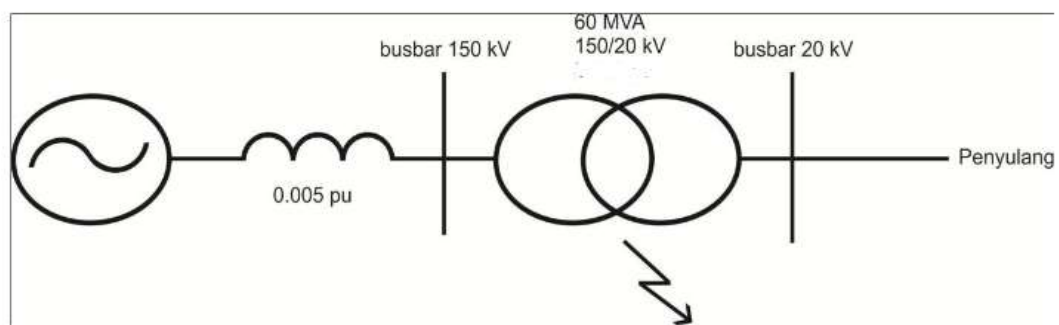
yang baik untuk aplikasi tegangan menengah. Memerlukan perawatan dan ruang lebih besar dibandingkan dengan CB tegangan rendah.

### 3. Pemutus Sirkuit Tegangan Tinggi

CB yang dirancang untuk tegangan tinggi, biasanya di atas 72.5 kV. Melindungi sistem transmisi dan distribusi pada tegangan tinggi. Melindungi sistem transmisi dan distribusi pada tegangan tinggi. Ukuran dan biaya yang tinggi, serta memerlukan perawatan khusus.

#### 2.3.3 Perhitungan Rele Arus Lebih (OCR)

Perhitungan arus hubung singkat dipergunakan untuk nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan *Time Multiple Setting* (TMS) dari arus lebih dengan karakteristik jenis *inverse*.



**Gambar 2.20 Gangguan Hubung Singkat Trafo 150/20 kV**

#### 1. Menghitung v perunit

$$V_{(pu)} = \frac{\text{KV sebenarnya}}{\text{KV dasar}} \quad (1)$$

#### 2. Menghitung Impedansi Sumber sisi 20KV

$$Z_{\text{sumber}} = \frac{\text{Tegangan Sisi Sekunder Transformator}(\text{KV}^2)}{\text{Daya Hubung Singkat Bus 20KV (MVA)}} \quad (2)$$

#### 3. Impedansi Transformator

$$X_{t(\text{pada } 100\%)} = \frac{\text{Tegangan Transformator Daya 1 (sisi 20KV)}^2}{\text{Daya Transformator 1}} \quad (3)$$

#### 4. Menghitung Impedansi Penyulang

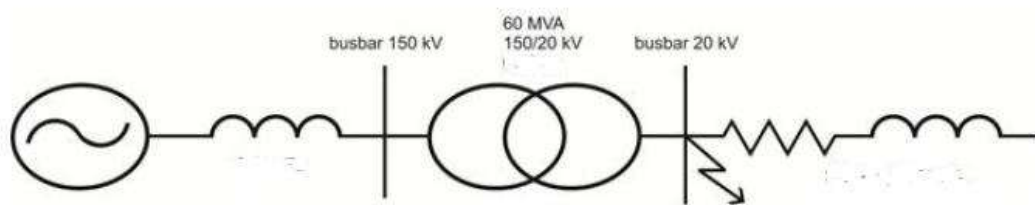
$$(Z1) = \text{impedansi urutan negatif } (Z2) \quad (4)$$

#### 5. Nilai Impedansi ekuivalen penyulang

$$Z1eq = Z2eq = ZiS (20 \text{ KV}) + Zt + Z\text{penyulang} \quad (5)$$

### 2.3.4 Arus Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada impedansi yang relative rendah terjadi antara dua titik yang mempunyai potensial berbeda, tegangan rendah yang dihasilkan oleh gangguan berakibat membahayakan pelayanan yang diberikan oleh sistem tenaga listrik.



Gambar 2.21 Arus Hubung Singkat Penyulang 20Kv

#### 1. Arus Hubung Singkat 3 fasa

$$I = \frac{V}{Z} \quad (6)$$

Untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat dalam satuan per unit (pu), maka tegangan sumber diasumsikan sebesar 1,0 pu, sehingga persamaan di atas menjadi:

$$I_{sc} = \frac{V_f}{Z_1} = \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_1} \quad (7)$$

Nilai basis (*base value*) untuk arus *base* pada sisi primer ( $I_{base \text{ primer}}$ ) dan pada sisi sekunder ( $I_{base \text{ sekunder}}$ ) adalah:

$$I_{base \text{ primer}} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \times V_{base \text{ primer}}} \quad (8)$$

$$I_{base \text{ sekunder}} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \times V_{base \text{ sekunder}}} \quad (9)$$

## 2. Seting relai

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.

$$I_{\text{set}} 20\text{KV} = 1,2 \times \text{CT primer} \quad (10)$$

Sisi sekunder

$$I_{\text{set}20\text{KV}} = \frac{I_{\text{set} 20\text{KV primer}}}{CT_{\text{rasio}}} \quad (11)$$

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, kemudian digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS).

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

Tabel 2. 1 Karakteristik Operasi Waktu Relai Inverse



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu Dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Glugur, Kec. Medan Barat, Kota Medan, Sumatera Utara.

Tabel 3. 1 Waktu dan Tahap Kegiatan Penelitian

| NO | Uraian Kegiatan  | BULAN |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|------------------|-------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
|    |                  | 9     | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1  | Pengajuan Judul  |       |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | Bimbingan        |       |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | Sempro           |       |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | Pengambilan Data |       |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | Semhas           |       |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | Sidang           |       |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |

### 3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Adapun bahan dan alat penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Data sekunder yang ada pada GI.
2. Data-data gangguan yang di peroleh dari GI.
3. Jurnal yang berkaitan dengan Gardu Induk.
4. Satu unit laptop.

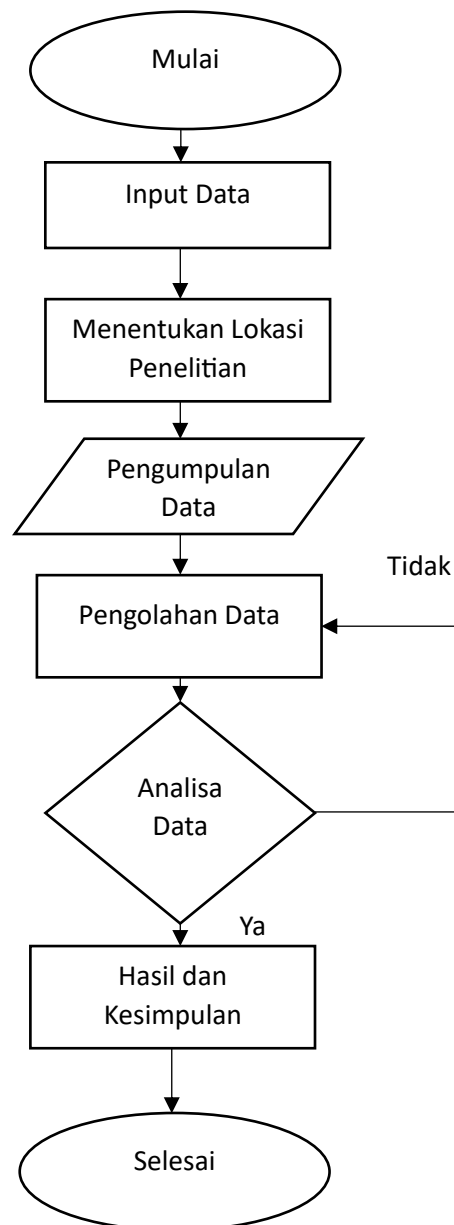
### 3.3 Jalannya Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisa kinerja *circuit breaker* (PMT) terhadap gangguan, data akan dikumpulkan dari laporan oprasional operator. Analisis statistik akan dilakukan untuk mengetahui gangguan-gangguan yang ada pada jalur distribusi gardu induk. Data yang diperoleh akan dianalisis secara manual untuk menemukan gangguan yang terjadi pada saluran distribusi.

Metode ini diharapkan dapat memberikan Gambaran yang jelas mengenai kinerja *circuit breaker* (PMT) pada sisi 20kv GI Glugur.

### 3.4 Alur Penelitian

Analisis Kinerja *Circuit breaker* (PMT) Pada Sisi 20 KV Gardu Induk Glugur terdiri dari beberapa proses yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data-data komponen Gardu Induk Glugur**

##### **1. Data Transformator Daya 3 (TD3)**

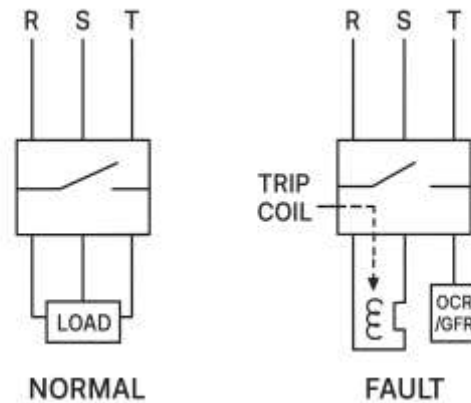
|    |                                |             |
|----|--------------------------------|-------------|
| 1  | MERK                           | UNINDO      |
| 2  | DAYA                           | 60 MVA      |
| 3  | TEGANGAN                       | 150/20 KV   |
| 4  | IMPEDANSI                      | 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 $\Omega$ |

##### **2. Data Relai Arus Lebih Sisi Penyulang 20 kV**

|   |               |                 |
|---|---------------|-----------------|
| 1 | Merk          | Schneider       |
| 2 | Type          | P142316A6M0448J |
| 3 | Nomor seri    | 36110909        |
| 4 | KARAKTERISTIK | Normal Invers   |
| 5 | Arus nominal  | 5A              |
| 6 | Tms           | 0,1             |
| 7 | Ratio CT      | 600/5A          |

#### 4.2 *circuit breaker* memutuskan sebuah rangkaian

*Circuit breaker* adalah saklar otomatis yang akan memutuskan aliran listrik bila terjadi gangguan (misalnya hubung singkat/short circuit atau arus lebih/overcurrent) pada saluran penyulang.



Gambar 4. 1 Diagram satu garis CB posisi normal dan trip

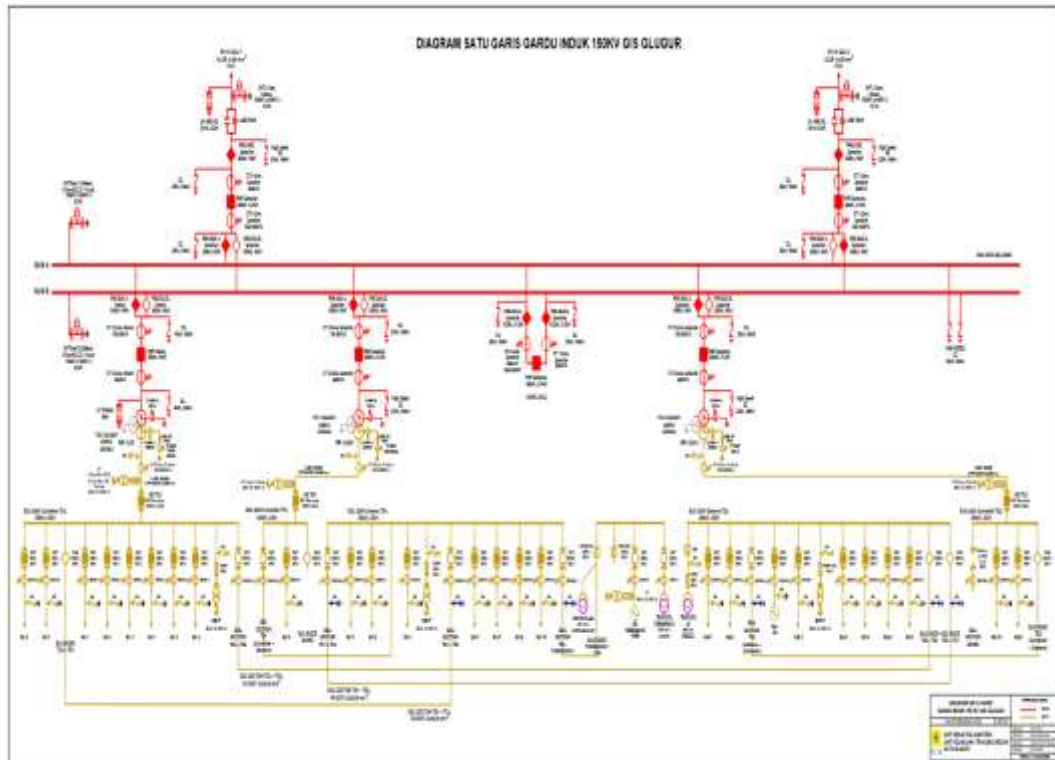
1. Deteksi gangguan, Gangguan terdeteksi oleh rele proteksi.
2. Pengiriman sinyal trip, Setelah mendeteksi gangguan, rele mengirim sinyal ke mekanisme trip *circuit breaker*; Mekanisme ini biasanya berupa koil trip.
3. Pemutusan arus, *Circuit breaker* membuka kontak utamanya, sehingga arus berhenti mengalir ke saluran yang mengalami gangguan.
4. Isolasi saluran terganggu, Saluran penyulang yang mengalami gangguan terpisah dari system dan Sistem lain tetap beroperasi normal.



Gambar 4. 2 CB Posisi Normal dan Trip pada Gardu Induk Glugur

### 4.3 Perhitungan dan Analisa Data

Berikut ini adalah gambar *Single Line Diagram* Gardu Induk Glugur yang digunakan untuk membantu proses perhitungan analisa data.



Gambar 4. 3 SLD Glugur

#### 4.3.1 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 20 KV gardu induk Glugur yang diperoleh adalah sebesar 1558,8 MVA.

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

### A. Impedansi Trafo

Besarnya nilai impedansi ( $Z_{base}$ ) adalah:

$$Z_{base} = \frac{V^2}{S} = \frac{20^2}{60} = \frac{400}{60} = 6,66 \Omega$$

$$Z_{trafo} = \frac{12,5}{100} \times 6,66 = 0,83 \Omega$$

### B. Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga tiga di Gardu Induk Glugur 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:

$$Xt_{(pada\ 100\%)} = \frac{Tegangan\ Transformator\ Daya\ 3\ (sisi\ 20KV)}{Daya\ Transformator\ Daya\ 3}$$

$$Xt_{(pada\ 100\%)} = \frac{20^2}{60} = 6,66 \Omega$$

Nilai reaktansi Transformator tenaga:

#### 1. Reaktansi urutan positif dan negative

( $X_{t1} = X_{t2}$ ) maka  $X_{t1} = X_{t2}$

$$= 12,50\% \times 6,66 = 0,83 \Omega$$

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

Karena transformator daya yang mensuplai penyulang GL1 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  $X_{t0} = 11 \times X_{t1} = 11 \times 0,83 = 9,13 \text{ Ohm}$ .

#### 3. Impedansi Penyulang

Dari data yang telah diperoleh, bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang GL1 hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu tipe NA2XSY dengan ukuran  $630 \text{ mm}^2$ . Dengan panjangnya penyulang yaitu sejauh 5,398 km. Berdasarkan IEC.502 besarnya nilai impedansi yang dimiliki oleh penghantar jenis XLPE dengan ukuran  $630 \text{ mm}^2$ , yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 (\text{XLPE } 630) &= (0,0349 + j0,43200 \Omega) \text{ Ohm / km} \times 5,398 \text{ km} \\ &= 0,18846 + j0,43200 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$Z_0 (\text{XLPE 630}) = (0,058 + j1,620) \text{ Ohm / km} \times 5,398 \text{ km} \\ = 0,313 + j1,620 \text{ Ohm}$$

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 negative

$Z_1 \& Z_2 = Z_1 \& Z_2 = (\text{XLPE 630}) \times \% \text{ asumsi jarak terjadinya gangguan maka di peroleh:}$

$$\text{pada jarak 25\%} = (0,18846 + j0,43200) \times 25 \% = 0,04712 + j0,10800 \Omega$$

$$\text{pada jarak 50\%} = (0,18846 + j0,43200) \times 50 \% = 0,09423 + j0,21600 \Omega$$

$$\text{pada jarak 75\%} = (0,18846 + j0,43200) \times 75 \% = 0,14135 + j0,32400 \Omega$$

$$\text{pada jarak 100\%} = (0,18846 + j0,43200) \times 100 \% = 0,18846 + j0,43200 \Omega$$

Tabel 4.1 Impedansi Penyulang Urutan Positif & Negatif

| Panjang (%) | Impedansi Penyulang ( $Z_1 \& Z_2$ ) |
|-------------|--------------------------------------|
| 25          | $0,04712 + j0,10800 \Omega$          |
| 50          | $0,09423 + j0,21600 \Omega$          |
| 75          | $0,09423 + j0,21600 \Omega$          |
| 100         | $0,18846 + j0,43200 \Omega$          |

b. Urutan Nol

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

$$Z_0 = Z_0(\text{XLPE630}) \times \% \text{ jarak terjadinya gangguan}$$

Maka di peroleh:

$$\text{pada jarak 25\%} = (0,313 + j1,620) \times 25 \% = 0,07825 + j0,40500 \Omega$$

$$\text{pada jarak 50\%} = (0,313 + j1,620) \times 50 \% = 0,15650 + j0,81000 \Omega$$

$$\text{pada jarak 75\%} = (0,313 + j1,620) \times 75 \% = 0,23475 + j1,21500 \Omega$$

$$\text{pada jarak 100\%} = (0,313 + j1,620) \times 100 \% = 0,313 + j1,620 \Omega$$

Tabel 4. 2 Impedansi Penyulang Urutan Nol

| Panjang (%) | Impedansi Penyulang ( $Z_0$ ) |
|-------------|-------------------------------|
| 25          | $0,07825+j0,40500 \Omega$     |
| 50          | $0,15650+j0,81000 \Omega$     |
| 75          | $0,23475+j1,21500 \Omega$     |
| 100         | $0,313 + j1,620 \Omega$       |

Menghitung impedansi ekivalin jaringan

$$Z_{1eq} \& Z_{2eq} = Z_{trafo} + Z_{penyulang}$$

Pada jarak 25% =  $0,83\Omega + (0,18846 + j0,43200) \times 25\% = 0,87712+j0,10800 \Omega$

Pada jarak 50% =  $0,83\Omega + (0,18846 + j0,43200) \times 50\% = 0,92423+j0,21600 \Omega$

Pada jarak 75% =  $0,83\Omega + (0,18846 + j0,43200) \times 75\% = 0,97135+j0,32400 \Omega$

Pada jarak 100% =  $0,83\Omega + (0,18846 + j0,43200) \times 100\% = 1,01846+j0,43200\Omega$

Tabel 4. 3 Impedansi Ekivalen

| Panjang (%) | Impedansi Ekivalen        |
|-------------|---------------------------|
| 25          | $0,87712+j0,10800 \Omega$ |
| 50          | $0,92423+j0,21600 \Omega$ |
| 75          | $0,97135+j0,32400 \Omega$ |
| 100         | $1,01846+j0,43200\Omega$  |

Menghitung impedansi ekivalen jaringan  $Z_{0eq}$

pada jarak 25 % =  $9,163+3 \times 0,31+(0,07825+j0,40500 \Omega) = 10,17125+j0,40500 \Omega$

pada jarak 50 % =  $9,163+3 \times 0,31+(0,15650+j0,81000 \Omega) = 10,24950+j0,81000 \Omega$

pada jarak 75 % =  $9,163+3 \times 0,31+(0,23475+j1,21500 \Omega) = 10,32775+j1,21500 \Omega$

pada jarak 100 % =  $9,163+3 \times 0,31+(1,01846+j0,43200\Omega) = 11,11146+j0,43200 \Omega$

Tabel 4. 4 Impedansi Ekivalen  $Z_{0eq}$ 

| Panjang (%) | Impedansi Ekivalen ( $Z_{0eq}$ ) |
|-------------|----------------------------------|
| 25          | $10,17125+j0,40500 \Omega$       |
| 50          | $10,24950+j0,81000 \Omega$       |



|     |                            |
|-----|----------------------------|
| 75  | $10,32775+j1,21500 \Omega$ |
| 100 | $11,11146+j0,43200 \Omega$ |

#### 4.3.2 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:

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

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

a. Titik gangguan pada jarak 25 % dari panjang penyulang:

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,87712+j0,10800 \Omega + 0,87712+j0,10800 \Omega + 10,17125+j0,40500 \Omega}$$

$$I = 2901 \text{ A}$$

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

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,92423+j0,21600 \Omega + 0,92423+j0,21600 \Omega + 10,24950+j0,81000 \Omega}$$

$$I = 2850 \text{ A}$$

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

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,97135+j0,32400 \Omega + 0,97135+j0,32400 \Omega + 10,32775+j1,21500 \Omega}$$

$$I = 2791,14 \text{ A}$$

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

$$I = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,01846+j0,43200 \Omega + 1,01846+j0,43200 \Omega + 11,11146+j0,43200 \Omega}$$

$$I = 2621,92 \text{ A}$$

Tabel 4. 5 Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

| Panjang % | Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah |
|-----------|----------------------------------------------|
| 25        | 2901 A                                       |
| 50        | 2850 A                                       |
| 75        | 2791,14 A                                    |
| 100       | 2621,92 A                                    |

#### 4.3.3 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:

$V$  = Tegangan fasa ke fasa

$Z$  = Impedansi ( $Z_1 + Z_2$ ) ekivalen

Jadi untuk perhitungan gangguan fasa ke fasa adalah sebagai berikut:

- a. Titik gangguan pada jarak 25% panjang penyulang:

$$I = \frac{20000}{(0,87712 + j0,10800 \Omega) + (0,87712 + j0,10800 \Omega)}$$

$$I = 11315,49 \text{ A}$$

- b. Titik gangguan pada jarak 50% panjang penyulang:

$$I = \frac{20000}{(0,92423 + j0,21600 \Omega) + (0,92423 + j0,21600 \Omega)}$$

$$I = 10535,91 \text{ A}$$

c. Titik gangguan pada jarak 75% panjang penyulang:

$$I = \frac{20000}{(0,97135+j0,32400 \Omega)+(0,97135+j0,32400 \Omega)}$$

$$I = 9765.99 \text{ A}$$

d. Titik gangguan pada jarak 100% panjang penyulang:

$$I = \frac{20000}{(1,01846+j0,43200 \Omega)+(1,01846+j0,43200 \Omega)}$$

$$I = 9039.19 \text{ A}$$

Tabel 4. 6 Arus Gangguan Hubungan Singkat Fasa ke Fasa

| PANJANG % | Arus Gangguan Hubungan Singkat Fasa ke Fasa |
|-----------|---------------------------------------------|
| 25        | 11315,49 A                                  |
| 50        | 10535,91 A                                  |
| 75        | 9765,99 A                                   |
| 100       | 9039,19 A                                   |

#### 4.2.4 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 = Tegangan Fasa - Netral

Z = Impedansi ( $Z_1$ ) ekivalen

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

a. Titik Gangguan Pada Jarak 25% Panjang Penyulang:

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,896 + j0,155 \Omega}$$

$$I = 12699,53 \text{ A}$$

b. Titik Gangguan Pada Jarak 50% Panjang Penyulang:

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,959 + j0,310\Omega}$$

$$I = 10460 \text{ A}$$

c. Titik Gangguan Pada Jarak 75% Panjang Penyulang:

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,022 + j0,465\Omega}$$

$$I = 10308,37 \text{ A}$$

d. Titik Gangguan Pada Jarak 100% Panjang Penyulang:

$$I = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1,086 + j0,620\Omega}$$

$$I = 9263,86 \text{ A}$$

Tabel 4. 7 Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

| PANJANG % | Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa |
|-----------|-------------------------------------------|
| 25%       | 12699,53 A                                |
| 50%       | 10460 A                                   |
| 75%       | 10308,37 A                                |
| 100%      | 9263,86 A                                 |

#### 4.4 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.

## **4.5 Perhitungan Settingan Relay**

### **4.5.1 Settingan Relay Arus Lebih Penyulangan 20 KV**

### **4.5.2 Setelan Relai Arus Gangguan Tanah Penyulang 20 kV**

## **4.6 Pemeriksaan Waktu Kerja Relai**

## **4.7 Analisa Waktu Kerja Relai**

## **4.8 Perbandingan Hasil Waktu Kerja Relai**

## **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 Glugur 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, 0.299, 0.300, dan 0.300 detik. Untuk gangguan arus hubung singkat 2 fasa yang terjadi pada 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang = 0.319, 0.335, 0.356, dan 0.378 detik. Untuk gangguan arus 3 fasa pada 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang 0.299, 0.327, 0.33, dan 0.348 detik. Dari hasil di atas 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 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.

## 5.2 Saran

Lebih baik jika seluruh Gardu Induk mengikuti Gardu Induk Glugur 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

- Aland, A., Saghawari, R., Tumaliang, H., Tulung, N., Elektro, J. T., Sam, U., Manado, R., & Bahu, J. K. (2022). *Analisa Kinerja Circuit breaker Saat Gangguan Pada Sisi 70 KV Di Gardu Induk Teling*. 6, 1–8.
- Azis, A., & Febrianti, I. K. (2019). Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang. *Jurnal Ampere*, 4(2), 332. <https://doi.org/10.31851/ampere.v4i2.3468>
- Darmana, T., Yuliansyah, W., & SN, W. (2015). Arus Hubung Singkat Diamankan Oleh Pengaruh Kecepatan Pmt. *Jurnal Sutet*, 5(2), 85–90.
- Dermawan, E., & Nugroho, D. (2017). Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka. *Jurnal Elektum*, 14(2), 43–48.  
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/view/1737/1464>
- Faidhal Anwar Limbong, M., Gianto, R., Studi Teknik Elektro, P., & Teknik Elektro, J. (2019). *Evaluasi Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Di Gardu Induk Ngabang*. 1–9.
- Hajar, I. (2017). Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi HV Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168–179.
- Hendriyadi. (2017). Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi di Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1, 7.
- Lestari, N., Suwanto, H., & Gunawan, R. (2020). Sistem Pemantauan Kubikel Tegangan Menengah Berbasis Internet of Things. *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 5(1), 37–42.  
<https://doi.org/10.32897/infotronik.2020.5.1.5>
- Lisi F, Lisi F, & Silimang S. (2018). Analisa Perhitungan Kapasitas dan Pemilihan *Circuit breaker*(CB) pada Penyulang Gardu Induk Paniki Sistem Minahasa. *Teknik Elektro*, 7(1), 1–8.



- Maisyarah, L. (2019). Analisis Hubung Singkat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 Kv ( Studi Kasus Pada Penyulang Lg 02 Pt Pln ( Persero ) Rayon. *Jurnal Energi Elektrik*, 08(1), 25–31.
- Mangkuto, R. A., Rahmaniah, F., Tasya, N. H., & Pinasthika, D. (2019). Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri. *Jl. Ganesha*, 8(3), 18–27.
- Ondrialdi, R., Situmeang, U., & Zulfahri. (2020). Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang. *SainETIn*, 4(2), 72–81. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v4i2.6288>
- Setiono, I. (2018). Gas SF 6 (Sulfur Hexa Fluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi. *Metana*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.14710/metana.v13i1.14676>
- Sulistiono, A., & Kiswantono, A. (n.d.). *Analisa Simulasi Gangguan Hubung Singkat Dan Breaking Capacity Circuit breaker Menggunakan Software Etap 12.6.0*. 619–622.
- Teknologi, J., & Uda, E. (2020). Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20Kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan Pt. Pln (Persero) Ulp Medan Baru. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 8–19.
- Yusniati, Sahnur Nasution, E., & Indra Pangestu, R. (2019). ANALISIS KINERJA *CIRCUIT BREAKER* PADA SISI 150 kV GARDU INDUK LAMHOTMA. *Semnastek Uisu*, 77–82.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



|                            |                                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Nama                       | : Ilham Nuari                                                        |
| Tempat, Tanggal Lahir      | : Rambahan Baru, 10 Januari 2002                                     |
| Jenis Kelamin              | : Laki-laki                                                          |
| Umur                       | : 23 Tahun                                                           |
| Agama                      | : Islam                                                              |
| Tinggi Badan / Berat Badan | : 168 cm / 56 kg                                                     |
| Status                     | : Belum Menikah                                                      |
| Kewarganegaraan            | : Indonesia                                                          |
| Alamat                     | : Jl. Siliwangi Gg. Mukmin                                           |
| No. HP                     | : 082171976524                                                       |
| Email                      | : <a href="mailto:ilhamnuari39@gmail.com">ilhamnuari39@gmail.com</a> |

### Latar Belakang Pendidikan:

|                                                            |              |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| TK Bina Insani                                             | :2007 - 2008 |
| SDN 020 Jayamukti                                          | :2008 - 2014 |
| SMPN 14 Dumai                                              | :2014 - 2017 |
| SMKN 2 Dumai                                               | :2017 - 2020 |
| Universitas Muhammadiyah<br>Sumatera Utara, Teknik Elektro | :2020 - 2025 |