



universitas  
MALIKUSSALEH

**ANALISA PENGGUNAAN RELE DIFERENSIAL DAN  
RELE *OVERCURRENT* SEBAGAI PROTEKSI PADA  
TRANSFORMATOR *STEP UP* DI UNIT 3 PLTU  
PANGKALAN SUSU**

**TUGAS AKHIR**

**Karya Ilmiah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang  
strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,  
Universitas Malikussaleh**

**Oleh:**

**Mhd. Dwi Al Hamda**

**190150015**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Analisa Penggunaan Rele Diferensial dan Rele  
*Overcurrent* Sebagai Proteksi Pada Transformator  
*Step Up* di Unit 3 PLTU Pangkalan Susu

Nama Mahasiswa : Mhd. Dwi Al Hamda  
NIM : 190150015  
Program Studi : S1 Teknik Elektro  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh  
Pembimbing Utama : Muhammad, S.T., M.Sc.  
Ketua Penguji : Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T.  
Anggota Penguji : Dedi Fariadi, S.T., M.Pd

Lhokseumawe, 23 Januari 2024

Penulis,



**Mhd. Dwi Al Hamda**

NIM 190150015

Menyetujui:

Pembimbing Utama,



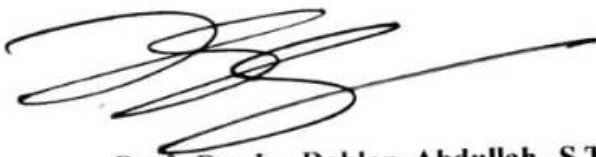
**Muhammad, S.T., M.Sc.**

NIP 197012312002121002

Mengetahui:

Ketua Jurusan,

Koordinator Program Studi,



**Prof. Dr. Ir. Dahlan Abdullah, S.T.,**

**M.Kom, IPU., ASEAN Eng.**

NIP 197602282002121005



**Misbahul Jannah, S.T., M.T.**

NIP 197705062005012003

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mhd. Dwi Al Hamda  
NIM : 190150015

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari skripsi, buku, atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri. Apabila ternyata terdapat dalam skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh hak gelar kesarjanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 23 Januari 2024

Saya yang membuat pernyataan,



Mhd. Dwi Al Hamda  
NIM. 190150015

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT., yang maha pengasih lagi maha penyayang atas limpahan karunia, rahmat, nikmat serta hidayahnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Analisa Penggunaan Rele Diferensial dan Rele *Overcurrent* Sebagai Proteksi Pada Transformator *Step Up* di Unit 3 PLTU Pangkalan Susu”.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai macam pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Idola penulis, Rasulullah SAW yang telah menyempurnakan akhlak dan atas kisah-kisahnyanya yang selalu menginspirasi penulis.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Turmizi dan Ibu Rafe'ah, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup penulis. Terimakasih atas doa, cinta, kasih sayang, kepercayaan dan segala bentuk yang telah diberikan, sehingga penulis merasa terdukung di segala aspek kehidupan penulis, serta tanpa lelah mendengar keluh kesah penulis hingga di titik ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, M.T., IPM., ASEAN Eng selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Dr. Muhammad Daud, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Dahlan Abdullah, S.T., M.Kom, IPU., ASEAN Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Malikussaleh
6. Ibu Misbahul Jannah, S.T., M.T selaku Kaprodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
7. Bapak Muchlis Abd Muthalib, S.T., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing akademik penulis.
8. Bapak Muhammad, S.T., M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya yang sudah membimbing saya selama ini hingga menyelesaikan tugas akhir saya.

9. Ibu dan Bapak Dosen dan Seluruh Staff Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan membantu peneliti dalam segala hal selama di bangku perkuliahan.
10. Kakak kandung penulis, Dian Utari yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
11. Kepada diri penulis sendiri, terima kasih sudah berjuang dan bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap menjadi manusia yang selalu mau berusaha dan tidak lelah mencoba. Berbahagialah selalu dimanapun berada dan selalu memberi warna kepada semua yang ada di dalam hidup.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Peneliti menyadari bahwa tugas akhir ini terdapat banyak sekali kekurangan dan sangat jauh dari kata sempurna karena adanya keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk melakukan perbaikan di penelitian ilmiah lainnya.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi penulis serta pembaca pada umumnya.

Bukit Indah, 23 Januari 2024  
Penulis

Mhd. Dwi Al Hamda  
NIM.190150015

# **Analisa Penggunaan Rele Diferensial dan Rele *Overcurrent* Sebagai Proteksi Pada Transformator *Step Up* di Unit 3 PLTU Pangkalan Susu**

## **ABSTRAK**

Komponen utama pada penyaluran energi listrik yaitu transformator, yang berfungsi untuk menstranformasikan daya dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya agar rugi-rugi yang terjadi selama proses penyaluran tenaga listrik dapat diminimalisir untuk selanjutnya disalurkan ke konsumen. Gangguan-gangguan pada transformator sewaktu-waktu dapat terjadi, oleh sebab itu diperlukan pengamanan-pengamanan yang dipergunakan sesuai dengan kebutuhannya untuk kelancaran operasional suatu sistem tenaga listrik. Proteksi tenaga listrik merupakan suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang berfungsi untuk menghindari kerusakan dari peralatan dan untuk menjaga stabilitas penyaluran tenaga listrik. Pada pengamanan transformator diperlukan setting rele yang tepat. Dengan setting rele yang tepat maka tidak akan ada kesalahan dalam kinerja proteksi dan proteksi akan bekerja dengan baik serta meningkatkan keandalan jaringan transmisi dan distribusi listrik. Pengumpulan data sekunder dilakukan pada PT Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. Data-data yang diperlukan meliputi data transformator daya dan data parameter rele diferensial serta rele overcurrent yang ada di PT Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. Pengolahan data ini dilakukan dengan melakukan perhitungan secara manual untuk perhitungan rasio CT, *Error mismatch*, arus *restrain*, *percent slope*, nilai setting rele diferensial, nilai setting rele overcurrent, dan perhitungan nilai arus di sisi primer dan sekunder Generator Transformator di PT. Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. Hasil yang didapat dari perhitungan nilai arus setting diferensial adalah 0,0938 A, tetapi pada setting rele diferensial dibuat 0,3 A yang berarti kinerja rele difrensial sudah bagus karena tidak melebihi arus setting yang sudah ditetapkan. Hasil perbandingan waktu trip gangguan *overcurrent* di sisi incoming adalah sebesar 0,108 detik dan sisi outgoing adalah sebesar 0,109 detik dan tidak melebihi waktu trip gangguan di lapangan yang artinya tingkat akurasi rele overcurrent sudah baik.

**Kata Kunci:** Transformator daya, sistem proteksi, rele diferensial, *rele overcurrent*

# **Analysis of the Use of Differential Relays and Overcurrent Relays as Protection for Step Up Transformers in Unit 3 of PLTU Pangkalan Susu**

## **ABSTRACT**

The electrical system is the main component in energy distribution, namely the transformer, which functions to transform power from low voltage to high voltage or vice versa so that losses that occur during the process of distributing electric power can be minimized for further distribution to consumers. Disturbances in the transformer can occur at any time, therefore safeguards are needed that are used according to their needs for the smooth operation of an electric power system. Electrical power protection is a form of protection for electrical equipment that functions to avoid damage to the equipment and to maintain the stability of electric power distribution. To protect the transformer, proper relay settings are required. With the correct relay settings, there will be no errors in protection and the protection will work well and improve network transmission and electricity distribution. Secondary data collection was carried out at PT Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. The data required includes power transformer data and differential relay parameter data and overcurrent relays at PT Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. This data processing is carried out by carrying out manual calculations to calculate the CT ratio, error mismatch, retaining current, percent slope, differential relay setting value, overcurrent relay setting value, and calculating the current value on the primary and secondary sides of the Transformer Generator at PT. Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. The results obtained from calculating the differential setting current value were 0.0938 A, but the differential relay setting was made at 0.3 A, which means that the performance of the differential relay was good because it did not exceed the predetermined current setting. The results of the comparison of the trip fault time. The overcurrent on the inlet side is 0.108 seconds and on the outlet side is 0.109 seconds and does not exceed the trip fault time in the field, which means that the level of accuracy relevant to the overcurrent is good.

**Keywords:** Power transformer, protection system, differential relay, overcurrent relay

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penulisan .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penulisan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik .....	7
2.2.2 Sistem Transmisi .....	8
2.2.3 Sistem Distribusi Listrik .....	9
2.3 Transformator Daya .....	9
2.3.1 Prinsip Kerja Transformator .....	10
2.3.2 Transformator 3 Fasa .....	11
2.3.3 Bagian-bagian Transformator .....	15
2.4 Transformator Arus .....	19
2.4.1 Rasio Transformator Arus .....	20
2.4.2 <i>Error Mismatch</i> .....	21



2.4.3 Arus Sekunder Current Transformator (CT).....	21
2.5 Sistem Proteksi.....	22
2.6 Rele Proteksi .....	22
2.6.1 Prinsip Kerja Rele Proteksi .....	22
2.7 Gangguan pada Transformator Daya .....	23
2.7.1 Gangguan di Luar Daerah Pengaman .....	24
2.7.2 Gangguan di Daerah Pengaman .....	24
2.8 Rele Diferensial.....	24
2.8.1 Fungsi Rele Diferensial.....	25
2.8.2 Sifat Pengaman Rele Diferensial .....	25
2.8.4 Prinsip Kerja Rele Diferensial .....	26
2.8.5 Pemasangan Rele Diferensial.....	28
2.8.6 Arus Nominal Primer dan Sekunder .....	28
2.8.7 Setting Kerja Rele Diferensial .....	29
2.9 Rele <i>Overcurrent</i> (Arus Lebih) .....	30
2.9.1 Prinsip Kerja Rele <i>Overcurrent</i> .....	30
2.9.2 Macam-macam Karakteristik Rele <i>Overcurrent</i> .....	30
2.9.3 Setelan Rele <i>Overcurrent</i> .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	34
3.2 Tahapan Penelitian .....	34
3.2.1 Studi Literatur .....	34
3.2.2 Observasi/Pengumpulan Data .....	34
3.2.3 Wawancara .....	34
3.2.4 Pengolahan Data.....	35
3.2.5 Bimbingan .....	35
3.3 Data Penelitian .....	36
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Perhitungan Matematis Rele Diferensial.....	39
4.1.1 Perhitungan Nilai Rasio CT .....	39
4.1.2 Perhitungan <i>Error Mismatch</i> .....	40
4.1.3 Perhitungan Nilai Arus Sekunder CT .....	41

4.1.4 Perhitungan Nilai Arus Diferensial .....	42
4.1.5 Perhitungan Nilai Arus Restrain (Penahan) .....	42
4.1.6 Perhitungan <i>Percent Slope</i> (Setting Kecuraman).....	42
4.1.7 Perhitungan Nilai Arus Setting (Iset).....	43
4.1.8 Perhitungan Gangguan Pada Transformator Daya.....	43
4.2 Perhitungan Matematis Rele <i>Overcurrent</i> .....	45
4.2.1 Perhitungan Waktu Kerja Rele <i>Overcurrent</i> .....	45
4.3 Koordinasi Setting OCR antara Primer dan Sekunder .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN A: GAMBAR .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN B: DATA .....</b>	<b>56</b>
<b>BIODATA .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data Transformator Step Up Unit 3 .....	36
Tabel 3.2 Data Rasio CT .....	37
Tabel 3.3 Data OCR pada Sisi Primer .....	37
Tabel 3.4 Data OCR pada Sisi Sekunder .....	37
Tabel 4.1 Hasil Hitung Ratio CT di Sisi 15,75 kV .....	44
Tabel 4.2 Hasil Hitung Ratio CT di Sisi 275 kV .....	44
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus dan Setting Rele Diferensial .....	44

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.2 Overhead Lines atau SUTET .....	9
Gambar 2.3 Rangkaian Trafo .....	10
Gambar 2.4 Trafo Hubungan Bintang-bintang .....	12
Gambar 2.5 Trafo Hubungan Delta Delta .....	13
Gambar 2.6 Trafo Hubungan Delta Bintang .....	14
Gambar 2.7 Trafo Hubungan Zig-zag .....	14
Gambar 2.8 Inti Besi Transformator .....	15
Gambar 2.9 Kumparan Transformator .....	16
Gambar 2.10 Bushing Transformator .....	16
Gambar 2.11 Silica Gel .....	18
Gambar 2.12 Konservator .....	19
Gambar 2.13 Transformator arus .....	19
Gambar 2.14 Kurva kejenuhan untuk pengukuran dan proteksi.....	20
Gambar 2.15 Prinsip Kerja Rele Proteksi .....	23
Gambar 2.16 Rele Diferensial Dalam Keadaan Normal .....	27
Gambar 2.17 Gangguan di Luar Daerah Proteksi .....	27
Gambar 2.18 Gangguan di Dalam Daerah Proteksi .....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar 3.2 One Line Diagram Trafo Step Up Unit 3.....	38
Gambar 4.1 Grafik perbandingan waktu kerja rele .....	47

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan adalah komponen utama pada penyaluran energi listrik yaitu transformator, yang berfungsi untuk menstranformasikan daya dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya agar rugi rugi yang terjadi selama proses penyaluran tenaga listrik dapat diminimalisir untuk selanjutnya disalurkan ke konsumen. Gangguan-gangguan pada transformator sewaktu-waktu dapat terjadi, oleh sebab itu diperlukan pengamanan-pengamanan yang dipergunakan sesuai dengan kebutuhannya untuk kelancaran operasional suatu sistem tenaga listrik.

Proteksi tenaga listrik merupakan suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang berfungsi untuk menghindari kerusakan dari peralatan dan untuk menjaga stabilitas penyaluran tenaga listrik [1]. Tujuan dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan yang terjadi dan memisahkan bagian yang terkena gangguan dari bagian yang tidak terkena gangguan serta mengamankannya dari kerusakan yang lebih besar. Sistem proteksi dikatakan berfungsi dengan baik jika memenuhi persyaratan yaitu andal, selektif, peka, dan cepat [2]. Di dalam pola pengamanan transformator terdapat bermacam-macam rele dengan fungsi yang berbeda antara lain *Overcurrent Relay*, *Differential Relay*, *Over Voltage Relay*, *Ground Fault Relay*.

Salah satu proteksi yang paling penting pada transformator ialah rele diferensial. Relay diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar. Ketika terjadi perbedaan maka relay akan mendeteksi adanya gangguan dan menginstruksikan PMT untuk membuka (trip) apabila terjadi perbedaan. Relay diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan yang lain, sehingga kerja relay ini memerlukan waktu yang cepat. Penyetelan pada relai harus disesuaikan dengan parameter karakteristik arus kerja pada relai, arus penahan (arus restrain), kesalahan pembacaan antara arus primer dan sekunder (*error mismatch*), percentage slope pada relai dan pertimbangan arus eksitasi pada trafo [3]

Selain Rele Diferensial, di dalam sistem pengamanan transformator terdapat juga Rele *Overcurrent*. Rele *Overcurrent* adalah rele yang bekerja saat mengalami arus lebih yang disebabkan baik oleh gangguan arus hubung singkat atau *overload* (beban lebih). Saat terjadi arus lebih rele akan menerima sinyal dan sinyal ini akan mengaktifkan PMT untuk memutus arus di jaringan.

Pada pengamanan transformator diperlukan setting rele yang tepat. Dengan setting rele yang tepat maka tidak akan ada kesalahan dalam kinerja proteksi dan proteksi akan bekerja dengan baik serta meningkatkan keandalan jaringan transmisi dan distribusi listrik.

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik untuk mengetahui dan melakukan analisa terhadap penggunaan rele diferensial dan rele *overcurrent* sebagai pengaman transformator *step up*. Oleh sebab itu, penulis mengangkat judul tugas akhir “Analisa Penggunaan Rele Diferensial dan Rele *Overcurrent* Sebagai Proteksi Pada Transformator *Step Up* di Unit 3 PLTU Pangkalan Susu”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja rele diferensial dan rele *overcurrent* pada transformator *step up* sesuai setting hasil perhitungan di Unit 3 PLTU Pangkalan Susu?
2. Bagaimana tingkat akurasi penggunaan rele diferensial dan rele *overcurrent*?

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Dari latar belakang dan rumusan masalah di atas yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa kinerja rele difrensial dan rele *overcurrent* sebagai rele proteksi pada transformator.
2. Mengetahui tingkat akurasi penggunaan rele diferensial dan rele *overcurrent*.

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan hanya menganalisa kinerja dan pengamanan yang dilakukan rele diferensial dan rele *overcurrent*.
2. Pembahasan hanya menganalisa tingkat akurasi dari rele diferensial dan rele *overcurrent* dalam memproteksi gangguan.

#### 1.5 Manfaat Penulisan

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi masyarakat, ilmu pengetahuan dan Universitas yaitu:

- a. Manfaat bagi masyarakat  
Mengurangi gangguan sehingga penyaluran energi listrik untuk masyarakat tidak terganggu.
- b. Manfaat bagi ilmu pengetahuan  
Memberikan pemecahan masalah bagi ilmu pengetahuan dalam pengaturan proteksi rele diferensial dan rele *overcurrent* dalam memproteksi gangguan.
- c. Manfaat bagi universitas  
Menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh penulisan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

- BAB I PENDAHULUAN  
Bab ini membahas tentang gambaran umum mengenai tugas akhir yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- BAB II TINJAUAN PUSTAKA  
Bab ini membahas tentang gambaran umum teori transformator, serta landasan teori proteksi rele diferensial dan rele *overcurrent*.

- **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai riset yang berkaitan dengan data serta konsep tugas akhir secara keseluruhan.

- **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang pembahasan dari data yang diperoleh serta membahas tentang perhitungan matematis.

- **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulisan tugas akhir ini



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Transformator adalah suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dan digunakan untuk memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa merubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti motor atau generator. Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder [2].

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari sistem tenaga listrik. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat [4].

Di dalam pola pengamanan transformator tenaga terdapat bermacam-macam rele antara lain *Overcurrent Relay*, *Ground Fault Relay*, *Over Load Relay*, dan *Differential Relay*. Karena pentingnya peran rele dalam sebuah sistem proteksi maka harus memenuhi syarat antara lain sensitivitas, selektifitas, kehandalan, dan kecepatan. *Differential relay* adalah alat listrik yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan pada daerah pengamanan internal transformator tenaga yang menyebabkan perbedaan nilai arus pada *Current Transformer* sisi primer dan sisi sekunder [5].

Rele proteksi ialah susunan dari peralatan yang difungsikan agar dapat merasakan atau mengukur ketika terjadi gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada suatu peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik,

pengaman akan secara otomatis memberi perintah untuk memutuskan dan memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang mengalami gangguan, serta memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan melakukan pengukuran atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian bekerja secara seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga [1].

Untuk dapat menjalankan fungsinya tersebut, relai proteksi harus memiliki setting yang baik. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan evaluasi setting relai proteksi generator dan trafo generator agar dapat diketahui kelayakan dari setting relai tersebut. Selain melakukan evaluasi setting relai, koordinasi antar relai juga sangat penting. Relai-relai proteksi pada generator dan trafo generator bekerja saling berkoordinasi dalam mendeteksi gangguan dan mengisolasi gangguan tersebut. Untuk menjaga dan meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan suatu studi terhadap koordinasi rele pengaman yang terpasang [6].

Saluran transmisi listrik merupakan suatu sistem yang kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah – ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segera diantisipasi. Dalam hubungannya dengan sistem proteksi/pengaman suatu sistem transmisi, perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki arti yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Gangguan pada saluran transmisi merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Diantara gangguan tersebut yang umum terjadi adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah [7].

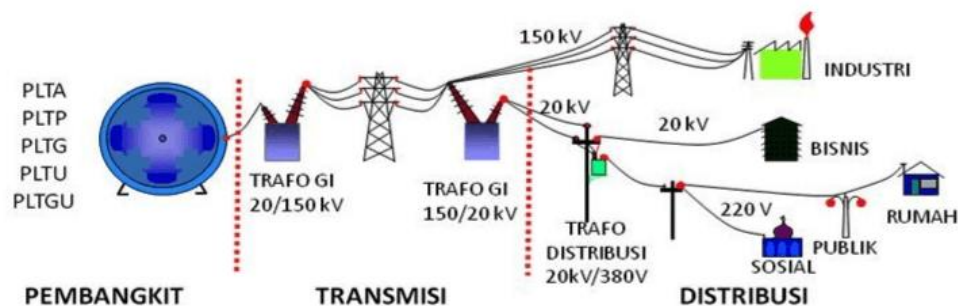
## **2.2 Sistem Tenaga Listrik**

Suatu sistem kelistrikan umumnya memiliki beberapa pusat pembangkit yang terdiri pusat pembangkit listrik tenaga air, pusat pembangkit listrik tenaga uap, pusat pembangkit listrik tenaga disel dan jenis pusat pembangkit lainnya. Semua

unit pembangkit yang ada tersebut terhubung satu sama lain melalui jaringan transmisi untuk mensuplai kebutuhan listrik bagi para konsumen [8].

Sistem tenaga listrik secara umum, sumber listrik berasal dari pembangkit tenaga listrik. Lokasi pembangkit listrik umumnya berada jauh dari sumber beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik yang telah dibangkitkan harus disalurkan melalui sistem transmisi. Energi listrik yang dibangkitkan tegangannya akan dinaikkan menggunakan transformator penaik tegangan untuk kemudian disalurkan melalui sistem transmisi menuju Gardu Induk untuk kemudian dapat disalurkan ke sumber beban.

Sistem tenaga listrik adalah kumpulan atau gabungan dari komponen-komponen atau alat-alat listrik yang saling berhubungan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem, peralatan-peralatan listrik yang dimaksud adalah generator, transformator, bus-bar, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban [9]. Adapun suatu sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

### 2.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Secara umum pembangkit tenaga listrik dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu pembangkit listrik termis dan pembangkit listrik non termis. Pembangkit listrik termis mengubah energi panas menjadi energi listrik. Panas tersebut bisa dihasilkan oleh panas bumi, minyak, uap dan yang lainnya.

Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda-beda, sesuai dengan penggerak mulanya. Satu hal yang sama dari

beberapa jenis pembangkit tenaga listrik yaitu semuanya sama-sama berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan cara mengubah potensi energi mekanik, menggerakkan atau memutar turbin yang porosnya dikopel dengan generator, selanjutnya dengan sistem pengaturannya generator tersebut akan menghasilkan daya Listrik.

### **2.2.2 Sistem Transmisi**

Sistem transmisi listrik merupakan sistem yang berfungsi untuk mengalirkan listrik dari pembangkit ke gardu listrik utama (*main substation*). Umumnya, pembangkit listrik dan substation terpisah dengan jarak yang cukup jauh, berkisar antara 300 km hingga 3000 km. Akibatnya, panjangnya jarak tersebut dapat berdampak pada besarnya rugi-rugi listrik, salah satunya adalah disipasi panas. Salah satu cara untuk meminimalisir besarnya rugi-rugi listrik saat proses penyaluran adalah dengan memperbesar tegangan listrik. Pada sistem transmisi listrik, tegangan listrik mencapai 550 kV.

Listrik yang dihasilkan oleh generator biasanya memiliki tegangan sebesar 15 kV hingga 25 kV. Tegangan ini terbilang rendah untuk dapat ditransmisikan dalam jarak yang sangat jauh. Dua parameter yang menentukan daya listrik adalah tegangan dan arus seperti pada persamaan:  $\text{Daya} = \text{Tegangan} \times \text{Arus}$ . Dengan demikian, dengan nilai daya tertentu, apabila tegangan rendah, maka arus listrik tinggi. Tingginya arus listrik akan berdampak pada besarnya kerugian listrik saat melalui sistem transmisi, karena kuadrat arus proporsional dengan energi yang terdisipasi dalam bentuk panas. Dengan demikian, listrik yang keluar dari generator akan ditingkatkan tegangannya dengan menggunakan transformator. Ketika tegangan Listrik sudah cukup tinggi, kemudian listrik ditransmisikan melalui *overhead lines* atau yang dikenal dengan sebutan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 *Overhead Lines* atau SUTET

### 2.2.3 Sistem Distribusi Listrik

Sistem distribusi listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik, ini merupakan proses membawa listrik dari sistem transmisi listrik menuju ke konsumen listrik. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan transmisinya dengan menggunakan trafo. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah;

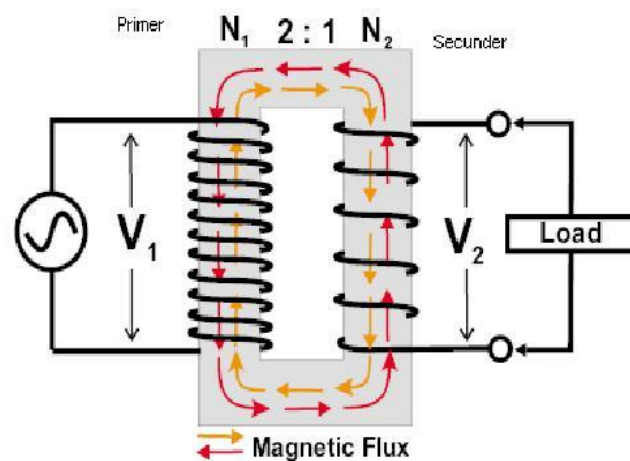
- a. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan),
- b. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringandistribusi.

### 2.3 Transformator Daya

Transformator daya ialah suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri dari kumparan dan satu induktansi *mutual*. Kumparan primer ialah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.

### 2.3.1 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator didasarkan oleh prinsip induksi elektromagnetik. Trafo menggunakan kumparan kawat, yang jika dialiri arus bolak-balik maka akan menciptakan induksi elektromagnetik. Artinya, arus listrik pada kawat melingkar menghasilkan medan magnet. Inti besi tempat melilitnya kumparan kawat meningkatkan medan magnet yang dihasilkan dari induksi. Arus listrik AC yang bolak-balik menghasilkan fluks yang terus berubah. Fluks bolak-balik tersebut memengaruhi kumparan sekunder dan menghasilkan gaya gerak listrik juga arus listrik yang dijelaskan oleh Hukum Faraday. Adapun rangkaian pada trafo seperti pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Rangkaian Trafo

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$V_p$  = tegangan primer (V)

$V_s$  = tegangan sekunder (V)

$N_p$  = jumlah lilitan primer

$N_s$  = jumlah lilitan sekunder

$I_p$  = Arus Primer

$I_s$  = Arus Sekunder

### 2.3.2 Transformator 3 Fasa

Pada dasarnya transformator tiga fasa ini terdiri dari tiga buah transformator satu fasa dengan tiga buah teras besi yang dipasang pada satu kerangka. Dari tiga teras besi ini ditempatkan masing-masing sepasang kumparan yakni kumparan primer dan kumparan sekunder [10].

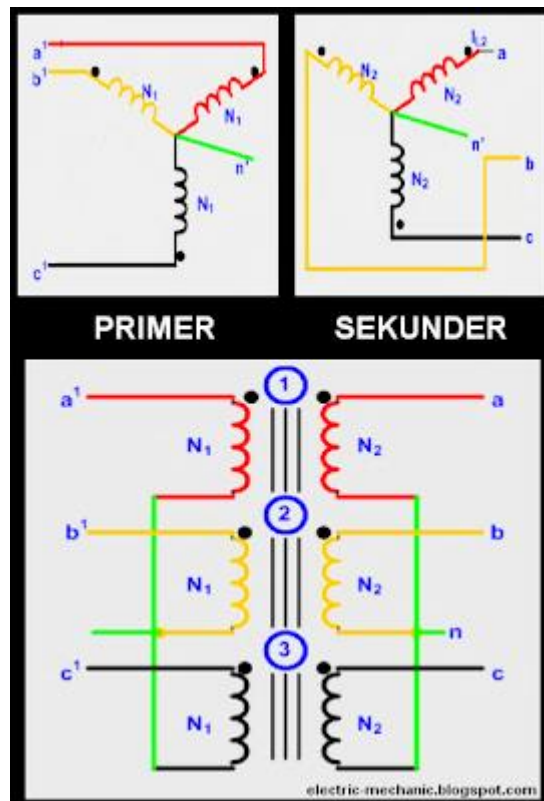
Transformator tiga fasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu fasa, perbedaan yang paling mendasar ialah pada system kelistrikannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Sehingga sebuah transformator tiga fasa dapat dihubungkan secara Bintang, segitiga, atau zig-zag.

Transformator tiga fasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Transformator tiga fasa sangat banyak mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya bisa dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan rating daya yang sama.

Tetapi transformator tiga fasa memiliki kekurangan, diantaranya adalah bila salah satu fasa mengalami kerusakan, maka seluruh transformator harus dipindahkan (diganti), tetapi bila transformator mengalami kerusakan. Sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem open delta.

#### 1. Hubungan Bintang-bintang (Y-Y)

Pada jenis ini ujung-ujung pada masing-masing terminal dihubungkan secara bintang. Titik netral dijadikan menjadi satu. Hubungan dari tipe ini lebih ekonomis untuk arus nominal yang kecil pada trafo tegangan tinggi seperti pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Trafo Hubungan Bintang-bintang

Sisi Primer:

$$V_{ph1} = V_{L1} \text{ Volt}$$

$$I_{L1} = I_{ph1}$$

Sisi Sekunder:

$$V_{ph2} = V_{L2} \text{ Volt}$$

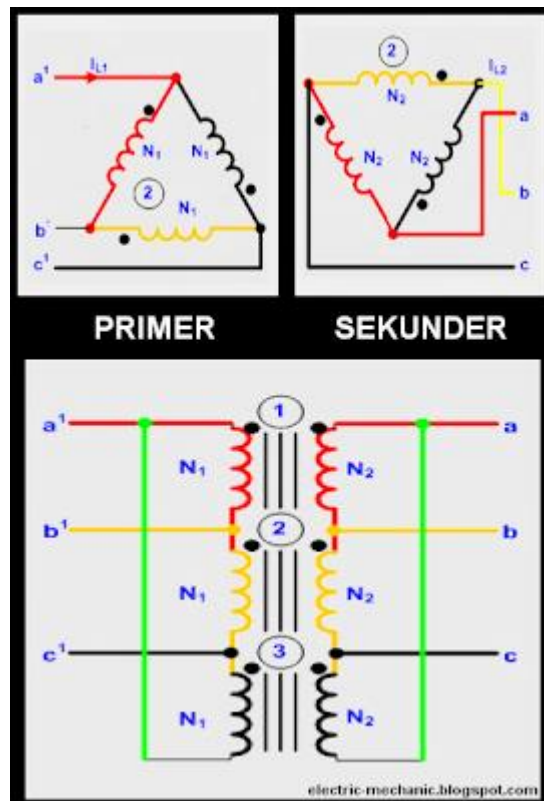
$$I_{L2} = I_{ph}$$

$$K = V_{ph2}/V_{ph1}$$

## 2. Hubungan Delta-delta

Pada jenis trafo ini ujung fasa dihubungkan dengan ujung netral kumparan lain yang secara keseluruhan akan berbentuk hubungan delta. Hubungan ini biasanya digunakan pada sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah dan yang paling utama saat keberlangsungan dari pelayanan harus dipelihara meskipun salah satu fasa mengalami kegagalan seperti pada Gambar 2.5 berikut ini.





Gambar 2.5 Trafo Hubungan Delta Delta

Perhitungan pada hubung delta:

Sisi Primer:

$$V_{L2} = V_{ph1} \text{ Volt}$$

$$I_{L2} = 3 I_p$$

Sisi Sekunder:

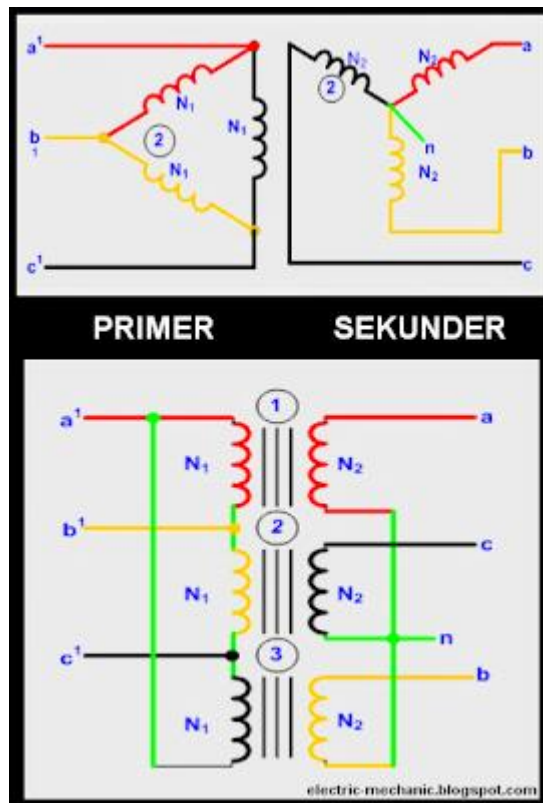
$$V_{L2} = V_{ph2} \text{ Volt} \quad I$$

$$L_2 = I_{ph2}$$

$$K = V_{ph2}/V_{ph1}$$

### 3. Hubungan Delta-Bintang

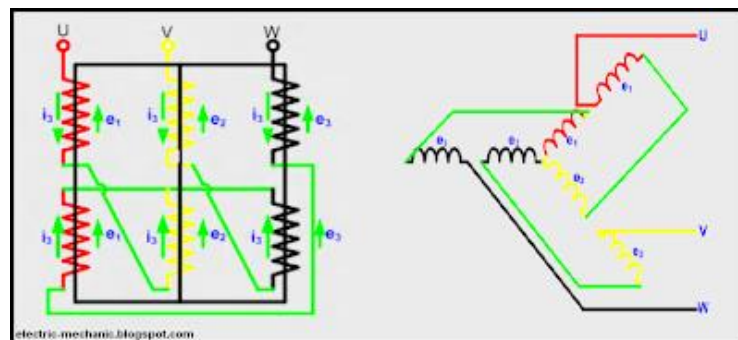
Pada hubugna ini, kumparan pada sisi primer dirangkai secara Bintang dan sisi sekundernya dirangkai delta seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Trafo Hubungan Delta Bintang

#### 4. Hubungan Zig-zag

Pada hubungan ini, sisi primer trafo dirangkai secara delta sedangkan sisi sekunder terdapat titik netral. Biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan pada awal sistem transmisi tegangan tinggi. Pada hubungan ini perbandingan tegangan 3 kali perbandingan lilitan trafo dan tegangan sekundernya mendahului sebesar 30 dari tegangan primernya. Rangkaian hubungan zig-zag dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



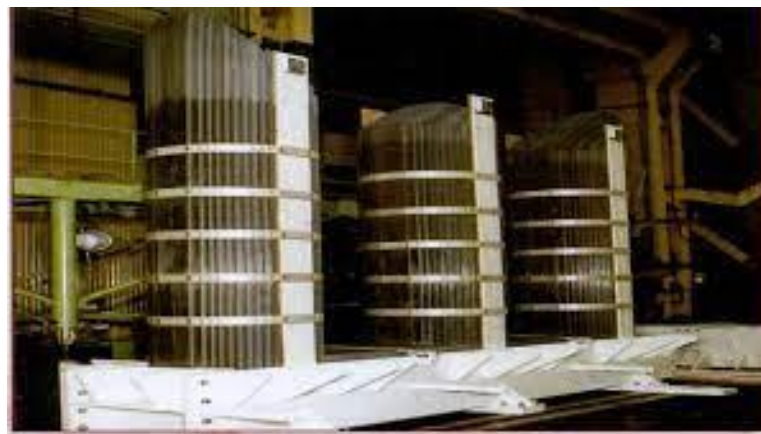
Gambar 2.7 Trafo Hubungan Zig-zag

### 2.3.3 Bagian-bagian Transformator

Transformator pada umumnya memiliki beberapa bagian-bagian, diantaranya sebagai berikut:

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berfungsi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus eddy, adapun inti besi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Inti Besi Transformator

2. Kumparan Transformator

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetic, berikut adalah kumparan trafo yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kumbaran Transformator

### 3. Bushing

Hubungan antara transformator ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body main tank* transformator, bushing dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Bushing Transformator

### 4. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (di dalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang

berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/ sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa:

- a. Udara/gas
- b. Minyak.
- c. Air.
- d. Dan lain sebagainya.

Sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara:

- a. Alamiah (natural)
- b. Tekanan/paksaan.

Pada cara alamiah (natural), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak-udara/gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (Radiator).

Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut pendingin paksa (*Forced*).

#### 5. Tap Changer

Tap Changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang diinginkan dari jaringan tegangan primer yang berubah-ubah. Proses ini dapat dilakukan pada saat trafo berbeban (*On load tap changer*) atau saat trafo tidak berbeban (*Off load tap changer*).

#### 6. Alat Pernafasan

Udara luar yang lemah akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut pada ujung pipa

penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernafasan berupa tabung berisi silica gel seperti pada Gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 Silica Gel

#### 7. Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian transformator yang terendam minyak trafo ditempatkan di dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator. Fungsi dari tangki yang satu ini adalah untuk menampung minyak serta uap yang diakibatkan dari pemanasan trafo. Relai bucholz di pasang antara tangki dengan trafo agar gas produksi yang diakibatkan kerusakan minyak dapat terserap. Supaya minyak tidak terkontaminasi dengan air maka ujung masuk dari saluran udara yang melalui saluran pelepasan dilengkapi pula dengan media penyerap yang biasa disebut silica gel. Tangki konservator dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Konservator

#### 2.4 Transformator Arus

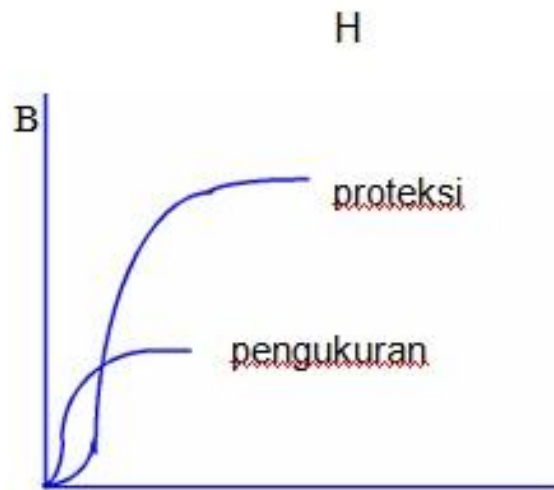
Trafo arus (CT) merupakan peralatan pada system tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi.

Selain untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya serta energi. Dibutuhkan juga untuk keperluan telemeter dan rele proteksi. Kumputan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumputan sekunder dihubungkan dengan rele proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan rele proteksi membutuhkan arus 1 atau 5 A. Trafo arus dapat dilihat seperti pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Transformator arus

CT dalam system tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Perbedaan mendasar pada kedua pemakaian di atas adalah pada kurva magnetisasinya seperti pada Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.14 Kurva kejenuhan untuk pengukuran dan proteksi

- **Untuk pengukuran**, memiliki kejenuhan hingga 120% arus rating tergantung dari kelasnya, hal ini untuk mengamankan meter pada saat gangguan
- **Untuk proteksi**, memiliki kejenuhan yang cukup tinggi hingga beberapa kali lipat arus rating.

#### 2.4.1 Rasio Transformator Arus

Transformator arus pada pengaman rele diferensial dipasang pada sisi tegangan primer dan sisi tegangan sekunder transformator, oleh sebab itu rasio transformator harus dipilih sedemikian rupa agar besar arus sekunder pada kedua trafo arus sama atau paling tidak mendekati sama, sebab apabila terdapat perbedaan arus maka selisih arus ini akan semakin besar ketika berlangsung gangguan hubung singkat di luar daerah pengaman.



Untuk menentukan rasio transformator arus maka diperlukan untuk menghitung arus *rating* terlebih dahulu, karena arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan rasio. Untuk menghitung arus *rating* menggunakan rumus:

$$I_{rat} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

$I_{rat}$  = Arus *rating* (A)

$I_n$  = Arus Nominal (A)

#### 2.4.2 Error Mismatch

*Error mismatch* adalah kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo tersebut. Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan *error* tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih.

Untuk menghitung besarnya nilai *error mismatch* menggunakan rumus:

$$Error\ Mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \% \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

CT (ideal) : Trafo arus (ideal)

$V_1$  : Tegangan dibagian sisi tinggi

$V_2$  : Tegangan dibagian sisi rendah

#### 2.4.3 Arus Sekunder Current Transformator (CT)

Arus sekunder pada CT (*Current Transformator*) ialah arus yang dikeluarkan dari CT itu sendiri. Arus sekunder CT dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{sekunder} = \frac{1}{Ratio\ CT} \times I_n \dots\dots\dots (2.5)$$

## 2.5 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah sistem pengaman atau perlindungan yang memiliki fungsi untuk mendeteksi adanya gangguan atau keadaan tidak normal pada bagian sistem yang diamankannya dan mengalami gangguan dapat terus bekerja dan tidak mengalami kerugian yang lebih besar lagi. Sistem proteksi selain harus mengamankan peralatan listrik terhadap gangguan, juga berfungsi melokalisasi gangguan. Oleh karena itu pengaman sangat di perlukan pada sistem tenaga listrik [11].

Manfaat sistem proteksi adalah agar pemutus-pemutus daya yang tepat dioperasikan supaya hanya bagian yang terganggu saja yang dipisahkan secepatnya dari sistem, sehingga kerusakan peralatan listrik yang disebabkan oleh gangguan menjadi sekecil mungkin [12].

## 2.6 Rele Proteksi

Rele proteksi atau rele pengaman adalah susunan peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi atau merasakan adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga Listrik. Rele dapat mengetahui gangguan dengan mengukur atau membandingkan besaran yang diterimanya seperti arus, tegangan, frekuensi, daya, sudut phasa dan sebagainya sesuai dengan jenis dan besaran rele yang ditentukan [13].

Untuk melaksanakan fungsinya tersebut maka rele pengaman harus memiliki persyaratan sebagai berikut:

- a. Dapat diandalkan (*reliable*)
- b. Selektif
- c. Waktu kerja rele cepat
- d. Peka (sensitif)
- e. Ekonomi dan sederhana

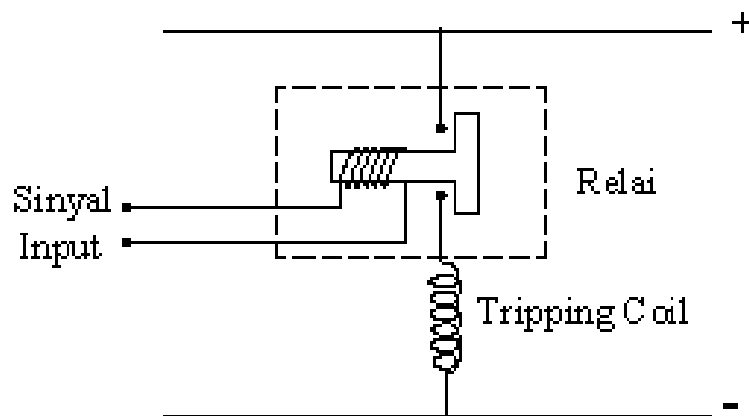
### 2.6.1 Prinsip Kerja Rele Proteksi

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat agar tidak mengakibatkan kerusakan, ataupun jika suatu

peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, atau walaupun terjadi gangguan tidak akan menimbulkan pemadaman bagi konsumen.

Rele bekerja jika mendapatkan sinyal-sinyal yang melebihi dari *setting* rele tersebut. Besaran ukur yang digunakan untuk sinyal input yaitu berupa arus, tegangan, impedansi, daya, arah daya, pembentukan gas, frekuensi, gelombang eksplosi dan sebagainya. Rele dikatakan beroperasi jika kontak-kontak dari rele tersebut bergerak membuka dan menutup dari kondisi awalnya.

Jika rele mendapat satu atau lebih beberapa sinyal input sehingga dicapai suatu harga *pick-up* tertentu, maka rele beroperasi dengan menutup kontak-kontaknya. Maka rele akan tertutup sehingga *tripping coil* akan beroperasi untuk memutuskan beban seperti pada Gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2.15 Prinsip Kerja Rele Proteksi

Pada keadaan diatas system tenaga listrik akan terputus karena adanya gangguan.

## 2.7 Gangguan pada Transformator Daya

Gangguan yang berpengaruh pada kerusakan transformator tidak hanya disebabkan oleh adanya gangguan di dalam transformator atau di dalam daerah pengamanan transformator tetapi juga adanya gangguan di luar daerah pengaman. Justru kerusakan transformator cenderung terjadi karena terlalu sering terjadi gangguan di luar daerah pengaman.

### **2.7.1 Gangguan di Luar Daerah Pengaman**

Gangguan di luar daerah pengaman transformator daya ini kerap kali terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubungan singkat fasa ke tanah ataupun gangguan antar fasa. Gangguan ini memiliki pengaruh pada transformator, sehingga transformator harus dilepaskan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan pengaman daerah yang terganggu bekerja.

Kondisi beban yang berlanjut dapat dideteksi dengan rele thermal atau termometer yang memberikan sinyal sehingga beban dapat berkurang. Untuk kondisi gangguan di luar daerahnya seperti gangguan hubung singkat pada rel gangguan, hubung singkat disalurkan keluarannya, maka rele arus lebih dengan perlambatan waktu atau sering digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik, untuk daerah berikutnya yang terkait. Pengaman utama ini dirancang sedemikian rupa sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut.

### **2.7.2 Gangguan di Daerah Pengaman**

Pengaman utama transformator daya ditunjukkan sebagai pengaman di dalam daerah pengamannya. Gangguan di dalam sangat serius dan selalu ada resiko terjadinya kebakaran. Gangguan di dalam dapat terjadi karena diakibatkan :

1. Gangguan satu fasa ataupun antar fasa di sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah pada terminal luar.
2. Hubungan singkat antar lilitan pada sisi tegangan tinggi ataupun tegangan rendah.
3. Gangguan tanah pada lilitan tersier, atau hubung singkat antar belitan di lilitan tersier

## **2.8 Rele Diferensial**

Rele diferensial memiliki bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankannya. Sistem proteksi rele diferensial secara universal digunakan untuk proteksi pada generator, transformator daya, busbar dan saluran transmisi, ke semua sistem proteksi diferensial tersebut prinsip kerjanya

berdasarkan keseimbangan (*balance*), atau membandingkan arus-arus sekunder transformator arus yang terpasang pada terminal-terminal peralatan/ instalasi listrik yang diproteksi.

*Differential relay* digunakan sebagai salah satu pengaman utama (*main protection*) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Rele ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat, sehingga rele ini tidak perlu dikoordinir oleh rele lain [5].

### **2.8.1 Fungsi Rele Diferensial**

Pengaman rele diferensial adalah alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya, fungsinya antara lain adalah:

1. Mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi pada transformator, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan ataupun antara kumparan dengan tangka.
2. Rele diferensial arus membandingkan arus yang melalui daerah pengaman.
3. Rele diferensial harus beroperasi jika terjadi gangguan di daerah pengaman, dan tidak boleh beroperasi dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan.
4. Rele diferensial merupakan unit pengaman dan mempunyai selektifitas mutlak.

### **2.8.2 Sifat Pengaman Rele Diferensial**

Asapun sifat pengaman pada rele diferensial ialah sebagai berikut:

1. Sangat selektif dan cepat bekerja, tidak memerlukan koordinasi dengan rele lain.
2. Digunakan sebagai rele pengaman utama, tidak bias digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi/daerah berikutnya.
3. Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus, dimana rele diferensial dipaasng.

### 2.8.3 Persyaratan Rele Diferensial

Adapun persyaratan pada rele diferensial yaitu sebagai berikut:

1. Kedua trafo arus yang digunakan harus mempunyai rasio yang sama atau mempunyai rasio sedemikian rupa, sehingga kedua arus sekundernya sama.
2. Karakteristik kedua trafo arusnya sama.
3. Polaritas kedua trafo arusnya benar.

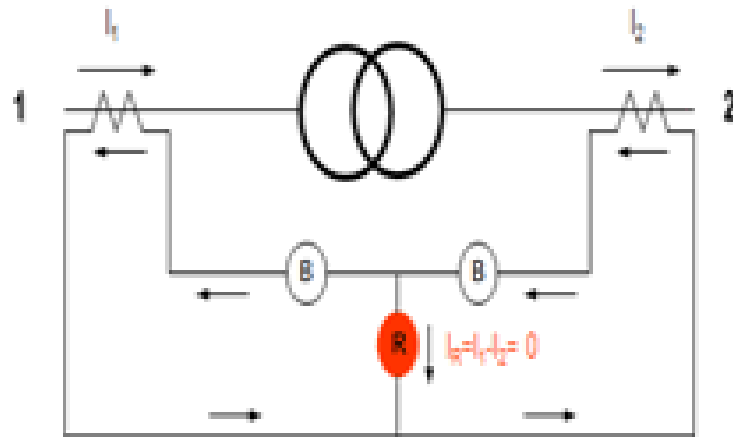
### 2.8.4 Prinsip Kerja Rele Diferensial

Prinsip kerja rele diferensial ialah dengan cara membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke rele. Kerja rele diferensial tersebut dibantu oleh dua buah transformator arus (CT) dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator yang kedua dibuat suatu ratio sedemikian rupa, sehingga arus pada kedua transformator arus tersebut sama besar.

Adapun prinsip kerja rele diferensial tersebut terjadi dalam tiga keadaan, yaitu dalam keadaan normal, keadaan gangguan diluar daerah proteksi dan gangguan didalam daerah proteksi.

#### 1. Rele diferensial pada keadaan normal

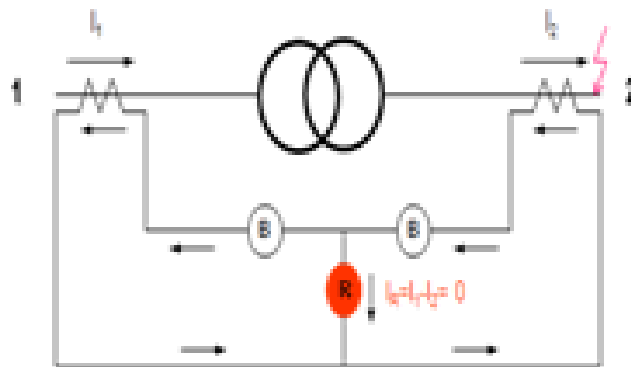
Pada keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan/instalasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya, dan arus-arus transformator arus, yaitu I1 dan I2 bersirkulasi melalui “*path*” IA, Jika rele diferensial dipasang antara terminal 1 dan terminal 2, maka dalam keadaan normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya. Rele diferensial dalam keadaan normal dapat dilihat seperti Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Relé Diferensial Dalam Keadaan Normal

## 2. Relé diferensial pada gangguan di luar daerah proteksi

Bila pada kondisi gangguan di luar dari transformator daya yang diproteksi, maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi akan tetap sama dengan pada keadaan normal dengan demikian relé diferensial tidak akan bekerja seperti pada Gambar 2.17 berikut ini.

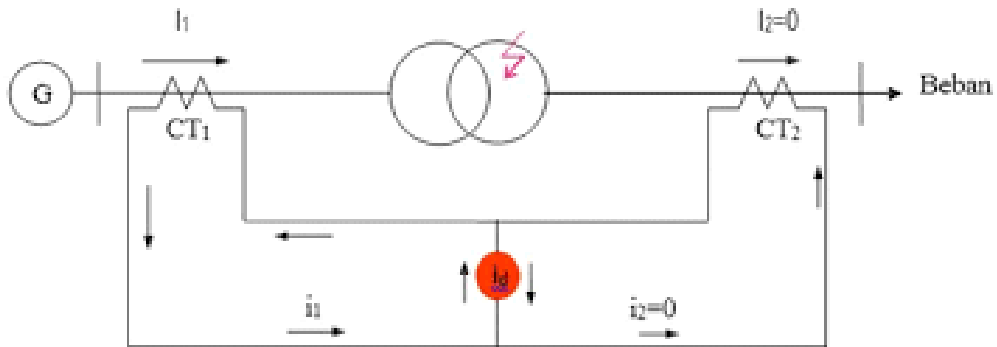


Gambar 2.17 Gangguan di Luar Daerah Proteksi

## 3. Relé diferensial pada gangguan di dalam daerah proteksi

Jika gangguan terjadi di dalam proteksinya pada transformator daya yang diproteksi, maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, hal tersebut menyebabkan “keseimbangan” pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus Id

akan mengalir melalui rele diferensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus pada rele, selanjutnya rele tersebut akan mengoperasikan PMT untuk memutus seperti pada Gambar 2.18 berikut ini.



Gambar 2.18 Gangguan di Dalam Daerah Proteksi

**2.8.5 Pemasangan Rele Diferensial**

Di dalam pemasangan rele diferensial pada transformator daya, sering mengalami kesulitan ketepatan kerja rele, sehingga pada akhirnya rele akan mengalami salah kerja. Salah kerja pada rele diferensial disebabkan oleh hubungan transformator daya disisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering berbeda, sehingga terjadi ketidak seimbangan pada transformator.

Sehubungan dengan pemasangan rele diferensial ke transformator daya, maka perlu sekali untuk mengetahui persyaratan rele diferensial tersebut, yaitu:

- a) Besar arus-arus yang masuk ke rele harus sama.
- b) Fasa-fasa tersebut harus berlawanan.

**2.8.6 Arus Nominal Primer dan Sekunder**

Arus nominal pada transformator daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.6)$$

Arus nominal pada sisi primer

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_P} \dots\dots\dots(2.7)$$

Arus nominal pada sisi sekunder



$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

- IN1 = Arus nominal pada sisi primer  
 IN2 = Arus nominal pada sisi sekunder  
 S = Tegangan pada transformator daya  
 Vp = Tegangan pada sisi primer  
 Vs = Tegangan pada sisi sekunder

### 2.8.7 Setting Kerja Rele Diferensial

Rele diferensial bekerja berdasarkan hukum arus kirchoff 1 yang berbunyi “arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar pada titik tersebut”.

$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0 \dots \dots \dots (2.9)$$

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5 \dots \dots \dots (2.10)$$

$$I_1 = I_2 \dots \dots \dots (2.11)$$

$$I_{Masuk} = I_{Keluar} \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk menentukan besarnya nilai arus diferensial, arus restrain, slope dan arus setting pada rele diferensial menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_d = I_2 - I_1 \dots \dots \dots (2.13)$$

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$Slope = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots \dots \dots (2.15)$$

$$I_{Setting} = \%Slope \times I_r \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana:

- Id = Arus diferensial  
 Ir = Arus restrain  
 Isetting = Arus setting pada rele diferensial  
 Slope = Batas ambang kemampuan kumparan penahan

## 2.9 Rele *Overcurrent* (Arus Lebih)

Rele arus lebih merupakan peralatan proteksi yang berguna untuk mendeteksi kondisi tidak normal pada sistem dengan melihat besar arus yang mengalir. Rele arus lebih memiliki berbagai macam fungsi diantaranya sebagai rele beban lebih dan rele arus lebih pendeteksi gangguan [14].

Rele *Overcurrent* bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga rele *overcurrent* ini dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Prinsip kerja rele *overcurrent* berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.

### 2.9.1 Prinsip Kerja Rele *Overcurrent*

Prinsip kerja *overcurrent relay* adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relai, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya [15].

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Pada keadaan normal arus beban ( $I_b$ ) mengalir pada SUTM/SKTM dan oleh transformator arus besaran arus ini ditransformasikan ke besaran sekunder ( $I_r$ ). Arus ( $I_r$ ) mengalir pada kumparan rele tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (*setting*), maka rele tidak beroperasi.
- b. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus ( $I_b$ ) akan naik dan akan menyebabkan arus ( $I_r$ ) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan, maka rele akan beroperasi dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM/SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

### 2.9.2 Macam-macam Karakteristik Rele *Overcurrent*

Adapun karakteristik rele *overcurent* sebagai berikut:

- a. Rele waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Rele tersebut bekerja seketika (tanpa waktu tunda), Ketika arus mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10-20 ms). Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain.

b. Rele dengan waktu tertentu (*Definite time relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (Iset), dan jangka waktu rele mulai pick up sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele.

c. Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse time*)

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok yaitu:

1. *Standard Inverse* adalah jenis rele arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena selain memiliki tunda waktu yang statis dan juga memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga rele arus lebih jenis ini dapat memberikan tunda waktu tergantung dari arus yang terukur. Semakin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya.
2. *Very Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu yang sangat terbalik.
3. *Extremely Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu amat sangat terbalik.

### 2.9.3 Setelan Rele *Overcurrent*

Penyetelan rele *overcurrent* pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk rele *overcurrent* baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set} (prim) = 1.05 \times I_{nominal} \text{ trafo}$$

Nilai tersebut merupakan nilai primer, untuk mendapatkan nilai setting sekunder yang dapat diatur pada rele overcurrent, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} \times \frac{1}{Ratio CT} \dots\dots\dots(2.17)$$

#### A. Setelan Waktu/Time Multiple Setting (Tms)

$$t = \frac{0.14 \times tms}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \dots\dots\dots(2.19)$$

Nilai setelan incoming 20kV trafo tenaga arus nominal pada sisi 20kV:

$$I_n(sisi 20kV) = \frac{kVA}{kV \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$I_{set(primer)} = 1.05 \times I_{beban} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$I_{sekunder} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Ratio CT} \dots\dots\dots(2.22)$$

Besarnya berbeda waktu ini dipengaruhi oleh beberapa hal, sebagai berikut:

Kesalahan rele penyulang	: 0.2-0.3 detik
Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api	: 0.1 detik
Over Shoot	: 0.05 detik
Faktor keamanan	: 0.05 detik

Selisih waktu kerja rele di incoming 20kV lebih lama 0.4 detik dari waktu rele di penyulang disebut grading time, yang maksudnya agar rele di incoming 20 kV memberikan kesempatan rele di penyulang bekerja lebih dahulu. Untuk itu, nilai Tms akan disetting pada rele overcurrent di incoming 20 kV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama:

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1}{0.14} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana  $t$  = waktu set overcurrent penyulang + waktu koordinasi

Nilai setting  $T_{ms}$  yang didapat masih harus diuji lagi dengan arus gangguan yang lain seperti arus gangguan hubung singkat untuk lokasi gangguan 3 fasa yang terjadi di lokasi Panjang penyulang. Demikian juga untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa yang besar arus gangguannya juga sudah dihitung.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian**

Waktu penelitian tugas akhir ini dilakukan pada bulan September 2023. Lokasi penelitian tugas akhir ini bertempat di PT. Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU, Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara.

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Dalam penulisan tugas akhir ini ada beberapa tahapan penelitian yang perlu dilakukan. Tahapan-tahapan ini dilakukan agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Adapun tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

##### **3.2.1 Studi Literatur**

Tahapan ini dilakukan dengan membaca buku dan jurnal yang sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Tahapan ini merupakan tahapan paling awal dengan tujuan untuk menambah wawasan terkait tema tugas akhir sebelum masuk ke tahapan berikutnya.

##### **3.2.2 Observasi/Pengumpulan Data**

Pada pembuatan skripsi ini dilakukan pengumpulan data sekunder di PT Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. Data-data yang diperlukan meliputi data transformator daya dan data parameter rele diferensial serta rele overcurrent yang ada di PT Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU.

##### **3.2.3 Wawancara**

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal-hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing lapangan atau staff pekerja di PT. Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU. Tahapan ini bertujuan untuk

mengetahui ataupun menambah informasi terkait dari sumber yang lebih paham akan kondisi lapangan.

### 3.2.4 Pengolahan Data

Tahapan ini dilakukan dengan melakukan perhitungan secara manual untuk perhitungan rasio CT, Error mismatch, arus restrain, percent slope, nilai setting rele diferensial, nilai setting rele overcurrent, dan perhitungan nilai arus di sisi primer dan sekunder Generator Transformator di PT. Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU.

### 3.2.5 Bimbingan

Metode ini dilakukan dengan cara meminta bimbingan untuk hal yang berkaitan dengan materi kepada dosen pembimbing. Ini merupakan tahapan akhir setelah dilakukannya pengolahan data, tahapan ini dilakukan agar penulisan tugas akhir ini bisa dilakukan perbaikan jika sekiranya masih terdapat kekurangan.

Adapun diagram alir dari tahapan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Data Penelitian

Data yang di ambil dalam penyelesaian tugas akhir ini menggunakan data-data yang diperoleh dari PT. Indonesia Power PLTU Pangkalan Susu OMU antara lain data transformator step up yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, data ratio CT yang dapat dilihat pada Tabel 3.2, data overcurrent di sisi primer dan sekunder yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 serta one line diagram trafo step up unit 3 pada Gambar 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Transformator *Step Up* Unit 3

Point	Nilai	Keterangan
Type	SFPZ-286000/530 <sup>TH</sup>	Merupakan model dari transformator generator yang digunakan pada PLTU
Numbers of phase	3	Jumlah phasa yang ada pada transformator generator
Rated frequency	50 Hz	Nilai terbesar frekuensi yang digunakan pada transformator generator
Service condition	CUTDOOR	
Rated voltage	275/15,75 kV	Nilai tegangan terbesar dan tegangan terkecil pada transformator generator
Connection symbol	YNd11	Koneksi yang digunakan merupakan koneksi bintang atau wye.
Type of cooling	ODAF	Sistem pendingin yang digunakan pada pltu merupakan sistem pendingin ODAF ( Oil Directed Air Force)
LOAD LOSS	508,1 Kw	Rugi – rugi pada beban
Type of oil	K125X	Type minyak trafo yang digunakan pada sistem pendingin dan tangki konservator.



TOTAL WEIGHT	240,7 t	Berat total generator transformer.
CURRENT TRANSFORMER HIGH VOLTAGE	1000 / 1	Rasio arus yang digunakan disisi tegangan tinggi pada generator transformer.
CURRENT TRANSFORMATOR LOW VOLTAGE	12,000 / 5	Rasio arus yang digunakan disisi tegangan rendah pada generator transformer.
HIGH VOLTAGE	275 Kv	Tegangan disisi sekunder generator transformer.
LOW VOLTAGE	15,75 Kv	Tegangan disisi primer generator transformer.
Current high voltage	545,9 A	Arus di sisi sekunder generator transformer
Current low voltage	9531 A	Arus di sisi primer generator transformator

Tabel 3.2 Data Rasio CT

Data Rasio CT					
15,75 kV			275 kV		
Primer	/	Sekunder	Primer	/	Sekunder
12.000	/	5	1000	/	1

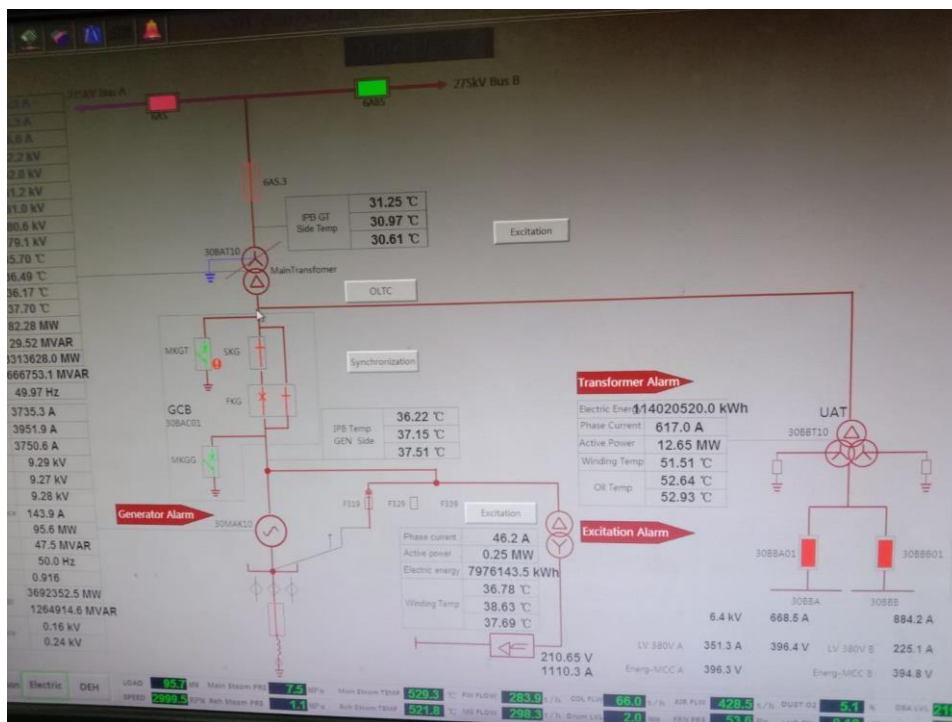
Tabel 3.3 Data OCR pada Sisi Primer

Data	OCR
I setting	0,65 In
Karakteristik	Definite
Tms	5
Ratio CT	12000/5

Tabel 3.4 Data OCR pada Sisi Sekunder

Data	OCR
------	-----

I setting	1,9 In
Karakteristik	Definite
Tms	2
Ratio CT	1000/1



Gambar 3.2 One Line Diagram Trafo Step Up Unit 3

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Matematis Rele Diferensial

Perhitungan matematis Rele Diferensial adalah pergitungan untuk menentukan rasio CT pada trafo daya, dengan menggunakan perhitungan arus nominal dan arus rating. Selanjutnya menghitung error mismatch, menghitung arus diferensial, menghitung arus restrain, menghitung arus slope, dan arus setting rele diferensial.

##### 4.1.1 Perhitungan Nilai Rasio CT

Untuk menghitung rasio CT, terlebih dahulu menghitung arus rating. Arus rating berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT. In atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah).

- Arus nominal pada sisi tegangan primer 15,75 kV:

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p}$$

$$I_{N1} = \frac{260.000.000}{\sqrt{3} \times 15.750}$$

$$I_{N1} = \frac{260.000.000}{27.279,80}$$

$$I_{N1} = 9.530,86 \text{ A}$$

- Arus nominal pada sisi tegangan sekunder 275 kV:

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s}$$

$$I_{N2} = \frac{260.000.000}{\sqrt{3} \times 275.000}$$

$$I_{N2} = \frac{260.000.000}{476.313,97}$$

$$I_{N2} = 545,858 \text{ A}$$

- Arus rating di sisi tegangan primer 15,75 kV:

$$I_{rat} = 110\% \times I_{nominal}$$

$$I_{rat} = 110\% \times 9.530,86$$

$$I_{rat} = 10.483,946 \text{ A}$$

- Arus rating di sisi tegangan sekunder 275 kV:

$$I_{rat} = 110\% \times I_{nominal}$$

$$I_{rat} = 110\% \times 545,858$$

$$I_{rat} = 600,443 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa arus nominal yang menuju ke trafo daya di sisi tegangan primer 15,75 kV adalah 9.530,86 A sedangkan di sisi tegangan sekunder 275 kV adalah 600,443 A.

Perhitungan arus rating pada trafo daya di atas juga dapat diketahui di sisi tegangan primer 15,75 kV adalah 10.483,946 A sedangkan pada sisi tegangan sekunder 275 kV adalah 600,443 A. Sesuai dengan perhitungan tersebut, maka rasio CT yang terpasang pada sisi tegangan primer 15,75 kV adalah 12.000/5 A serta pada sisi tegangan sekunder 275 kV adalah 1000/1 A. Berdasarkan uraian tersebut maka bila arus yang mengalir pada sisi tegangan primer sebesar 12.000 A di CT akan terbaca 5 A. Rasio CT dipilih 12.000 A dan 1000 A sebab pada Generator Transformer PLTU Pangkalan Susu menggunakan nilai tersebut dan rasio itu juga ada di pasaran.

#### 4.1.2 Perhitungan *Error Mismatch*

Menghitung besarnya *error mismatch* ialah dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan error tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih.

- *Error mismatch* di sisi tegangan rendah 15.75 kV:

$$\text{Error mismatch} = \frac{CT \text{ Ideal}}{CT \text{ Terpasang}} \%$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$CT_1(Ideal) = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} = \frac{1000}{1} \times \frac{275}{15,75} = 1000 \times 17,460 = 17.460 A$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{17.460}{12.000} \% = 1,455 \%$$

- Error mismatch di sisi tegangan tinggi 275 kV:

$$\text{Error mismatch} = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \%$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$CT_2(Ideal) = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{12000}{1} \times \frac{15,75}{275} = 12000 \times 0,057 = 684 A$$

$$\text{Error mismatch} = \frac{684}{1000} \% = 0,684 \%$$

Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai CT1 ideal sebesar 17.460 A dan error mismatch sebesar 1,455 %. Error mismatch pada CT2 sebesar 0,684 % dengan hasil perhitungan CT ideal sebesar 684 A. Demikian didapatkan nilai selisih antara trafo arus terpasang dan trafo arus ideal sebesar 5460 A pada sisi tegangan rendah dan 316 A pada sisi tegangan tinggi.

#### 4.1.3 Perhitungan Nilai Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang dikeluarkan CT.

- Arus sekunder CT sisi tegangan rendah 15,75 kV:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n$$

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{12000} \times 9.530,86 A$$

$$I_{\text{sekunder}} = 0,7942 A$$

- Arus sekunder CT sisi tegangan tinggi 275 kV:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n$$

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{1000} \times 545,858 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = 0,5458 \text{ A}$$

#### 4.1.4 Perhitungan Nilai Arus Diferensial

Arus diferensial adalah arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi terhadap arus sekunder CT sisi tegangan rendah.

$$I_{\text{dif}} = I_2 - I_1$$

$$I_{\text{dif}} = 0,7942 - 0,5458$$

$$I_{\text{dif}} = 0,2484 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan mendapatkan nilai selisih antara Isekunder CT sisi tegangan dan sisi tegangan rendah adalah 0,2484 A. Nilai tersebut yang menjadi pembanding dengan arus setting rele diferensial.

#### 4.1.5 Perhitungan Nilai Arus Restrain (Penahan)

Arus restrain diperoleh dengan cara menjumlahkan arus sekunder CT1 dan CT2 kemudian dibagi 2.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$I_r = \frac{0,7942 + 0,5458}{2}$$

$$I_r = 0,67 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan di atas maka didapat nilai arus restrain ialah 0,67 A.

#### 4.1.6 Perhitungan *Percent Slope* (Setting Kecuraman)

Untuk mengetahui slope didapatkan dari arus diferensial dibagi dengan arus restrain. Dari slope 1 dapat diketahui arus diferensial dan arus restrain saat kondisi normal dan untuk memastikan rele dapat bekerja ketika terjadi gangguan internal dengan arus gangguan kecil. Untuk slope 2 dapat berguna supaya rele tidak bekerja ketika terjadi gangguan eksternal dengan arus gangguan besar sekalipun.

- Menghitung slope 1

$$Slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

$$Slope_1 = \frac{0,2484}{0,67} \times 100\%$$

$$Slope_1 = 37,07\%$$

- Menghitung slope 2

$$Slope_2 = \left( \frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$Slope_2 = \left( \frac{0,2484}{0,67} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$Slope_2 = 74,14 \%$$

Hasil yang didapat dari perhitungan yaitu slope 1 sebesar 37,07% dan slope 2 sebesar 74,14%

#### 4.1.7 Perhitungan Nilai Arus Setting (Iset)

Arus setting didapat dengan mengalikan antara slope dan arus restrain. Arus setting inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial.

$$I_{set} = \%slope \times I_{restrain}$$

$$I_{set} = 37,07\% \times 0,67 A$$

$$I_{set} = 0,3707 \times 0,67 A$$

$$I_{set} = 0,2483A$$

Hasil yang didapat dari perhitungan nilai arus setting di atas adalah 0,2483 A, tetapi pada setting rele diferensial dibuat 0,3 A.

#### 4.1.8 Perhitungan Gangguan Pada Transformator Daya

Arus gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan Id menjadi 0,3 A:

$$I_{sekunderACT} = I_1 + I_d = 0,794 + 0,3 = 1,094 A$$

$$I_{sekunderCT} = I_{sekunderACT} + I_2 = 1,094 \times 0,545 = 0,596 A$$

$$I_{N275 kV} = I_{sekunderCT} \times CT_2 = 0,596 \times 1000 = 596 A$$

Pada saat  $I_d$  sebesar 0,3 A maka arus maksimal yang mengalir pada sisi tegangan tinggi sebesar 596 A, artinya batas arus yang diperbolehkan mengalir pada sisi tegangan tinggi adalah 596 A. Rele diferensial akan bekerja jika arus yang mengalir melebihi 596 A.

Adapun hasil perhitungan rasio CT dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di bawah ini serta hasil perhitungan arus setting diferensial dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Hitung Ratio CT di Sisi 15,75 kV

<b>Hasil Hitung Ratio CT di Sisi 15,75 kV</b>	
Inom atau arus nominal	9.530,86 A
Irating	10.483,946 A
Isekunder CT	0,7942 A
Ratio CT Ideal	17.460 A

Tabel 4.2 Hasil Hitung Ratio CT di Sisi 275 kV

<b>Hasil Hitung Ratio CT di Sisi 275 kV</b>	
Inom atau arus nominal	545,858 A
Irating	600,443 A
Isekunder CT	0,5458 A
Ratio CT Ideal	684 A

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Arus dan Setting Rele Diferensial

<b>Hasil Perhitungan Arus dan Setting Rele Diferensial</b>	
$I_d$	0,2484 A
$I_{restrain}$	0,67 A
% Slope 1	37.07%
% Slope 2	74,14%
$I_{setting}$	0,2483 A



## 4.2 Perhitungan Matematis Rele *Overcurrent*

Perhitungan matematis Rele *overcurrent* adalah perhitungan untuk menentukan arus setting *overcurrent* pada sisi incoming, arus setting *overcurrent* pada sisi outgoing, dan waktu kerja rele *overcurrent*.

### 4.2.1 Perhitungan Waktu Kerja Rele *Overcurrent*

Fungsi perhitungan waktu kerja rele *overcurrent* ialah untuk mengetahui bahwa peralatan proteksi bisa berkoordinasi dengan baik yang satu dengan yang lainnya. Rumus untuk melakukan perhitungan waktu trip rele *overcurrent* tergantung dari kurva yang digunakan, antara lain:

a) *Normaly Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Normaly Invers* adalah:

$$t = \frac{0,14}{I_{hs}^{0,02}-1} \cdot tms$$

b) *Very Invers*

Waktu trip relay menggunakan kurva *Very Invers* adalah:

$$t = \frac{13,5}{I_{hs}-1} \cdot tms$$

c) *Extremely Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Extremely Invers* adalah:

$$t = \frac{80}{I_{hs}^2-1} \cdot tms$$

d) *Long Time Invers*

Waktu trip relay proteksi menggunakan kurva *Long Time Invers* adalah:

$$t = \frac{120}{I_{hs}-1} \cdot tms$$

Dimana:

t = waktu trip relay (detik)

I<sub>hs</sub> = Nilai arus gangguan hubung singkat (ampere)

T<sub>ms</sub> = time multiple setting pada peralatan proteksi

Perhitungan inipun dihitung menggunakan data arus gangguan dan nilai T<sub>ms</sub> yang diperoleh dari Perusahaan.

Untuk menghitung waktu trip relay, kita harus menghitung arus *setting* dan *Time Multiple Setting (TMS)* terlebih dahulu, yaitu:

a. Menghitung arus setting

1. Arus setting Overcurrent pada sisi primer

$$I_{\text{beban}} = 0,65 \times I_n = 65 \text{ A}$$

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

$$I_{\text{set(primer)}} = 1,05 \times 65$$

$$I_{\text{set(primer)}} = 68,25 \text{ A}$$

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

$$I_{\text{set(sekunder)}} = 68,25 \times \frac{1}{12000}$$

$$I_{\text{set(sekunder)}} = 0,005 \text{ A}$$

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = \frac{5 \times \left(\frac{5054}{68,25}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = 3.211 \text{ detik}$$

2. Arus setting Overcurrent pada sisi sekunder

$$I_{\text{beban}} = 1,9 \times I_n = 95 \text{ A}$$

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

$$I_{\text{set(primer)}} = 1,05 \times 95$$

$$I_{\text{set(primer)}} = 99,75 \text{ A}$$

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

$$I_{\text{set(sekunder)}} = 99,75 \times \frac{1}{1000}$$

$$I_{\text{set(sekunder)}} = 0,099 \text{ A}$$

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = \frac{2 \times \left(\frac{5054}{99,75}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TMS = 1,166 \text{ detik}$$

### 3. Waktu kerja rele OCR pada sisi primer

$$t = \frac{0,14}{5054^{0,02} - 1} \times 3,211$$

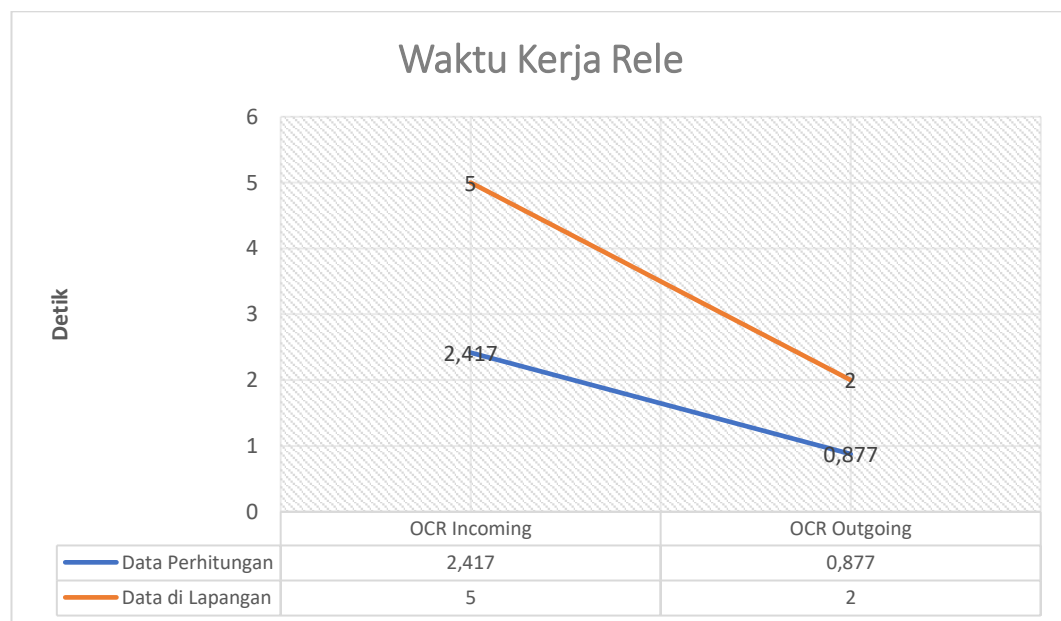
$$t = 2,417 \text{ detik}$$

### 4. Waktu kerja rele OCR pada sisi sekunder

$$t = \frac{0,14}{5054^{0,02} - 1} \times 1,166$$

$$t = 0,877 \text{ detik}$$

Adapun grafik perbandingan waktu kerja rele *overcurrent* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan waktu kerja rele

### **4.3 Koordinasi Setting OCR antara Primer dan Sekunder**

Koordinasi pengaman merupakan kinerja dua buah pengaman atau lebih pada jaringan listrik yang saling mendukung atau melengkapi dalam melakukan proses tugasnya. Rele arus lebih ini harus dikoordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu.

Dari perhitungan di atas didapat bahwa koordinasi antara rele primer dan sekunder sudah bekerja dengan baik, karena waktu kerja rele tidak melebihi batas setting waktu kerja rele di lapangan. Jika arus gangguan terjadi pada sisi primer maupun sekunder, maka rele masing masing sisi akan bekerja untuk memerintahkan PMT untuk memutuskan aliran listrik kearah penyulang, agar alat pendistribusian tidak rusak.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat penulis ambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Kinerja rele diferensial dapat dikatakan bagus karena arus diferensial tidak melebihi arus setting yang sudah ditetapkan.
2. Hasil perhitungan arus setting diferensial adalah 0,2483 A, tetapi pada setting rele diferensial dibuat 0,3 A. Maka dari itu rele diferensial akan bekerja apabila nilai arus diferensial melebihi arus setting dan sebaliknya.
3. Tingkat akurasi rele *overcurrent* sudah cukup baik karena waktu trip gangguan tidak melebihi batas setting kerja rele di lapangan.
4. Hasil perbandingan waktu trip gangguan *overcurrent* di sisi primer adalah sebesar 2,417 detik dan sisi sekunder adalah sebesar 0,877 detik.
5. Koordinasi antara rele *overcurrent* pada sisi primer dan sekunder sudah bekerja dengan baik, karena waktu kerja rele tidak melebihi batas setting waktu kerja rele di lapangan.

#### **5.2 Saran**

Untuk menghindari kemungkinan gangguan yang tidak diinginkan maka disarankan untuk melakukan pemeliharaan dengan baik terhadap rele pengaman utama maupun rele pengaman cadangan beserta peralatan bantu lainnya. Tidak hanya pemelijaran saja namun ada baiknya bila rele tersebut diuji coba dalam jangka waktu yang ditentukan untuk mengetahui apakah rele tersebut benar-benar bekerja dengan baik bila terjadi gangguan.

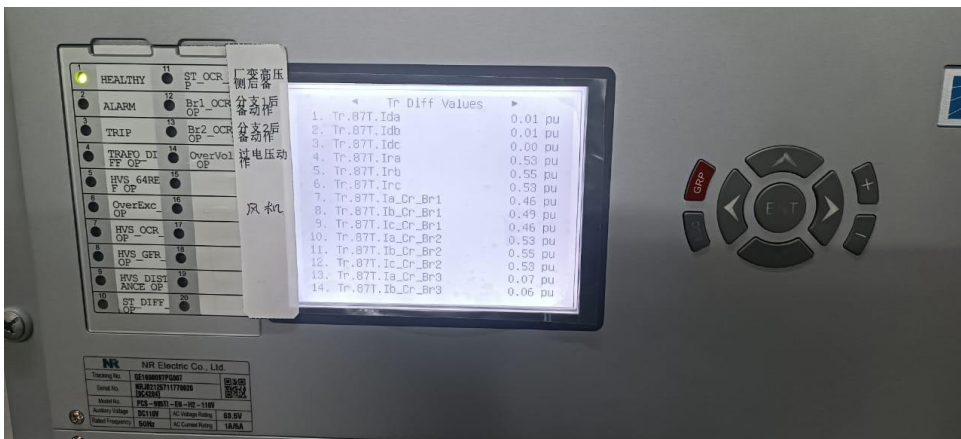
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Keumala, A. Bintoro, S. Salahuddin, and H. M. Yusdartono, “Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Transformator 66 Mva Di Pltmg Sumbagut 2 Peaker Power Plant 250 Mw,” *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 9, no. 2, p. 9, 2021, doi: 10.29103/jee.v10i1.4221.
- [2] D. Hariyono, “Analisa Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Eksternal Transformator,” *Saintek ITM*, vol. 32, no. 2, pp. 37–43, 2019, doi: 10.37369/si.v32i2.60.
- [3] A. Sattari, H. Widodo, P. Teknik Elektro, F. Teknik Universitas Muhammadiyah Lampung Jl HZA Pagar Alam No, and B. Lampung, “Analisis Setting Arus Relai Differensial Pada Trafo II 30 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami,” *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 5–10, 2021.
- [4] J. M. Tambunan and A. P. Winata, “Tinjauan Kinerja Relay Differensial Gt 322.1 Mta Unit 2.1 Pltgu Muara Karang,” *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 80, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7406.
- [5] Y. Badruzzaman and F. Himawati, “Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut,” *Jtet*, vol. 3 No.3, pp. 159–167, 2014.
- [6] A. C. Pamungkas, Juningtyastutu, and A. Nugroho, “Analisis Koordinasi Dan Setting Rele Proteksi Generator Dan Trafo Step Up Di Pltu Tanjung Jati B Unit 1,” *Transient*, vol. 4, no. 4, pp. 1–11, 2016.
- [7] A. Firmansyah, A. Suyadi, and M. Bintang Satriaoktarian, “Unjuk Kerja Over Current Relay Pada Incoming dan Outgoing Transformer Daya #1 60 MVA Gardu Induk Kenten menggunakan ETAP 19.0.1,” vol. 19, no. 1, 2022.
- [8] E. Syahputra, Z. Pelawi, A. Hasibuan, D. Teknik Elektro, F. Teknik, and U. Al-Azhar Medan, “Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Berbasis Matlab”.
- [9] S. Hasta Wibowo, M. Ali Watoni, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Banjarmasin, “Analisa Stabilitas Generator Serempak Menghadapi Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik,” Online. [Online]. Available: <http://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/intekna/issue/archive>

- [10] J. T. Elektro, "Edu Elekrika Journal Analisis Transformator Daya 3 Fasa 150 KV/ 20 KV Pada Gardu Indukungan PLN Distrinusi Semarang Mukhammad Rif'at Za'im \* Info Artikel," 2014. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eduel>
- [11] R. Aita Diantari, T. Mardhi Rahmatullah, T. Elektro, and S. Tinggi Teknik - PLN, "Analisa Proteksi Differensial Pada Generator di PLTU Suralaya."
- [12] D. H. Liem Ek Bien, "Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator Pt Chevron Pacific Indonesia," *JETri*, vol. 6, no. 2, pp. 41–68, 2007.
- [13] A. W. Hidayat, H. Gusmedi, L. Hakim, and D. Despa, "Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung," 2013.
- [14] Tiyono, "Perancangan Setting Rele Proteksi Arus Lebih Pada Motor Listrik Industri."
- [15] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," *Jurnal Elektum*, vol. 14, no. 2, doi: 10.24853/elektum.14.2.43-48.

# LAMPIRAN A: GAMBAR

Lampiran A.1 Panel Proteksi







Lampiran A.2 Nameplate Generator Transformer Unit 3 PLTU Pangkalan Susu

**Generator Transformer**

Tap	V	W	U	Current	Tap Position	Tap Position
10	132700	481.2	1		1	
9.5	132700	481.2	2		2	
9	132700	481.2	3		3	
8.5	132700	481.2	4		4	
8	132700	481.2	5		5	
7.5	132700	481.2	6		6	
7	132700	481.2	7		7	
6.5	132700	481.2	8		8	
6	132700	481.2	9		9	
5.5	132700	481.2	10		10	
5	132700	481.2	11		11	
4.5	132700	481.2	12		12	
4	132700	481.2	13		13	
3.5	132700	481.2	14		14	
3	132700	481.2	15		15	
2.5	132700	481.2	16		16	
2	132700	481.2	17		17	

TYPE	WATER POWER	NUMBER OF PHASES	INSUL. SYSTEM	INDICATOR	INDICATOR
3	3	3	3	3	3

TYPE	WATER POWER	NUMBER OF PHASES	INSUL. SYSTEM	INDICATOR	INDICATOR
3	3	3	3	3	3

TYPE	WATER POWER	NUMBER OF PHASES	INSUL. SYSTEM	INDICATOR	INDICATOR
3	3	3	3	3	3

TYPE	WATER POWER	NUMBER OF PHASES	INSUL. SYSTEM	INDICATOR	INDICATOR
3	3	3	3	3	3

TYPE	WATER POWER	NUMBER OF PHASES	INSUL. SYSTEM	INDICATOR	INDICATOR
3	3	3	3	3	3

KKS CODE: 38BATS1  
 MANUF'S SERIAL NO.: 291611F04  
 DATE OF MANUFACTURE: 2017.6  
 MANUFACTURER ADDRESS: 58 HONGHE ROAD, HEFEI, P. R. C.

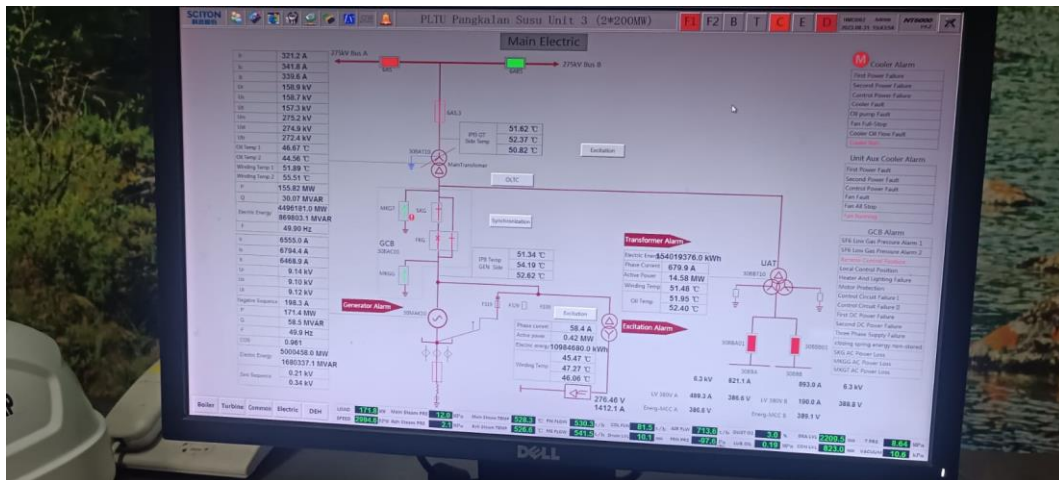
UPPER TANK HEIGHT: 18.7 m  
 UPPER TANK WEIGHT: 133.9 t  
 HEIGHT OF INSULATING OIL: 96.4 m  
 TRANSFORMER HEIGHT WITH OIL: 158.9 m  
 TOTAL HEIGHT: 240.7 m  
 TYPE OF OIL: KDSX

**TIANWEI BAOSHAN (HEFEI) TRANSFORMER CO., LTD.**  
 THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

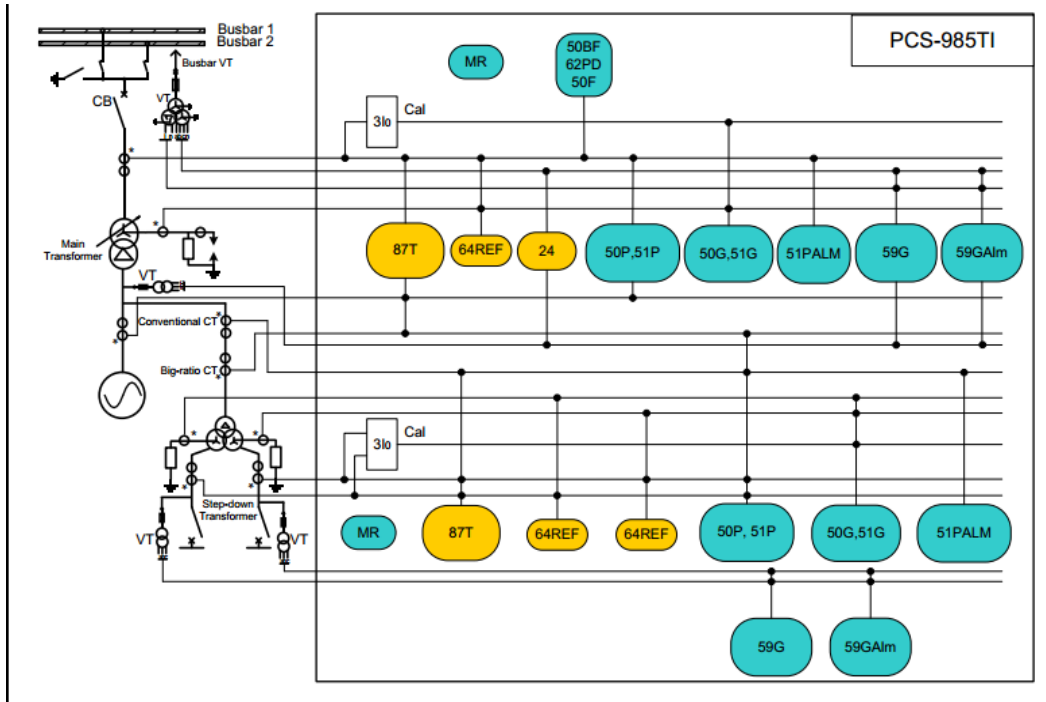
### Lampiran A.3 Simulasi Proteksi

Generator Transformer Alarm		
Alarm Information		
Protection Device Interlock A	Protection Device Interlock B	Generator Transformer Non-electric Protection Device Interlock
Protection Device Alarm A	Protection Device Alarm B	Generator Transformer Non-electric Protection Device Alarm
Differential Trip A	Differential Trip B	Generator Transformer Non-electric Protection Device Loss Of Power
Backup Trip A	Backup Trip B	Generator Transformer Fan Stop Trip
Grounding Zero Sequence Trip A	Grounding Zero Sequence Trip B	Generator Transformer Heavy Gas Trip
Over Excitation Protection Trip A	Over Excitation Protection Trip B	Generator Transformer Switch Heavy Gas Trip
Zero Sequence Differential Trip A	Zero Sequence Differential Trip B	Generator Transformer Pressure Release Trip
Circuit Breaker Trip A	Circuit Breaker Trip B	Thermal Automotom Protection
High Voltage Side Circuit Breaker Failure Protection Trip A	High Voltage Side Circuit Breaker failure Protection Trip B	Generator Transformer Pressure Sudden Trip
Differential Protection Trip A	Differential Protection Trip B	Generator Transformer Oil High Temp Trip
High Voltage Sack Backup Trip A	High Voltage Sack Backup Trip B	Generator Transformer Winding High Temp Trip
A Branch Backup Trip A	A Branch Backup Trip B	Excitation Transformer High Temp Trip
B Branch Backup Trip A	B Branch Backup Trip B	HV Auxiliary Transformer Non-electric Protection Device Interlock
A Branch Zerc Differential Trip A	A Branch Zerc Differential Trip B	HV Auxiliary Transformer Non-electric Protection Device Alarm
B Branch Zerc Differential Trip A	B Branch Zerc Differential Trip B	HV Auxiliary Transformer Non-electric Protection Device Loss Of Power
TA Disconnection A	TA Disconnection B	HV Auxiliary Transformer Heavy Gas Trip
TV Disconnection A	TV Disconnection B	Generator Trapping of water break
Over Excitation Alarm A	Over Excitation Alarm B	HV Auxiliary Transformer Oil High Temp Trip
Overload Alarm A	Overload Alarm B	HV Auxiliary Transformer Winding High Temp Trip
HV Auxiliary Transformer Overload Alarm A	Overload Alarm B	
Low Voltage Side Zero Sequence Voltage Alarm A	Low Voltage Side Zero Sequence Voltage Alarm B	
Over Temperature Alarm 1	Over Temperature Alarm 2	
Over Current Alarm 1	Over Current Alarm 2	
Earth Alarm 1	Earth Alarm 2	
Alarm Over Temp Alarm 1	Cabinet Over Temp Alarm 2	
Cabinet Humidity Alarm 1	Cabinet Humidity Alarm 2	
Power Loss Alarm 1	Power Loss Alarm 2	

### Lampiran A.4 One Line Diagram GT Unit 3 PLTU Pangkalan Susu



## Lampiran A.5 Settingan Proteksi



## LAMPIRAN B: DATA

### Lampiran B.1 Data *Overcurrent*

2. OCR (51/27GT)
  - OCR 1 ---Setting = 0,62 A 10 s Alram  
= 0,65 A 5,0 s Trip
  - OCR 2 --Setting = 1,9 A 2,0 s Trip

### Lampiran B.2 Data CT

#### B. TRANSFORMER

GT 260MVA 285kV/15,75kV  
Merk Shandong  
Posisi tap 5 = 285kV  
YNd11, Z = 14,28% 5 tap offload  
Tap 1= 315kV, 2 = 307,5kV, 3 = 300kV,  
4 = 292,5kV, 5 = 285kV.  
CT sisi 275kV = 1000/1A  
CT sisi 15,75kV= 12.000/5A  
CVT sisi 275kV= 275kV/0,11kV  
PT sisi 15,75kV= 15,75kV/0,11kV  
CT Titik Netral 275kV = 300/1A

UAT 31,5kV/20-20MVA  
Merk TBEA  
Dyn1 - yn0 - yn0

## BIODATA

### I. PERSONAL

Nama : Mhd. Dwi Al Hamda  
NIM : 190150015  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Alamat : Dusun II Lr. Umar, Desa Alur Cempedak,  
Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten  
Langkat, Sumatera Utara  
No. HP : 0895358329090  
Email : [dwi.190150015@mhs.unimal.ac.id](mailto:dwi.190150015@mhs.unimal.ac.id)



### II. ORANG TUA

Nama Ayah : Turmizi  
Pekerjaan : Sopir  
Umur : 53 Tahun  
Alamat : Dusun II Lr. Umar, Desa Alur Cempedak, Kecamatan  
Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara

Nama Ibu : Rafe'ah  
Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga  
Umur : 53 Tahun  
Alamat : Dusun II Lr. Umar, Desa Alur Cempedak, Kecamatan  
Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara

### III. PENDIDIKAN FORMAL

Asal SMK (Tahun) : SMA Negeri 1 Pangkalan Susu(2016-2019)  
Asal SLTP (Tahun) : SMP Negeri 1 Pangkalan Susu(2013-2016)  
Asal SD (Tahun) : SD Swasta Dharma Patra Pangkalan Susu(2007-2013)

### IV. SOFTWARE KOMPUTER YANG DIKUASAI

Jenis Software : Microsoft Office  
Tingkat Penguasaan : Intermediate  
Jenis Software : Canva  
Tingkat Penguasaan : Basic

### V. RIWAYAT ORGANISASI

Nama Organisasi : Himpunan Mahasiswa Langkat PK-UNIMAL  
Jabatan dan Periode : Ketua Bidang Sosial & Lingkungan Hidup periode  
2021  
Nama Organisasi : LDF FUAT Al-Muttaqin  
Jabatan dan Periode : Ketua Umum periode 2021  
Nama Organisasi : LDK Al-Kautsar  
Jabatan dan Periode : Ketua Umum periode 2022