

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA RELAI DIFERENSIAL PADA SISTEM  
PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA PLTA BAKARU**

**Disusun oleh :**

**CAESAR WILLIAM ALEXANDER  
NIM : D041181506**

**Dosen pembimbing :**

**Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, M.T.**

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada  
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA RELAI DIFERENSIAL PADA SISTEM  
PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA PLTA BAKARU**

**Disusun oleh :**

**CAESAR WILLIAM ALEXANDER  
NIM : D041181506**

**Dosen pembimbing :**

**Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, M.T.**

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada  
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA RELAI DIFERENSIAL PADA  
SISTEM PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA  
PLTA BAKARU**

Disusun oleh :

**CAESAR WILLIAM ALEXANDER  
D041181506**

Telah dipertahankan didepan sidang panitia ujian skripsi  
dan dinyatakan lulus  
Pada Tanggal 8 Agustus 2023

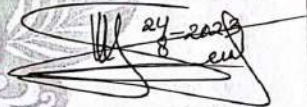
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.  
NIP. 197301118 199803 2 001



Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, M.T.  
NIP. 19590708 198802 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Dewiani, M.T.

NIP. 19691026 199412 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini  
Nama : Caesar William Alexander  
NIM : D041181506  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### ANALISIS KINERJA RELAI DIFERENSIAL PADA SISTEM PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA PLTA BAKARU

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 1 Agustus 2023

Yang menyatakan



Caesar William Alexander

## ABSTRAK

**CAESAR WILLIAM ALEXANDER**, *Analisis Kinerja Relai Diferensial Pada Sistem Proteksi Transformator Daya PLTA Bakaru* (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Yustinus Upa Sombolayuk)

Penyaluran daya listrik ke beban tidak terlepas dari timbulnya gangguan diberbagai komponen pada jaringan sistem, diantaranya dapat terjadi pada transformator daya disuatu pembangkit listrik sehingga setiap komponen yang terganggu harus segera diputuskan dari sistem untuk mencegah meluasnya kerusakan yang ditimbulkan. Relai diferensial adalah salah satu peralatan yang dipasang pada kedua terminal kumparan transformator daya untuk mendeteksi keadaan operasi abnormal dalam suatu pembangkit listrik. Fungsinya mendeteksi perbedaan arus yang tidak proporsional yang mengalir pada kedua ujung terminal kumparan transformator daya sebagai indikator adanya gangguan pada transformator daya. Selanjutnya mengirim sinyal ke pemutus daya, sehingga memutuskan suplai daya pada transformator daya. Penelitian ini bertujuan menentukan cara *setting* relai diferensial yang tepat, berdasarkan karakteristiknya agar dapat bekerja secara akurat sesuai fungsinya. Hal ini telah disimulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1, dengan studi kasus pada PLTA Bakaru dengan kapasitas daya terpasang 2 x 63 MW. Penentuan setting relai diferensial menggunakan slope titik curam. Secara analisis didapatkan setting *slope* 1 sebesar 9,51% dan *slope* 2 sebesar 19,02% sementara data terpasang (*existing*) setting *slope* 1 sebesar 8,87% dan *slope* 2 sebesar 17,74%. Berdasarkan penentuan setting relai diferensial menggunakan slope titik curam secara analisis dan data terpasang (*existing*) pada transformator daya, diperoleh bahwa setting relai diferensial dari hasil analisis lebih sensitif dengan sudut 5,43° dari setting terpasang dengan sudut 5,02°. Kemudian saat disimulasikan pada software ETAP 19.0.1, diperoleh arus gangguan hubung singkat tiga fasa internal dan eksternal, dimana pada saat gangguan hubung singkat internal, relai diferensial pada transformator daya PLTA Bakaru langsung bekerja mendeteksi adanya kondisi abnormal/gangguan di dalam trafo, sedangkan pada gangguan hubung singkat eksternal, relai diferensial tidak bekerja mendeteksi adanya kondisi abnormal/gangguan diluar daerah kerjanya.

Kata kunci : Deteksi gangguan, Transformator Daya, *Slope*, Relai Diferensial, Simulasi ETAP

## ABSTRACT

**CAESAR WILLIAM ALEXANDER**, Analysis of Differential Relay Performance in the Bakaru Power Transformer Protection System (supervised by Indar Chaerah Gunadin and Yustinus Upa Sombolayuk)

The distribution of electric power to the load is inseparable from the occurrence of disturbances in various components of the system network, which can occur in a power transformer in a power plant so that any disturbed components must be immediately disconnected from the system to prevent the spread of damage caused. Differential relay is one of the equipment installed on both terminals of a power transformer coil to detect abnormal operating conditions in a power plant. Its function is to detect the disproportionate current flowing at both ends of the power transformer coil terminals as an indicator of a disturbance in the power transformer. It then sends a signal to the power breaker, thereby cutting off the power supply to the power transformer. This study aims to determine how to set the right differential relay, based on its characteristics so that it can work accurately according to its function. This has been simulated using the ETAP 19.0.1 software, with a case study on the Bakaru hydropower with an installed power capacity of  $2 \times 63$  MW. Determination of differential relay settings using a steep point slope. Based on the analysis, the setting for slope 1 is 9.51% and slope 2 is 19.02%. Meanwhile, the installed data (existing) setting slope 1 is 8.87% and slope 2 is 17.74%. By simulating three-phase faults both inside the power transformer and outside the power transformer, it is found that the differential relay setting from the analysis results is more sensitive with an angle of  $5.43^\circ$  than the setting installed with an angle of  $5.02^\circ$ . Then when simulated in the ETAP 19.0.1 software, internal and external three-phase short circuit fault currents were obtained, where during an internal short circuit fault, the differential relay on the Bakaru hydropower power transformers immediately works to detect abnormal conditions/disturbances inside the transformer, whereas in external short circuit faults, the differential relay does not work to detect abnormal/disturbance conditions outside its working area

**Keywords :** Fault detection, Power Transformer, Slope, Differential Relay, ETAP Simulation

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	1
I.3 Tujuan Penelitian.....	2
I.4 Batasan Masalah.....	2
I.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>3</b>
II.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).....	3
II.2 Transformator .....	4
o II.2.1 Gangguan-Gangguan Pada Transformator .....	5
II.2.1.1 Gangguan Dalam .....	5
II.2.1.2 Gangguan Luar .....	6
II.3 Sistem Proteksi .....	7
II.3.1 Komponen-Komponen Pada Sistem Proteksi .....	7
II.4 Relai Diferensial .....	8
II.4.1 Prinsip Kerja Relai Diferensial.....	9
II.4.1.1 Pada Keadaan Normal.....	9
II.4.1.2 Pada Gangguan Diluar Daerah Proteksi.....	9
II.4.1.3 Pada Gangguan Didalam Daerah Proteksi .....	10
II.4.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proteksi Diferensial .....	10
II.4.3 Karakteristik Relai Diferensial .....	11
II.4.4 Penelitian Terkait yang Terdahulu.....	11

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>
III.1 Lokasi dan Waktu Pengambilan Data .....	14
III.2 Metode Penelitian.....	14
III.3 Metode Pengumpulan Data .....	14
III.4 Metode Analisis Data.....	14
III.4.1 Perhitungan <i>Setting</i> Relai Diferensial.....	15
III.4.1.1. Perhitungan Rasio CT .....	15
III.4.1.2. Perhitungan <i>Error Mismatch</i> .....	15
III.4.1.3. Perhitungan Arus Sekunder CT .....	16
III.4.1.4. Perhitungan Arus Diferensial.....	16
III.4.1.5. Perhitungan Arus <i>Restrained</i> .....	16
III.4.1.6. Perhitungan <i>Percent Slope</i> .....	17
III.4.1.7. Perhitungan Arus <i>Setting</i> .....	17
III.4.1.8. Gangguan Hubung Singkat Pada Transformator .....	18
III.5 Simulasi Menggunakan ETAP 19.0.1 .....	19
III.6 Alir Penelitian.....	20
III.7 Rancangan Penelitian .....	21
<b>BAB. IV HASIL DAN PENJELASAN.....</b>	<b>23</b>
IV.1 Sistem Kelistrikan PLTA Bakaru.....	23
IV.2 Data dan Informasi Yang Diperlukan .....	23
IV.2.1 Data Transformator.....	23
IV.2.2 Data Relai Diferensial .....	24
IV.3 Menghitung <i>Setting</i> Relai Diferensial Hasil Analisis .....	24
IV.3.1 Perhitungan Rasio CT .....	24
IV.3.2 Perhitungan <i>Error Mismatch</i> .....	25
IV.3.3 Perhitungan Arus Sekunder CT .....	26
IV.3.4 Perhitungan Arus Diferensial.....	26
IV.3.5 Perhitungan Arus <i>Restrained</i> .....	26
IV.3.6 Perhitungan <i>Percent Slope</i> .....	27
IV.3.7 Perhitungan Arus <i>Setting</i> .....	27
IV.4 Hasil Menghitung <i>Setting</i> Relai Diferensial dengan Data <i>Existing</i> .....	28
IV.4.1 Perhitungan Rasio CT .....	28



IV.4.2 Perhitungan <i>Error Mismatch</i> .....	29
IV.4.3 Perhitungan Arus Sekunder CT .....	29
IV.4.4 Perhitungan Arus Diferensial.....	29
IV.4.5 Perhitungan Arus <i>Restrain</i> .....	30
IV.4.6 Perhitungan <i>Percent Slope</i> .....	30
IV.4.7 Perhitungan Arus <i>Setting</i> .....	30
IV.5 Karakteristik Relai Diferensial.....	31
IV.5.1 Karakteristik <i>Slope</i> Relai Diferensial Hasil Analisis.....	31
IV.5.2 Karakteristik <i>Slope</i> Relai Diferensial Dengan Data <i>Exisitng</i> ...	32
IV.6 Pemodelan Single Line Diagram Menggunakan ETAP 19.0.1.....	33
IV.6.1 Simulasi Gangguan Dalam Transformator.....	34
IV.6.1.1 Titik Gangguan 1 di Sisi 11 kV Unit 1 .....	34
IV.6.1.2 Titik Gangguan 2 di Sisi 11 kV Unit 2.....	36
IV.6.1.3 Titik Gangguan 3 di Sisi 150 kV Unit 1.....	38
IV.6.1.4 Titik Gangguan 4 di Sisi 150 kV Unit 2.....	40
IV.6.2 Simulasi Gangguan Luar Transformator.....	42
IV.6.2.1 Titik Gangguan 5 di Sisi 11 kV Unit 1 .....	42
IV.6.2.2 Titik Gangguan 6 di Sisi 11 kV Unit 2.....	44
IV.6.2.3 Titik Gangguan 7 di Sisi 150 kV Unit 1.....	46
IV.6.2.4 Titik Gangguan 8 di Sisi 150 kV Unit 2.....	48
<b>BAB. V SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>50</b>
V.1 Simpulan.....	50
V.2 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	4
Gambar 2 Transformator Daya .....	4
Gambar 3 Inti Transformator .....	5
Gambar 4 Komponen Sistem Proteksi .....	8
Gambar 5 Rangkaian Relai Diferensial .....	8
Gambar 6 Relai Diferensial Pada Keadaan Normal.....	9
Gambar 7 Relai Diferensial Saat Terjadi Gangguan Diluar Daerah Proteksi .....	9
Gambar 8 Relai Diferensial Saat Terjadi Gangguan Didalam Daerah Proteksi ..	10
Gambar 9 Tampilan <i>Software</i> ETAP 19.0.1 .....	19
Gambar 10 Alir Penelitian .....	20
Gambar 11 Grafik Karakteristik Relai Diferensial Hasil Analisis.....	31
Gambar 12 Grafik Karakteristik Relai Diferensial dengan Data <i>Existing</i> .....	32
Gambar 13 <i>Single Line Diagram</i> PLTA Bakaru.....	33
Gambar 14 Titik Gangguan 1 di Sisi 11 kV Unit 1 .....	34
Gambar 15 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 1 .....	35
Gambar 16 Titik Gangguan 2 di Sisi 11 kV Unit 2 .....	36
Gambar 17 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 2 .....	37
Gambar 18 Titik Gangguan 3 di Sisi 150 kV Unit 1 .....	38
Gambar 19 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 3 .....	39
Gambar 20 Titik Gangguan 4 di Sisi 150 kV Unit 2 .....	40
Gambar 21 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 4 .....	41
Gambar 22 Titik Gangguan 5 di Sisi 11 kV Unit 1 .....	42
Gambar 23 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 5 .....	43
Gambar 24 Titik Gangguan 6 di Sisi 11 kV Unit 2 .....	44
Gambar 25 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 6 .....	45
Gambar 26 Titik Gangguan 7 di Sisi 150 kV Unit 1 .....	46
Gambar 27 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 7 .....	47
Gambar 28 Titik Gangguan 8 di Sisi 150 kV Unit 2 .....	48
Gambar 29 <i>Sequence of Operation Events</i> Titik Gangguan 8 .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hubungan Antar variabel Sebab dan Akibat .....	22
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian.....	22

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Lampiran 1. Hasil Uji Relai Diferensial pada <i>Main</i> Transformator .....</b>	<b>54</b>
<b>Lampiran 2. Hasil Uji Relai Arus Lebih pada <i>Main</i> Transformator .....</b>	<b>56</b>
<b>Lampiran 3. Hasil Uji Relai Arus Lebih pada <i>Main</i> Generator.....</b>	<b>59</b>

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Kinerja Relai Diferensial Pada Sistem Proteksi Transformator Daya PLTA Bakaru”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji penulis serta memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Ir. Zaenab Muslimin, M.T. selaku Dosen Penguji I dan Ibu Dr. Ir. Sri Mawar Said., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini
3. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu maupun pengalaman yang membantu dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh pihak PT. PLN (Persero) UPDK Bakaru, Unit Layanan Pusat Listrik Tenaga Air (ULPLTA) Bakaru khususnya bapak Kenno Robby Pradana atas segala waktunya dalam proses pengambilan data.
5. Ibu Dr. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.

7. Kedua Orang Tua tercinta, terima kasih atas doa dan dukungan yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
8. Teman-teman Asisten Praktikum Sistem Proteksi (Rahim, Iccang, Ardi, Aisyah, Skin, dan Firda.).
9. Teman-teman The Kelors (Rull, Adit, Gentle, Alba, Rio, Rahim dan Syahbrian) yang selalu menciptakan canda dan tawa kapanpun dan dimanapun itu.
10. CALIBRATOR atas kebersamaan, kerjasama, pengalaman serta motivasinya selama masa perkuliahan hingga saat ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan perlindungan kepada kita semua.

Gowa, 8 Agustus 2023

Penulis

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Kebutuhan listrik yang besar membuat perusahaan listrik negara harus menyediakan pasokan listrik yang cukup bagi kalangan masyarakat. Faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari energi listrik adalah tegangan, arus, dan daya listrik. Ketersediaan listrik tersebut tentunya harus juga memiliki sistem tenaga listrik yang handal. Di dalam sistem tenaga listrik memiliki 3 elemen utama yaitu pusat pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi.

Proses penyaluran listrik tidak dipungkiri bahwa akan terjadi gangguan-gangguan. Gangguan yang terjadi, salah satunya dapat dialami pada transformator daya. Dalam pengoperasiannya transformator daya dapat terjadi gangguan pada berbagai titik yang dapat digolongkan sebagai gangguan internal dan eksternal. Gangguan internal merupakan gangguan yang terjadi di dalam transformator itu sendiri. Sedangkan gangguan eksternal merupakan gangguan yang terjadi di luar transformator daya tetapi dapat menimbulkan gangguan pada transformator yang bersangkutan.

Gangguan-gangguan pada transformator sewaktu-waktu dapat terjadi, maka transformator tersebut dilengkapi dengan peralatan proteksi yang dipergunakan sesuai dengan permasalahan yang terjadi. Salah satu peralatan yang digunakan adalah relai diferensial yang bekerja apabila terdapat gangguan pada daerah di sekitar transformator dalam ruang lingkup yang diproteksi oleh relai diferensial. Untuk mencegah terjadinya keterlambatan kerja dari proteksi perlu dilakukan analisa keandalan sistem. Analisa tersebut dapat dilakukan menggunakan *software*. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, dilakukan penelitian yang berjudul “Analisis Kinerja Relai Diferensial Pada Sistem Proteksi Transformator Daya PLTA Bakar”

#### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang tertera sebelumnya, dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut :

1. Bagaimana proses dan langkah-langkah saat melakukan perhitungan *setting* relai diferensial pada transformator daya di PLTA Bakaru?
2. Bagaimana menentukan karakteristik relai diferensial pada transformator daya di PLTA Bakaru dari data *existing* dan secara analisis?
3. Bagaimana menentukan arus hubung singkat pada transformator daya di PLTA Bakaru dengan simulasi ETAP 19.0.1?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan laporan akhir ini adalah :

1. Menentukan proses dan langkah-langkah saat melakukan perhitungan *setting* relai diferensial pada transformator daya di PLTA Bakaru
2. Menentukan karakteristik relai diferensial pada transformator daya di PLTA Bakaru dari data *existing* dan secara analisis
3. Menentukan arus hubung singkat pada transformator daya di PLTA Bakaru menggunakan *software* ETAP 19.0.1

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini membahas tentang :

1. Sistem relai proteksi yang digunakan pada PLTA Bakaru dan besar arus *settingnya*
2. Mencari nilai arus *setting* relai diferensial secara analisis
3. Membandingkan nilai yang telah di dapatkan dari arus data *existing* dengan arus yang didapatkan secara analisis

### 1.5 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini dapat memberikan beberapa manfaat, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Hasil dari perhitungan ini dapat memberikan perlindungan pada sistem proteksi
2. Dapat menjelaskan karakteristik dari relai differensial pada transformator daya di PLTA Bakaru yang dihitung secara teori
3. Melindungi rangkaian agar tetap aman dari gangguan arus hubung singkat dari dalam dan dari luar



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

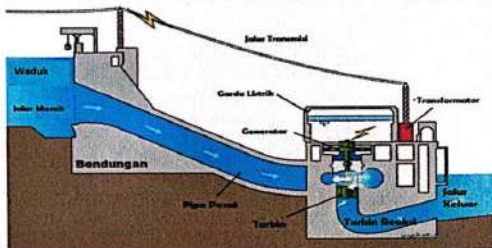
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sesuai dengan namanya menggunakan tenaga air sebagai sumber energi untuk memutar turbin. Selanjutnya putaran turbin digunakan untuk memutar generator. Energi berasal dari air yang berbeda pada ketinggian tertentu yang dialirkan melalui sudu-sudu turbin.

Dilihat dari posisi poros turbinnya, ada dua jenis PLTA yaitu PLTA dengan poros turbin horizontal dan PLTA dengan poros turbin vertikal. Masing-masing disesuaikan dengan keadaan dan lokasi air yang digunakan. Kemudian dari lokasi turbin airnya, ada dua macam yaitu PLTA dengan memanfaatkan energi ketinggian air yang ditampung di waduk, kemudian di tempat yang relatif rendah dibangun turbin air. Bila ketinggian air tidak mencukupi, maka turbin dibangun di daerah yang agak jauh dari lokasi waduk pada daerah aliran sungai tersebut yang mempunyai lokasi yang lebih rendah. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) memiliki prinsip kerja yang secara garis besar dapat diketahui sebagai berikut:

1. Air sungai yang mengalir ditampung di waduk sehingga mempunyai ketinggian tertentu. Di dekat waduk pada daerah yang lebih rendah dipasang turbin air.
2. Dari waduk air di alirkan ke turbin melalui pipa pesat. Aliran air diatur sesuai dengan kebutuhan turbin.
3. Air yang mengalir dengan tekanan tinggi digunakan untuk memutar turbin air
4. Selanjutnya air yang keluar turbin dialitkan kembali ke sungai untuk keperluan pengairan atau untuk keperluan lain.

Pada pipa pesat diperlukan pendatar air yang berfungsi mengendalikan tekanan pada pipa pesat ketika terjadi kerusakan pada turbin yang mengakibatkan aliran air terhambat.

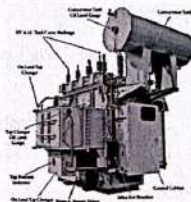
Dibandingkan dengan pembangkit jenis lain PLTA mempunyai keuntungan biaya operasionalnya relatif murah, akan tetapi pembangunannya sangat tergantung dari ketersediaan sumber air yang cukup banyak dan kontinu. Di samping itu pembangunannya memerlukan waktu yang lama dan membutuhkan lahan yang luas. (Suripto. 2014). Gambar 1 merupakan skema kerja dari pembangkit listrik tenaga air



Gambar 1 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (Webstudi.site, 2019)

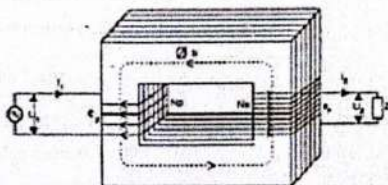
## 2.2 Transformator

Transformator merupakan 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 atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.



Gambar 2 Transformator Daya (Csanyi, 2020)

Gambar 2 merupakan salah satu contoh dari bentuk fisik transformator daya. Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbal balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak-balik, suatu fluks bolak-balik terjadi di dalam inti berlaminasi seperti pada gambar 3, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya,



Gambar 3 Inti Transformator (Fernandez, 2020)

dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya-gerak-listrik (ggl) sesuai dengan hukum- hukum induksi elektromagnetik Faraday, yaitu

$$e = M \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

dengan :

$e$  = gaya-gerak-listrik yang diinduksikan

$M$  = induktansi mutual

Bilamana rangkaian sekunder ditutup, maka arus akan mengalir dan dengan demikian energi listrik dipindah (sepenuhnya secara magnetik) dari kumparan primer ke kumparan sekunder. (Kadir, 2011)

## 2.2.1 Gangguan-Gangguan Pada Transformator

### 2.2.1.1 Gangguan Dalam

#### a. Gangguan pada sistem pendingin

Transformator daya menggunakan minyak transformator sebagai isolasi yang sekaligus merupakan bahan pendingin. Jika terjadi gangguan atau kerusakan di dalam transformator, maka dalam minyak

transformator akan terbentuk sejumlah gas

- b. Arus sirkulasi pada transformator
- c. Gangguan hubung singkat

Pada umumnya gangguan ini dapat dideteksi karena akan selalu timbul arus maupun tegangan yang tidak normal/tidak seimbang. Jenis gangguan ini antara lain, yaitu :

- 1) Gangguan hubung singkat antara fasa dengan tanah
- 2) Gangguan hubung singkat antara fasa dengan fasa
- 3) Kerusakan pada isolator transformator

### 2.2.1.2 Gangguan Luar

Jenis gangguan luar (*external fault*) ini dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Hubung singkat luar

Jenis hubung singkat jenis ini terjadi di luar transformator daya, misalnya: hubung singkat di bus, hubung singkat di *feeder* dan gangguan hubung singkat di sistem yang merupakan sumber bagi transformator daya tersebut. Gangguan ini dapat dideteksi karena timbulnya arus yang sangat besar, mencapai beberapa kali arus nominalnya

- b. Beban Lebih (*overload*)

Transformator daya dapat beroperasi secara terus menerus pada beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani lebih besar dari kapasitas transformator daya maka akan terjadi pemanasan lebih. Kondisi ini memungkinkan tidak segera menimbulkan kerusakan pada transformator daya, tetapi apabila berlangsung secara terus-menerus akan mengakibatkan umur isolasi menjadi pendek.

- c. Keadaan beban lebih berbeda dengan keadaan arus lebih

Pada beban lebih, besar arus hanya kira-kira 10% di atas nominal dan dapat diputuskan setelah berlangsung beberapa puluh menit. Sedangkan pada arus lebih, besar arus mencapai beberapa kali arus nominal dan harus secepat mungkin diputuskan (Fernandez, 2020)

### 2.3 Sistem Proteksi

Filosofi dasar dari sistem proteksi adalah bagaimana melindungi sistem tenaga listrik dari akses gangguan yang terjadi pada sistem, dengan cara memisahkan gangguan tersebut dari sistem lainnya dengan cepat dan tepat. Kualitas sistem proteksi yang diinginkan adalah cepat, selektif dan andal. (Tanyadji & Sarma Thaha, 2015)

Karakteristik relai proteksi yang baik digunakan yaitu :

- 1) Cepat
- 2) Sensitif
- 3) Selektif
- 4) Andal

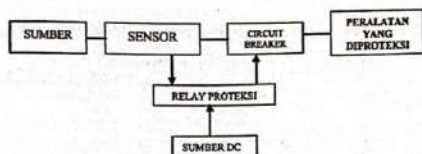
Relai proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. (Nasution, Pasaribu, Yusniati & Arfianda, 2019)

#### 2.3.1 Komponen-Komponen Pada Sistem Proteksi

Pada Gambar 4 terlihat komponen-komponen yang terdapat dalam satu sistem proteksi, komponen tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Peralatan yang diproteksi
2. *Sensor*, mendeteksi perubahan parameter sistem dari peralatan yang diproteksi
3. Relai Proteksi, adalah otak yang mengevaluasi apakah perubahan parameter tersebut sudah dapat dikategorikan sebagai kondisi gangguan atau tidak dan apabila hasil evaluasi tersebut dianggap sebagai gangguan maka relai proteksi tersebut akan mengeluarkan pertanda bahwa ada kondisi gangguan atau perintah eksekusi trip (membuka) *circuit breaker* yang terkait
4. *Circuit Breaker* adalah alat untuk menghubungkan atau memisahkan peralatan yang diproteksi dari sistem
5. Kawat penghantar, merupakan link yang menghantar informasi antara

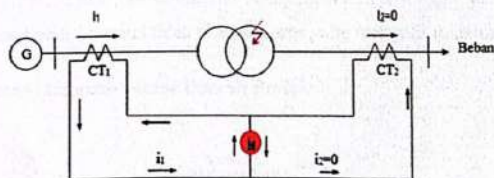
peralatan-peralatan tersebut (Tanyadji & Sarma Thaha, 2015)



Gambar 4 Komponen Sistem Proteksi (Tanyadji & Sarma Thaha, 2015)

## 2.4 Relai Diferensial

Relai diferensial adalah relai yang bekerja berdasarkan Hukum Kirchoff, dimana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Titik yang dimaksud pada proteksi diferensial ialah daerah pengaman, dalam hal ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus. Relai diferensial membandingkan arus yang melalui daerah pengaman



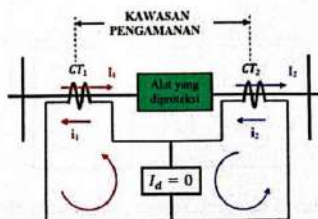
Gambar 5 Rangkaian Relai diferensial (Primawati, 2019)

Gambar 5 merupakan contoh rangkaian dari relai diferensial. Fungsi relai diferensial pada trafo tenaga adalah mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam transformator, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau antara kumparan dengan tangki. Relai ini harus bekerja kalau terjadi gangguan di daerah pengamanan, dan tidak akan bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan. Relai ini merupakan unit pengamanan dan mempunyai selektivitas mutlak.

## 2.4.1 Prinsip Kerja Relai Diferensial

Prinsip kerja relai diferensial terjadi dalam tiga keadaan sebagai berikut :

### 2.4.1.1 Pada Keadaan Normal



Gambar 6 Relai Diferensial Pada Keadaan Normal  
(Muharram, 2018)

Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan/instalasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya dan arus-arus transformator arus, yaitu I<sub>1</sub> dan I<sub>2</sub> bersirkulasi, jika relai diferensial di pasang antara terminal 1 dan terminal2. Maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya.

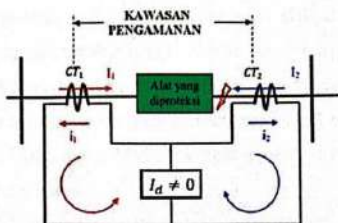
### 2.4.1.2 Pada Gangguan Diluar Daerah Proteksi



Gambar 7 Relai Diferensial Saat Terjadi Gangguan Diluar Daerah Proteksi  
(Muharram, 2018)

Bila dalam keadaan gangguan diluar dari transformator daya yang di proteksi (*external fault*) seperti pada gambar 7, maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi tetap sama dengan pada kondisi normal dengan demikian diferensial tidak akan bekerja.

### 2.4.1.3 Pada Gangguan Didalam Daerah Proteksi



Gambar 8 Relai Diferensial saat Terjadi Gangguan Didalam Daerah Proteksi

(Muharram, 2018)

Jika gangguan terjadi di dalam daerah proteksinya pada transformator daya yang di proteksinya *internal fault* maka arah sirkulasi arus di salah satu sisi akan terbalik, menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus diferensial akan mengalir melalui relai diferensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus didalam relai, selanjutnya relai tersebut akan mengoperasikan CB untuk memutus. Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akan ada arus yang mengalir melalui operating coil relai diferensial, tetapi setiap gangguan yang mengakibatkan arus yang mengalir melalui *operating coil* relai diferensial, maka relai diferensial akan bekerja dan memberikan perintah *trip* kepada *circuit breaker* sehingga transformator daya yang terganggu dapat diisolir dari sistem tenaga listrik (Monita, 2020)

### 2.4.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proteksi Diferensial

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam penggunaan proteksi diferensial, antara lain :

1. Arus *Inrush*. Ini merupakan fenomena umum yang dapat terjadi pada suatu gangguan internal (arus menuju tetapi tidak keluar dari Transformator)
2. Level tegangan yang berbeda dan karenanya CT yang digunakan dari tipe, *ratio* dan karakteristik unjuk kerja yang berbeda pula.
3. Pergeseran fasa pada bank Transformator hubungan Y-Δ
4. Tap transformator untuk kendali tegangan



5. Pergeseran fasa dan atau *tap* tegangan pada transformator regulasi

#### 2.4.3 Karakteristik Relai Diferensial Transformator

Untuk penggunaan pada transformator relai differensial menjadi sedikit kurang sensitif dan dengan karakteristik relai diferensial tipe persentase antara 20% dan 60%. Hal ini memungkinkan penggunaan CT dengan *ratio*, tipe, karakteristik berbeda, perbedaan level arus *energize* primer, perbedaan *tap* transformator bila digunakan tipe ini. Untuk menghindarkan operasi yang tidak diinginkan akibat terjadi arus *inrush* relai harus:

1. Didesain tidak sensitif terhadap transien arus *inrush*
2. Menggunakan arus *inrush harmonic* untuk mencegah operasi
3. Mencegah operasi untuk sementara selama periode *energize* (Yudha, 2008)

Dalam karakteristik relai diferensial juga dapat ditentukan nilai sudut dari slope dengan rumus yaitu,

$$\tan \alpha = \frac{|I_d|}{|I_r|} \quad (2)$$

dengan :

$I_d$  = Arus diferensial

$I_r$  = Arus Restrain (Tanyadji & Sarma Thaha, 2015)

#### 2.4.4 Penelitian Terkait yang Terdahulu

Hasil penelitian yang berjudul Analisis Performa Relay Differensial Pada Transformator 1 GIS *NEW* Senayan yang dilakukan oleh Guntur Prip Kristo Siringorino pada tahun 2016 dapat diambil kesimpulan bahwa dari pengelolaan data yang dilakukan peneliti didapatkan rasio CT1 sebesar 300 : 1 dan rasio CT2 sebesar 2000:1, nilai error mismatch yang didapatkan sebesar 0,037% dan 0,00065 %, untuk nilai arus sekunder didapatkan Is1 sebesar 0,7689 A dan Is2 sebesar 0,88 A. Untuk arus diferensial didapatkan sebesar 0,1162 A dengan arus restrain sebesar 0,8728 A. Lalu slope 1 didapatkan sebesar 14% dan slope 2 didapatkan sebesar 28,1%. Dan untuk arus setting 1 sebesar 0,1162 A dan arus setting 2 sebesar 0,23263 A. Kemudian untuk mencari grafik relai diferensial bias dengan

cara  $y = I_{\text{restrain}} \times (\text{Slope1} - \text{endsection}) + I_{\text{diff}}$ . Dengan Sumbu X = Irestrain dan sumbu Y= Idifferensial. Saat disimulasikan pada software ETAP 16.0, kita mendapatkan nilai arus hubung singkat internal dan eksternal, dimana pada saat gangguan hubung singkat internal dan eksternal, dimana pada saat gangguan internal didapat nilai arus gangguannya sebesar 2356 A dengan arus differensial sebesar 6,9673 A > 0,3 A yang membuat relai differensial langsung mengamankan daerah kerjanya, sedangkan pada gangguan eksternal arus hubung singkatnya sebesar 1108 A dengan arus differensial sebesar 0,2158 A lebih kecil Id 0,3 A, maka relai tidak bekerja melindungi daerah kerjanya. (Siringorino,2016)

Penelitian yang berjudul Analisis Performa Relay Differensial Transformator Pada Gardu Induk Cilegon Lama yang dilakukan Muhammad Rizki Muharram pada tahun 2018 dapat diambil kesimpulan dari perhitungan gangguan yang dilakukan, relay akan bekerja jika terjadi gangguan sebesar 600 A pada sisi 150 kV dan 8000 A pada sisi 20 kV jika menggunakan setting relay differensial dari hasil perhitungan. Kemudian setting relay differensial hasil perhitungan teori tidak dapat digunakan di GI Cilegon Lama karena dapat menyebabkan seringnya trip yang menghambat proses distribusi energy listrik dan menyebabkan banyaknya energy listrik terbuang. Pada karakteristik relay differensial, setting slope1 nilainya lebih kecil dari setting slope2. Untuk setting relay differensial hasil perhitungan teori nilai slope1 sebesar 11,76% dan nilai slope2 sebesar 23,53%, sedangkan untuk setting relay differensial GI Cilegon Lama nilai slope1 sebesar 30% dan nilai slope2 sebesar 80%. (Muharram, 2018)

Hasil penelitian yang berjudul Analisis Kinerja Proteksi Relai Differensial Pada Transformator Daya di Gardu Induk 150 kV Blora Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0 yang dilakukan Andreas Hendratmoko pada tahun 2021 dapat disimpulkan arus sekunder pada CT adalah hasil dari keluaran trafo arus, dimana hasil yang didapatkan dalam perhitungan yaitu pada sisi 150kV yaitu 3,89 A, sedangkan pada sisi 20 kV yaitu 4,33 A. Error mismatch yang didapatkan dalam hasil perhitungan matematis pada sisi 150 kV sebesar 0,17% sementara pada sisi 20 kV sebesar 0,22%. Hasil ini sesuai dengan standar yang ditentukan karena tidak lebih dari 5%. Nilai persen slope yang didapatkan dari perhitungan matematis yaitu slope1 sebesar 12% sedangkan slope2 sebesar 24%. Nilai arus setting relai

diferensial yang didapatkan dari perhitungan matematis adalah 0,48 A. Perbandingan antara hasil dari perhitungan dengan hasil dari uji lapangan yang dilakukan di gardu induk Blora nilainya berbeda karena pada perhitungan matematis tidak menyertakan arus inrush dan juga arus eksitasi. Hasil simulasi dengan menggunakan software ETAP memiliki 2 hasil yaitu saat terjadi gangguan internal dan saat terjadi gangguan eksternal. Pada gangguan internal relai diferensial mendeteksi adanya gangguan dan memerintahkan CB untuk trip, sedangkan pada gangguan eksternal relai diferensial tidak berkerja karena relai diferensial tidak bias mendeteksi gangguan eksternal, tetapi sudah ada relai OCR yang bekerja saat terjadinya gangguan eksternal. (Hendratmoko,2021)

Penelitian yang berjudul Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar yang dilakukan oleh Nor Ria Fitriani pada tahun 2017 dapat disimpulkan bahwa arus rating didapat dengan cara menghitung arus nominal pada transformator daya. Arus rating nantinya akan digunakan untuk menentukan rasio CT yang terpasang pada trafo daya. Lalu rele diferensial akan bekerja apabila nilai arus diferensial melebihi arus setting dan sebaliknya. Batas arus nominal yang mengalir pada trafo daya sisi tegangan rendah adalah 496,44 A, apabila melebihi arus nominal yang diizinkan maka rele diferensial akan mendeteksi adanya gangguan dan mengintruksikan PMT untuk memutuskan (*trip*). Arus setting yang didapat dari hasil perhitungan yaitu 0,3 A dan diharapkan dengan setting tersebut system proteksi transformator dapat bekerja dengan optimal. (Fitriani,2017)

Penelitian yang berjudul Studi Evaluasi Setting Sistem Relai Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 786 MVA di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2 yang dilakukan Ardiyanto pada tahun 2020 dapat disimpulkan bahwa dari perhitungan arus rating didapat hasil pada sisi primer (22,8 kV) sebesar 21893,74 A dan pada sisi sekunder (525 kV) sebesar 950,8 A. Hasil ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan rasio CT yang ada pada transformator. Lalu hasil yang didapat dalam perhitungan arus diferensial sebesar 1,1 A. Perhitungan tap *auxiliary* didapatkan hasil 6,27 : 5 A. Dari perhitungan diatas arus setting relai diferensial didapat nilai sebesar 1,1 A jika arus melebihi arus setting ini maka relai akan bekerja. (Ardiyanto,2020)