

SKRIPSI
PEMBUATAN MODUL *DIFFERENTIAL RELAY* UNTUK PROTEKSI
TRANSFORMATOR

Disusun dan diajukan oleh

ARYAWANSA
D411 16 317



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
PEMBUATAN MODUL *DIFFERENTIAL RELAY* UNTUK PROTEKSI
TRANSFORMATOR

Disusun dan diajukan oleh :

ARYAWANSA
D411 16 317

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 10 Maret 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

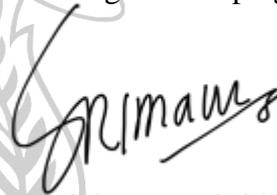
Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT
NIP. 19731118 199803 2 001



Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT
NIP. 19601106 198601 2 001

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Aryawansa
NIM : D41116317
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pembuatan Modul Differential Relay untuk Proteksi Transformator

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

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

Makassar, 19 Maret 2021

Yang Menyatakan



Aryawansa

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan karunia-Nya lah sehingga penulisan laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada pendidikan Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah “Pembuatan Modul Differential Relay untuk Proteksi Transformator.”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi masih terdapat kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik, segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua dan Keluarga, terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis terutama pengorbanan dalam bentuk materi yang diberikan selama perkuliahan.
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT selaku Pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan laporan skripsi ini.
4. Bapak Prof Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT dan Ibu Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Segenap Dosen Departemen Teknik Elektro, atas segala ilmu yang bermanfaat, wawasan dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis.
6. Segenap Staf pegawai Departemen Teknik Elektro, yang telah banyak membantu dalam hal administrasi.

7. Seluruh teman-teman EXCITER16, yang menjadi teman seperjuangan penulis selama perkuliahan.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Makassar, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Umum	4
2.2 Gangguan Pada Transformator Daya	5
2.3 Sistem Proteksi	7
2.3.1 Pembagian Daerah Proteksi	8
2.3.2 Komponen Peralatan Proteksi	9
2.3.3 Proteksi Diferensial pada Transformator Daya	10
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Jenis Penelitian	18
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	18
3.3 Alat dan Bahan	18

3.4	Metode Penelitian	18
3.5	Data Penelitian.....	19
3.6	Pengambilan Data	24
3.7	Diagram Alir	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Perhitungan Teori Setting Diferensial Relai.....	29
4.2	Diferensial Relai Gangguan Dalam Zona.....	30
4.3	Diferensial Relai Gangguan Luar Zona	35
4.4	Karakteristik %bias <i>Slope</i> Diferensial Relai	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Simpulan.....	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN.....		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk Umum Transformator	4
Gambar 2. 2 Pembagian Daerah Proteksi Pada Sistem Tenaga.....	8
Gambar 2. 3 Rangkaian Differential Relay keadaan arus normal.....	12
Gambar 2. 4 Differensial Relay saat Gangguan dalam Zona.....	13
Gambar 2. 5 Differensial Relay saat Gangguan luar Zona	13
Gambar 2. 6 Percentage differential relay.....	14
Gambar 2. 7 Karakteristik operasi percentage differential relay	16
Gambar 2. 8 Gambar spring yang menghasilkan efek pegas pada karakteristik operasi PDR	16
Gambar 3. 1 Tata Letak Differential Relay pada Trainer	19
Gambar 3. 2 Transformator.....	20
Gambar 3. 3 Beban Resistif	21
Gambar 3. 4 Panel CT.....	21
Gambar 3. 5 Dual slope karakteristik.....	22
Gambar 3. 6 Circuit Diagram Simulasi Gangguan Diferensial Relai	24
Gambar 3. 7 Circuit Diagram Simulasi Karakteristik %bias Slope Diferensial Relai	24
Gambar 3. 8 Flowchart.....	28
Gambar 4. 1 Karakteristik Slope ketika Gangguan dalam Zona.....	34
Gambar 4. 2 Karakteristik Slope ketika Gangguan luar Zona	40
Gambar 4. 3 Hubungan Setting Slope 1 terhadap Arus Diferensial	44
Gambar 4. 4 Karakteristik Slope ketika %bias Slope 20% (Trip)	45
Gambar 4. 5 Karakteristik Slope ketika %bias Slope 20% (No Trip)	45
Gambar 4. 6 Karakteristik Slope ketika %bias Slope 40% (Trip)	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Transformator pada Trainer.....	20
Tabel 3. 2 Data Sumber 3 Fasa pada Trainer	20
Tabel 3. 3 Data Beban pada Trainer.....	20
Tabel 3. 4 Data CT pada Trainer.....	21
Tabel 3. 5 Wiring Diagram Simulasi Gangguan Diferensial Relai.....	25
Tabel 3. 6 Wiring Diagram Simulasi Karakteristik %bias Slope Diferensial Relai	25
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Diferensial Gangguan Dalam Zona	30
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Diferensial Gangguan Luar Zona	35
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Karakteristik %bias Slope Diferensial Relai	41
Tabel 4. 4 Perhitungan Simulasi Karakteristik %bias Slope Diferensial Relai	43

ABSTRAK

Aryawansa, Pembuatan Modul Differential Relay untuk Proteksi Transformator (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Sri Mawar Said)

Modul merupakan sebuah buku yang ditulis dengan tujuan agar peserta didik dapat belajar secara mandiri tanpa arahan atau bimbingan pengajar. Pembuatan modul ini bertujuan untuk menjadi acuan bagi mahasiswa untuk melakukan praktikum pada Laboratorium Relai Proteksi dan Pengukuran Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Simulasi yang digunakan adalah berupa alat *trainer* diferensial relai. Diferensial relai merupakan sistem proteksi utama pada transformator yang melindungi transformator dari gangguan, dalam pembuatan modul data diperlukan yaitu simulasi diferensial berupa gangguan dalam zona, gangguan luar zona dan uji karakteristik %bias *slope* pada diferensial relai. Hasil yang diperoleh yaitu pertama untuk gangguan dalam zona, dari 3 gangguan yang diberikan didapatkan nilai arus primer $\pm 47\%$ dan arus sekunder $\pm 17\%$ dengan respon relai memberi sinyal trip. Selanjutnya gangguan luar zona (L-G) pada fasa R terjadi kenaikan arus dari 0,615 – 0,889 A pada sisi primer dan 1,089 – 1,687 A pada sisi sekunder pada beban 125 Ω dengan respon relai memberi sinyal tidak trip. Kemudian uji karakteristik %bias *slope* pada diferensial relai memperlihatkan pengaruh *slope* terhadap besar arus diferensial, dimana ketika setting *slope* semakin besar maka arus diferensial juga akan semakin besar.

Kata kunci : Modul, Diferensial relai, Transformator, Slope, Trip, Dalam zona, Luar zona

ABSTRACT

Arywansa, Making Differential Relay Module for Transformer Protection (supervised by Indar Chaerah Gunadin and Sri Mawar Said)

A module is a book written with the aim that students can learn independently without teacher guidance or guidance. The purpose of making this module is to become a reference for students to do practicum at the Protection and Measurement Relay Laboratory of the Department of Electrical Engineering, Hasanuddin University. The simulation used is a relay differential trainer tool. Relay differential is the main protection system in the transformer that protects the transformer from interference, in the manufacture of the data module it is necessary to simulate the differential in the form of in-zone disturbances, out-of-zone faults and test the % slope bias characteristics of the relay differential. The results obtained are first for the fault in the zone, from the 3 disturbances given, the primary current value is $\pm 47\%$ and the secondary current is $\pm 17\%$ with the relay response giving a trip signal. Furthermore, out-of-zone disturbances (L-G) in phase R occur an increase in current from 0.615 - 0.889 A on the primary side and 1.089 - 1.687 A on the secondary side at 125 Ω load with the relay response giving a signal not to trip. Then the % bias slope characteristic test on the relay differential shows the effect of the slope on the magnitude of the differential current, where when the slope setting is greater, the differential current will also be greater.

Keywords: Module, Relay differential, Transformer, Slope, Trip, In zone, Outside zone

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium Relai Proteksi dan Pengukuran Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin merupakan laboratorium yang terfokus pada bidang sistem proteksi tenaga listrik. Laboratorium ini digunakan sebagai sarana praktikum bagi mahasiswa semester berjalan maupun mahasiswa semester akhir untuk melakukan penelitian. Seluruh mahasiswa yang mengambil konsentrasi pada bidang arus kuat wajib mempelajari sistem proteksi. Namun karena adanya pengembangan kurikulum dan pembaharuan peralatan praktikum pada laboratorium relai proteksi dan pengukuran, maka laboratorium belum memiliki modul yang memadai yang dapat digunakan sebagai panduan dalam proses praktikum.

Dalam melakukan praktikum peran modul sangat penting, akan tetapi pada kenyataannya pada laboratorium relai proteksi dan pengukuran belum terdapat modul yang memadai yang bisa digunakan sebagai panduan dalam proses praktikum. Maka diperlukan sebuah modul yang dapat menjadi acuan bagi mahasiswa untuk melakukan praktikum.

Salah satu praktikum sistem proteksi yang sangat penting dalam bidang proteksi yaitu proteksi pada transformator. Transformator merupakan salah satu peralatan sistem tenaga listrik yang penting dalam proses penyaluran energi listrik, mulai dari pembangkit listrik hingga pendistribusian energi listrik menuju beban listrik. Agar transformator dapat terus bekerja dengan baik dan terhindar dari kerusakan maka perlu dipasangkan alat proteksi.

Salah satu peralatan yang terdapat dalam laboratorium relai proteksi dan pengukuran adalah differential relay trainer. Alat ini dapat digunakan sebagai alat simulasi untuk menganalisis gangguan pada transformator. Sehingga untuk melakukan pengambilan data yang terarah dan memudahkan proses praktikum maka penulis merasa perlu dilakukan pembuatan modul praktikum.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan sebuah penelitian mengenai “Pembuatan Modul *Differential Relay* untuk Proteksi Transformator”. Dimana modul ini kelak akan digunakan untuk melakukan praktikum bagi mahasiswa Teknik elektro Universitas Hasanuddin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan yaitu :

1. Bagaimana membuat modul diferensial relai untuk proteksi transformator ?
2. Bagaimana respon diferensial saat ada gangguan di dalam maupun di luar di zona?
3. Bagaimana cara menguji sensitifitas dari diferensial relai ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Membuat modul diferensial relai untuk proteksi transformator.
2. Melihat respon diferensial saat ada gangguan di dalam maupun di luar di zona.
3. Melihat sensitifitas dari diferensial relai

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini, yaitu :

1. Jenis relai yang digunakan yaitu *Persentase Differential Relay*
2. *Differential Relay* yang digunakan dalam penelitian ini adalah trainer pada laboratorium.
3. Peralatan yang diproteksi yaitu transformator yang berada pada *trainer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat memberikan kontribusi yang baik terhadap dunia pendidikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan terkhusus untuk Laboratorium relai dan pengukuran.

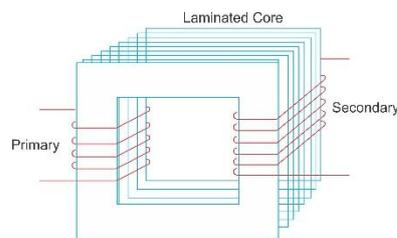
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada sistem pendistribusian sistem tenaga diperlukanlah suatu peralatan yang bertujuan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka peralatan yang digunakan adalah transformator yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu: Transformator *Step-Up* yang dapat menaikkan tegangan dan Transformator *Step-Down* untuk menurunkan tegangan.

Pada Gambar 2.1 ini merupakan gambaran umum tentang transformator dimana terdapat bagian-bagian yang membentuknya. Pada transformator terdapat dua sisi, yaitu sisi primer atau masukan terdapat sisi sekunder dimana sisi tersebut merupakan sisi keluaran trafo. Pada trafo *Step-Up*, sisi jumlah belitan disisi primer lebih banyak daripada jumlah belitan disisi sekunder. Demikian pula sebaliknya, pada trafo *Step-Down* belitan disisi sekunder jumlahnya lebih banyak dari sisi primernya.



Gambar 2. 1 Bentuk Umum Transformator

Bagian inti besi berfungsi sebagai lintasan jalan fluks yang ditimbulkan oleh arus listrik melalui kumparan. Inti besi terbuat dari lempengan besi tipis berisolasi tujuannya untuk mengurangi panas (rugi-rugi besi) akibat dari *Eddy Current*. Pada trafo terdapat kumparan yang terbentuk oleh beberapa lilitan kawat berisolasi. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan bahan isolasi padat (karton, pertinax, dan lain-lain). Fungsi utama dari kumparan adalah sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

Pada dasarnya prinsip kerja transformator berkerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Saat kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka akan menyebabkan medan magnet yang berubah-ubah pada kumparan primer. Dimana tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh inti besi, lalu dihantarkan oleh inti besi menuju kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder [1].

2.2 Gangguan Pada Transformator Daya

Macam- macam gangguan transformator dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Gangguan luar (*External Fault*)

Gangguan luar dimaksud adalah gangguan yang terjadinya diluar daerah pengaman transformator yang dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Gangguan-gangguan tersebut antara lain:

1) Beban lebih (*Overload*)

Pembebanan lebih yang melampaui kapasitasnya menyebabkan pemanasan yang berlebihan akibat kenaikan suhu. Suhu yang tinggi dapat mengakibatkan

- a) Memperpendek umur transformator (*Life time*).
- b) Merusak isolasi dan material belitan .

Kenaikan suhu pada trafo dapat dideteksi oleh Temperatur relai, dimana temperature relai juga berfungsi untuk mengontrol suhu transformator dengan menjalankan cooling fan.

2) Hubung singkat diluar (*External short circuit*)

Terjadinya hubung singkat baik fasa ke fasa maupun fasa ke tanah diluar daerah pengaman transformator dapat merusak

bagian-bagian transformator akibat arus hubung singkat yang besar. Untuk proteksi yang dapat digunakan yaitu *overcurrent relay*.

b. Gangguan dalam (*Internal fault*)

Gangguan dalam yang dimaksudkan adalah gangguan yang bersumber dan dalam transformator itu sendiri. Gangguan dalam pada transformator dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a) Gangguan listrik

Gangguan ini tergolong gangguan berat yang umumnya adalah gangguan listrik dan langsung dapat menyebabkan kerusakan pada bagian-bagian transformator. Gangguan tersebut antara lain :

- Gangguan hubung singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah pada terminal belitan tegangan tinggi atau rendah.
- Gangguan hubung singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah pada belitan tegangan tinggi atau rendah.
- Hubung singkat diantara gulungan lilitan tegangan tinggi atau rendah.
- Hubung singkat pada lilitan tertier atau hubung singkat diantara belitan tertier.

b) Gangguan awal

Gangguan ini sering diistilahkan (*Incipient Fault*) yang gangguan yang tergolong ringan dan berawal dari gangguan kecil namun kemudian secara perlahan-lahan berkembang menjadi gangguan berat dan mengakibatkan kerusakan apabila tidak segera terdeteksi. Gangguan-gangguan tersebut antara lain :

- Kendornya baut-baut atau ring pada terminal konduktor.

- Gangguan pada inti besi akibat kerusakan laminasi isolasi yang menimbulkan percikan bunga api dibawah minyak.
- Gangguan di sistem pendingin, seperti kerusakan pada pompa sirkulasi minyak, kipas pendingin dan bagian-bagian dari sistem pendingin lainnya yang dapat menyebabkan kenaikan suhu operasi yang tinggi, meskipun transformator masih beroperasi dibawah beban penuh.
- Adanya kemungkinan pengentalan minyak atau kebuntutan pada bagian-bagian tertentu, sehingga sirkulasi minyak menjadi terganggu yang dapat mengakibatkan pemanasan setempat pada bagian belitan.
- Gangguan atau tidak berfungsinya bagian-bagian mekanik dari tap perubah beban (*Load tap changer*) akibat pemasangan yang kurang sempurna (*Loss contact*, getaran dan lain sebagainya).
- Kebocoran minyak dari bagian las-lasan.
- Gangguan pada terminal bushing akibat adanya kontaminasi, keretakan, penuaan dan binatang [2].

2.3 Sistem Proteksi

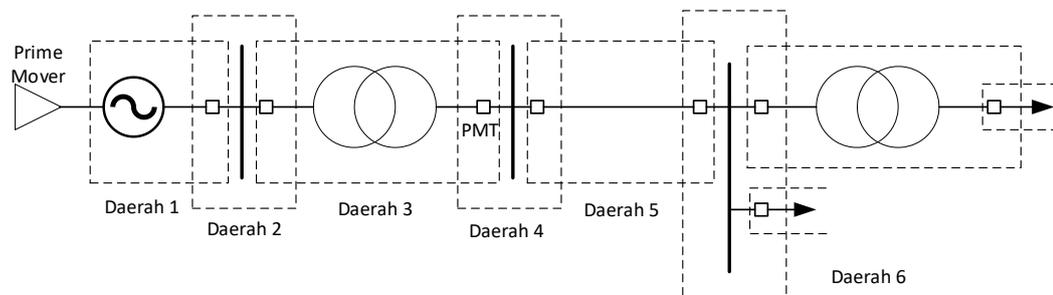
Dalam suatu penyediaan tenaga listrik berupa fasilitas-fasilitas pembangkitan, transmisi dan distribusi demikian besarnya sehingga harus diatur agar seluruh sistem tidak hanya dioperasikan dengan efisiensi yang tinggi, tetapi seluruh peralatan juga harus dilindungi dan diamankan terhadap kerusakan.

Pada saluran kelistrikan untuk mengisolir bagian yang terkena gangguan digunakan relai proteksi yang masing-masing mempunyai daerah pengamanan tersendiri. Maksud dan kegunaan sistem proteksi adalah untuk mengamankan

peralatan dari keadaan abnormal sedini mungkin sehingga gangguan tersebut tidak sempat mengakibatkan kerusakan yang semakin besar pada peralatan. Untuk menghindari kerusakan yang semakin besar, maka diperlukan sistem proteksi yang dapat menjamin peralatan listrik dalam keadaan yang aman dari gangguan dan kerusakan yang fatal [2].

2.3.1 Pembagian Daerah Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik dibagi ke dalam seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT. Tiap seksi memiliki relai pengaman dan memiliki daerah pengamanan (*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka relai akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan trip. Gambar 2.2 berikut ini dapat menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi.



Ket :

- Daerah 1 : Zona Pembangkit
- Daerah 2 : Zona Bus
- Daerah 3 : Zona Transformator Daya 6,6 kv / 150 kv
- Daerah 4 : Zona Bus
- Daerah 5 : Zona Saluran Transmisi
- Daerah 6 : Zona Saluran Distribusi 150 kv / 20 kv

Gambar 2. 2 Pembagian Daerah Proteksi Pada Sistem Tenaga

Pada Gambar 2.2 di atas dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua buah pemutus

rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan. Batas setiap daerah menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah terjadinya pemadaman [3].

2.3.2 Komponen Peralatan Proteksi

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

1. Relai Proteksi

Relai adalah sebuah alat yang bekerja secara elektromagnetis mengatur dan memasukkan suatu rangkaian listrik (*rangkaian trip atau rangkaian alarm,*) akibat adanya perubahan rangkaian lain.

Relai proteksi adalah suatu relai listrik yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik terhadap kondisi abnormal. Relai proteksi pembangkit adalah suatu relai proteksi yang digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik seperti generator, trafo utama, trafo bantu dan motor-motor listrik pemakaian sendiri suatu pembangkit [2].

2. Pemutus Tenaga (PMT)

Dari semua peralatan yang diklasifikasikan sebagai peralatan hubung, pemutus tenaga dirancang untuk memutus arus gangguan tingkat paling tinggi didalam sistem. Disamping itu ia dapat juga memutus arus tingkat rendah seperti arus magnetisasi transformator, arus pengisian jaringan sebagaimana juga arus beban sepeka semua peralatan hubung, pemutus tenaga beroperasi untuk memisahkan konduktor listrik yaitu kontak-kontak [2].

3. Transformator Ukur (*Instrument Transformer*)

Instrument transformer digunakan dalam sistem operasi ac untuk mendapatkan parameter arus dan tegangan, yang digunakan untuk indikasi, inputan bagi meter-meter, relai proteksi, alarm dan tujuan lainnya. *Instrument transformer* memungkinkan pemasangan alat ukur dan relai menjadi lebih mudah, murah dan andal. Bila pemasangan dilakukan langsung dari sisi tegangan primer (tinggi) tentunya menjadi lebih sulit. Dengan menggunakan *instrument transformer*, alat-alat ukur dan relai dapat dipasang jauh dari sistem yang akan diukur maupun diproteksi [4].

Berdasarkan fungsinya *instrument transformer* terbagi atas 2 jenis, yaitu :

a. Trafo Tegangan (*Potential Transformer – PT*)

Pada dasarnya trafo tegangan berfungsi untuk :

- 1) Mentransformasikan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah guna pengukuran dan proteksi.
- 2) Sebagai isolasi antara sisi tegangan tinggi atau yang diukur/diproteksi dengan alat ~ ukurnya atau alat proteksinya.

b. Trafo Arus (*Current Transformer – CT*)

Trafo arus berfungsi untuk :

- 1) Mentransformasikan besaran arus dari nilai arus yang besar ke arus yang kecil yang digunakan untuk pengukuran dan proteksi.
- 2) Sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau di proteksi dengan alat ukurnya atau alat proteksinya.

2.3.3 Proteksi Diferensial pada Transformator Daya

Pengembangan suatu sistem tenaga listrik berbanding lurus dengan majunya perkembangan teknologi. Dengan teknologi yang semakin modern akan membuat semakin handalnya sistem proteksi yang digunakan pada transformator daya.

Proteksi transformator daya pada prinsip kerjanya dilakukan dengan menghindarkan transformator daya mengalami panas yang berlangsung pada kurun

waktu yang cukup lama. Hal ini membuktikan bahwa transformator daya harus diisolasi untuk menghindari terjadinya gangguan. Secara teknis dan ekonomis, transformator daya kecil dapat diamankan menggunakan relai arus lebih, sedangkan untuk transformator daya yang berukuran besar, setiap gangguan yang terjadi harus diisolasi sesegera mungkin tanpa keterlambatan waktu. Hal ini mengingat besarnya pengaruh gangguan yang terjadi yang dapat memengaruhi stabilitas, keandalan operasi sistem tenaga listrik, dan termasuk faktor ekonomis mengingat harga transformator yang sangat mahal apabila sampai mengalami kerusakan.

2.3.3.1 Prinsip Kerja

Differential Relay adalah relai proteksi utama pada transformator yang dibuat bekerja secepat mungkin saat terjadi gangguan karena bekerja seketika tanpa koordinasi dengan relai lainnya.

Differential Relay tidak dapat dijadikan sebagai relai cadangan dikarenakan pemasangannya dibatasi oleh kedua transformator arus disisi masuk dan keluar. Proteksi *Differential Relay* bekerja dengan metode keseimbangan arus yakni sesuai dengan hukum arus *kirchoff* yaitu , arus yang menuju / masuk sama dengan arus yang meninggalkan / keluar pada titik sambungan / cabang.

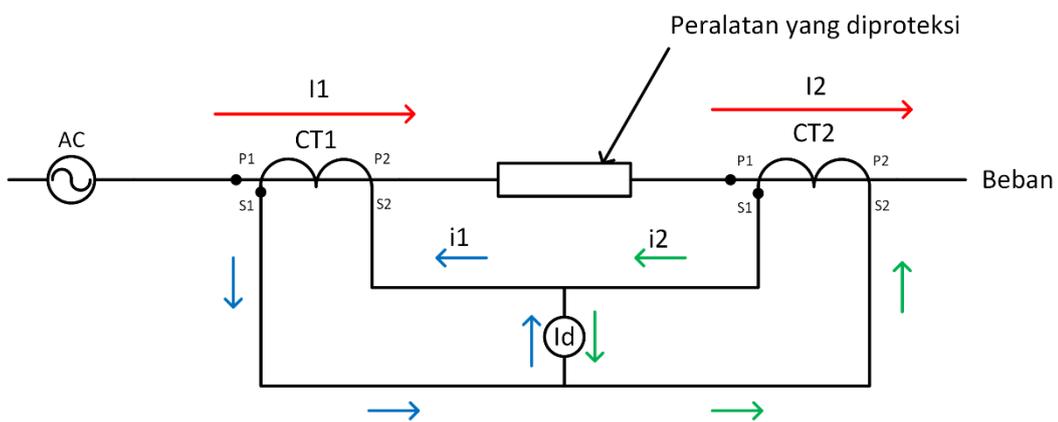
Karakteristik relai proteksi yang baik yaitu :

1. Selektif, relai proteksi harus selektif terhadap gangguan yang terjadi sehingga relai akan bekerja apabila terjadi gangguan dan tidak akan bekerja dalam kondisi normal.
2. Handal, relai proteksi harus dapat bekerja apabila terjadi gangguan sehingga diperlukan pengujian secara periodik untuk mengetahui keandalannya.
3. Ekonomis, relai dapat bekerja dengan optimal meskipun dengan biaya yang ekonomis.
4. Sensitif, relai dapat merangsang gangguan yang akan terjadi sehingga arus gangguan dapat terdeteksi.
5. Sederhana, peralatan relai harus fleksibel dari segi bentuk.

6. Cepat, relai dapat bekerja dengan cepat apabila terjadi gangguan sehingga komponen yang dilindungi aman.

a. Relai diferensial dengan sistem sirkulasi arus

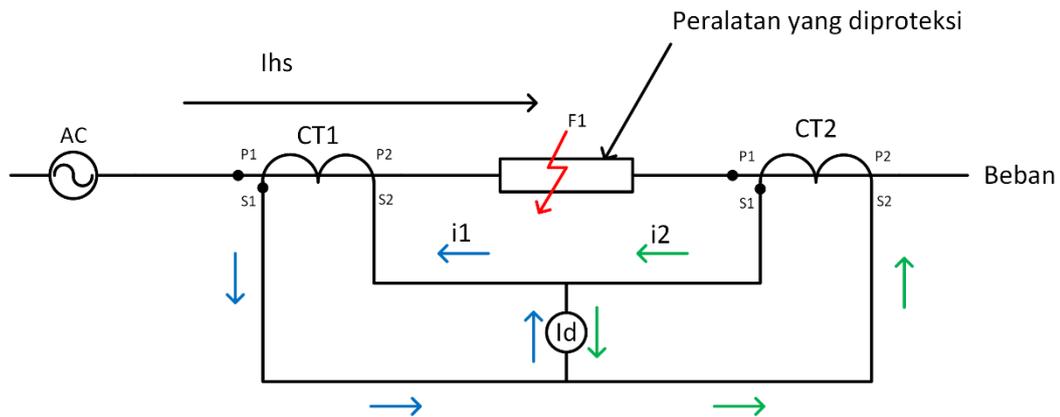
Relai dengan sistem sirkulasi arus paling umum dikenal dengan sebagai diferensial relai. Prinsip kerja relai proteksi diferensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke relai, dapat dilihat pada Gambar 2.3 dengan pemasangan rasio yang sama. Apabila pada CT₁ dialiri arus primer (I_1) masuk dari P₁ dan keluar dari P₂, maka arus sekunder CT₁ (i_1) akan keluar dari S₁ dan masuk ke S₂. Begitupun pada CT₂ ketika dialiri arus sekunder (I_2) masuk dari P₁ dan keluar dari P₂, maka arus sekunder CT₂ (i_2) akan keluar dari S₁ dan masuk ke S₂. pada saat yang sama sisi sekunder kedua CT, akan mengalir arus i_1 dan i_2 kedalam relai diferensial yang besarnya sama. Sehingga besarnya arus diferensial $I_d = |i_1 - i_2| = 0$ maka relai tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus.



Gambar 2. 3 Rangkaian *Differential Relay* keadaan arus normal

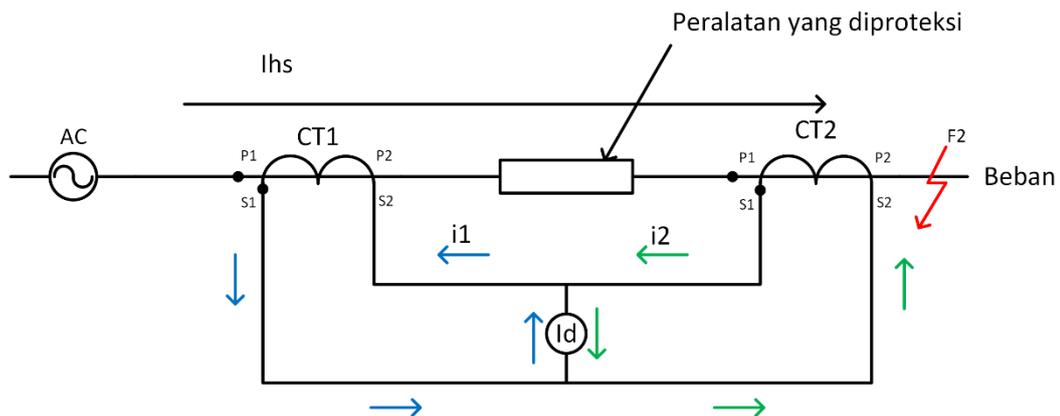
Ketika terjadi gangguan F_1 pada peralatan yang diproteksi (Gambar 2.4) maka arus hubung singkat (I_{hs}) akan mengalir dari sumber ke arah F_1 , sehingga pada kedua sekunder CT akan mengalir arus sekunder $i_1 = I_{hs}$ dan $i_2 = 0$. Kedua arus tersebut akan mengalir ke dalam relai dan jika $I_d = |i_1 - i_2| = I_{hs}$ lebih

besar dari i_{setting} maka relai akan bekerja, karena adanya selisih arus.



Gambar 2. 4 *Differential Relay* saat Gangguan dalam Zona

Namun jika gangguan terjadi pada F_2 (Gambar 2.5) maka relai tidak akan bekerja, karena arus hubung singkat (I_{hs}) melalui kedua CT sedangkan rasio keduanya sama, sehingga arus sekunder $i_1 = i_2 = I_{hs}$. Maka $I_d = |i_1 - i_2| = 0$ dan relai tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus pada relai.

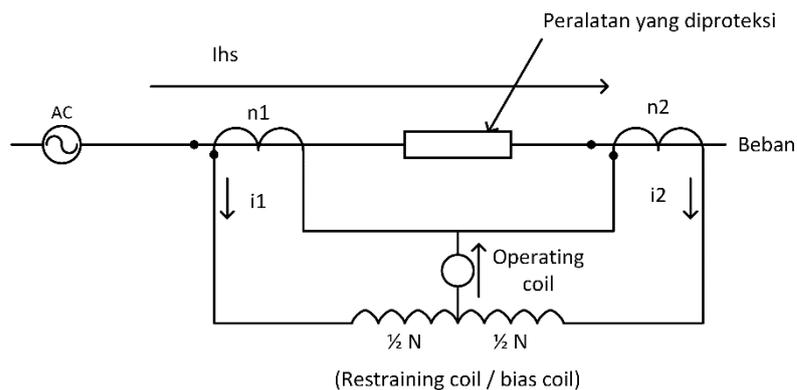


Gambar 2. 5 *Differential Relay* saat Gangguan luar Zona

Karena relai ini hanya bekerja, apabila gangguan terjadi pada daerah antara kedua CT maka relai ini digolongkan sebagai relai daerah proteksi terbatas (*restricted protection relay*). Relai tipe ini dikenal dengan beberapa nama antara lain, *Longitudinal differential relay* (LDR) atau pada negara yang memakai British Standard dikenal dengan nama *Merz Prize* relai.

b. Percentage differential relay

Pada *Longitudinal differential relay*, operasi relai begitu sederhana dengan hanya melihat selisih arus *operating coil*. Namun dalam aplikasinya, ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan arus diferensial, antara lain kesalahan ratio dan saturasi CT, yang tentu saja tidak bias kita abaikan. Oleh karenanya lahirlah *Percentage differential relay* (PDR) yang memiliki *restraining coil* yang tidak terdapat pada LDR, dimana gaya yang ditimbulkan oleh *restraining coil* berlawanan dengan gaya yang ditimbulkan oleh *operating coil*.



Gambar 2. 6 *Percentage differential relay*

Berdasarkan Gambar 2.6, maka persamaan gaya operasi (*operating force*) F_{Op} dan gaya lawan (*restraining force*) F_R , dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{Op} &= k \cdot N_{Op} \cdot i_{op} \\
 &= k \cdot N_{Op} \cdot (i_1 - i_2) \\
 F_R &= F_{R1} + F_{R2} \\
 &= k \left(\frac{1}{2} N_R \cdot i_1 + \frac{1}{2} N_R \cdot i_2 \right) \\
 &= k \cdot \frac{N_R}{2} \cdot (i_1 + i_2)
 \end{aligned}$$

Dimana:

k = konstanta

N_R = jumlah lilitan *restraining coil*

N_O = jumlah lilitan *operation coil*

i_1 = arus sekunder CT1

i_2 = arus sekunder CT2

i_{op} = $i_1 - i_2$

Pada saat kondisi seimbang dimana $F_{op} = F_R$, maka diperoleh:

$$k(i_1 - i_2)N_o = k(i_1 - i_2) \frac{N_R}{2}$$

$$\frac{N_R}{N_o} = \frac{(i_1 - i_2)}{(i_1 + i_2) \frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{N_R}{N_o} = \frac{(i_1 - i_2)}{(i_1 + i_2)} = \frac{k_1}{k_2}$$

sehingga: $k_2(i_1 - i_2) = k_1(\frac{i_1+i_2}{2}) \Rightarrow$ apabila $(i_1 - i_2)$ dan $(i_1 + i_2)$

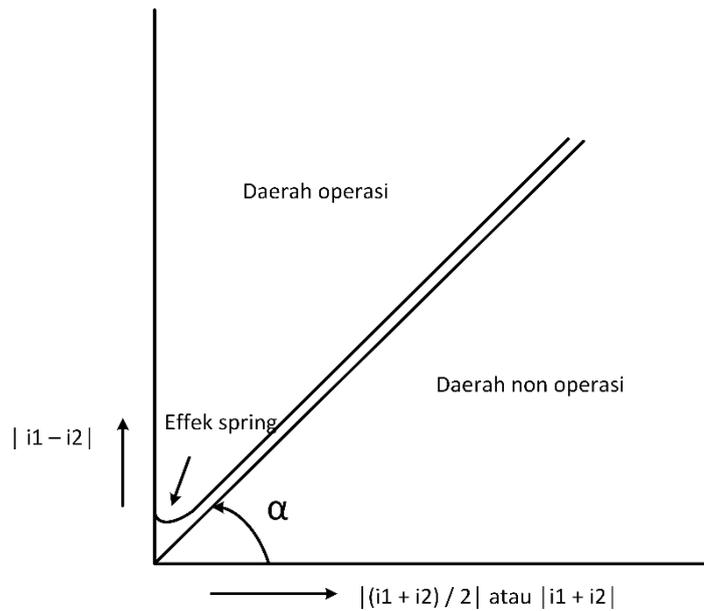
Diambil nilai modulusnya, maka persamaan di atas akan membentuk persamaan garis lurus dengan:

sumbu y = modulus $(i_1 - i_2)$

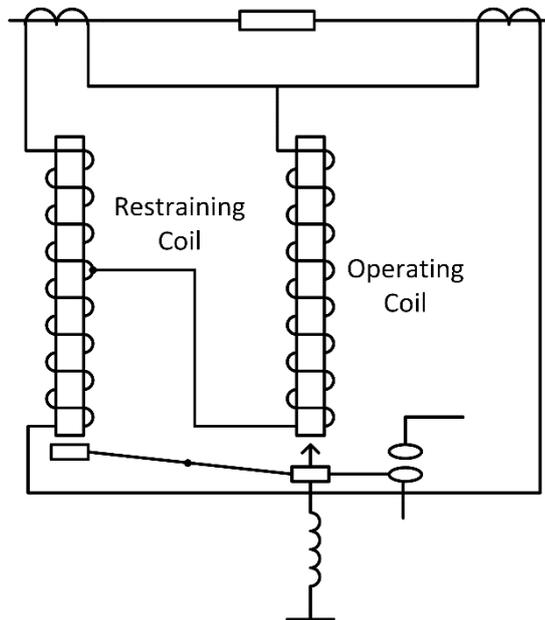
sumbu x = modulus $\frac{i_1+i_2}{2}$

Pada beberapa pabrikan *relay* proteksi diferensial, angka konstanta $\frac{1}{2}$ telah dimasukkan dalam k_1 . Dimana $k_1 < k_2$.

Jika persamaan di atas digambarkan maka akan membentuk Gambar 2.7 seperti berikut:



Gambar 2. 7 Karakteristik operasi *percentage differential relay*



Gambar 2. 8 Gambar spring yang menghasilkan efek pegas pada karakteristik operasi PDR

Setting dari *percentage differential relay* ini dapat menggunakan persamaan:

$$\%PDR = \frac{|i_1 - i_2|}{\frac{|i_1 + i_2|}{2}} \times 100\%$$

atau dalam sudut dari slope (α), yaitu :

$$\tan \alpha = \frac{|i_1 - i_2|}{\frac{|i_1 + i_2|}{2}}$$

Setting yang umum dipakai pada *relay* masa kini adalah dalam persen (%) [4].