

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Transformator Daya

Transformator daya adalah peralatan listrik statis yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik, mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi. Dalam fisiknya transformator dapat dibagi menjadi 3 bagian sederhana yaitu kumparan primer, kumparan sekunder dan inti besi lunak. Kumparan primer adalah yang terhubung langsung ke sumber daya dan kumparan sekunder yang terhubung langsung ke beban. Kedua kumparan ini terbelit pada inti besi.

Prinsip kerja transformator yaitu berdasarkan hukum induksi elektromagnetik yang ditemukan oleh Michael Faraday. Ketika arus bolak balik (AC) dialirkan ke kumparan primer maka akan menghasilkan fluks magnet yang berubah di inti besi. Fluks magnet yang berubah ini kemudian menginduksi gaya gerak listrik (GGL) atau tegangan pada kumparan sekunder. Transformator hanya bekerja dengan arus AC karena memerlukan perubahan *fluks* magnet untuk menginduksi tegangan [1].



Gambar 2.1 Transformator Daya Gardu Induk Mintin

2.1.2 Pola Proteksi Transformator

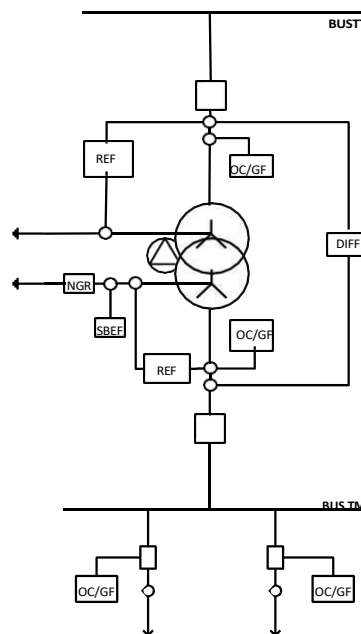
Pola proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Untuk gangguan internal, transformator memiliki proteksi mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan eksternal transformator hanya memiliki proteksi elektrik. Peralatan proteksi yang dipergunakan berdasarkan kapasitas transformator ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Relai proteksi transformator berdasarkan level tegangan dan kapasitas

No	MACAM PROTEKSI	TRAFO					
		150/20 kV & 66/20 kV		500/150 kV	275/150 kV	150/66 kV	500/275k V
		< 30 MVA	≥ 30 MVA	≥ 60 MVA		≥ 30MVA	≥ 60MVA
Proteksi Mekanik							
1	Relai temp minyak	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
2	Relai temp belitan sisi Primer	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
3	Relai temp belitan sisi Sekunder	-	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set

4	Relai temp belitan sisi Tersier	-	-	1 set	1 set	-	1 set
5	Relai <i>Bucholz</i>	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
6	Relai <i>Sudden Pressure Main Tank</i>	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
7	Relai RS2000	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
8	Relai <i>Sudden Pressure</i> OLTC	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
Proteksi Elektrik							
7	Relai Diferensial	1 set	1 set	2 set	2 set	1 set	2 set
8	Relai REF HV	-	1 set**	2 set	2 set	1 set	2 set
9	Relai (REF) sisi LV (hanya untuk konfigurasi bintang)	-	1 set**	2 set	2 set	1 set	2 set
10	Relai OCR sisi hv	2 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa	3 fasa

Proteksi trafo tenaga secara garis besar menggunakan relai Differensial dan relai *Restricted Earth Fault* (REF) sebagai main proteksi. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan relai *over current* relai gangguan *grounding* (GFR). dan *Standby Earth Fault* (SBEF) biasanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang dibumikan menggunakan NGR, dan tujuannya untuk memproteksi NGR [2].



Gambar 2.2 Pola proteksi transformator

2.1.3 Trafo Arus (*Current Transformer*)

Trafo arus adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur besar arus pada sistem tenaga listrik pada sisi primer yang berskala besar dengan menurunkan arus secara akurat dan teliti untuk digunakan pada proteksi dan pengukuran.

Trafo arus mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Mengubah arus pada sisi primer yang besar menjadi kecil pada sisi sekunder untuk keperluan proteksi dan pengukuran

2. Mengisolasi belitan sekunder terhadap belitan primer sebagai pengaman kepada operator yang sedang melaksanakan pengukuran [3].

Dalam sistem proteksi, keluaran trafo arus (CT) digunakan sebagai input untuk perangkat proteksi yang nantinya akan mentrigger perangkat proteksi untuk bekerja bila terjadi gangguan. Oleh karena itu kejenuhan CT harus diperhatikan agar sistem proteksi dapat bekerja dengan baik dan benar.

Apabila terjadi kejenuhan pada CT maka relai arus lebih tidak bisa bekerja dikarenakan nilai rms pada trafo arus sisi sekunder error dan menyebabkan bekerjanya sistem proteksi pada sisi relai akan bekerja dan mengakibatkan pemadaman semakin meluas [4].

2.1.4 Elemen Proteksi

Komponen-komponen yang mendukung kerja sistem proteksi terdiri dari :

- a. Transformator Tegangan / Transformator Arus

Mentransformasikan Tegangan/Arus dari besar menjadi kecil untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

- b. Relai PEngaman

Peralatan yang berfungsi mendeteksi dan memberikan informasi akan adanya kondisi gangguan kemudian secara otomatis memerintahkan PMT untuk membuka (trip).

- c. PMT

Sebagai penghubung dan pemisah bagian dari jaringan yang mampu beroperasi pada kondisi normal maupun dalam kondisi abnormal. PMT akan mendapatkan perintah (sinyal trip) dari relai proteksi untuk trip.

- d. Power Supply

Fungsi utamanya ialah memberikan sumber daya ke relai proteksi sehingga dapat bekerja dengan baik.

e. Pengawatan

Sebagai penghubung antara semua komponen yang ada sehingga membentuk suatu sistem proteksi [5].

2.1.5 Syarat Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi pengamanan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini :

1. handal.

Dalam kondisi normal tidak boleh ada gangguan. Namun sebaliknya saat kondisi tidak normal harus mengamankan daerah zona proteksi nya. Jadi proteksi harus handal agar dapat mengamankan di zona wilayahnya.

2. Selektif.

Relai harus memiliki kesensitifan terhadap gangguan. Jika sudah menyentuh pada setting pick up atau setting trip yang sudah dirancang dalam sebuah skema proteksi. Maka relai harus dapat mengamankan peralatan secara tepat. Jangan sampai sebuah relai saat terjadi gangguan tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.

3. Sensitif

Relai harus memiliki kesensitifan terhadap gangguan. Jika sudah menyentuh pada setting pick up atau setting trip yang sudah dirancang dalam sebuah skema proteksi. Maka relai harus dapat mengamankan peralatan secara tepat. Jangan sampai sebuah relai saat terjadi gangguan tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.

4. Cepat

Relai harus bekerja dengan cepat saat terjadi gangguan agar dsapat mengamankan peralatan dan mencegah gangguan menjadi meluas. Dalam pengujian relay memiliki waktu dan setting nya, ada batas toleransi waktu kecepatan relay bekerja. Jadi saat gangguan harus segera mentripkan PMT sesuai dengan waktu yang sudah di setting.

5. Ekonomis.

Relai memiliki harga yang beragam. Jadi untuk memilih relai tetap menggunakan relay yang tidak mahal tetapi tetap mengedepankan sensitif, selektif, kecepatan relay tersebut [6].

2.1.6 Kegagalan Sistem Proteksi

Proteksi dapat juga mengalami kegagalan pengamanan pada peralatan yang di pengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Kegagalan Perangkat Keras (*Hardware Failure*)

- Kerusakan pada relai proteksi: relai yang sudah aus, komponen elektronik rusak, atau kegagalan mekanis menyebabkan relai tidak berfungsi.
- Sensor atau CT/PT (*Current Transformer / Potential Transformer*) bermasalah: Misalnya CT/PT yang rusak, tidak akurat, atau kehilangan sinyal.
- Gangguan kabel dan sambungan: Kabel yang terputus, longgar, atau *korsleting* dapat menyebabkan sinyal proteksi tidak sampai ke relai.
- Kesalahan konfigurasi perangkat: Setelan relai yang salah (misalnya *threshold* arus, waktu delay, koordinasi) dapat mengakibatkan proteksi tidak bekerja tepat waktu.

2. Kegagalan Sistem dan Perangkat Lunak

- Bug atau error firmware/software pada relai digital: Sistem proteksi modern biasanya menggunakan relai digital yang bisa mengalami kerusakan perangkat lunak.
- Gangguan komunikasi: Proteksi dengan komunikasi antar perangkat dapat gagal jika jaringan komunikasi terputus atau terganggu.

3. Kesalahan Operasi dan Manusia

- Kesalahan pengaturan atau kalibrasi: Salah kalibrasi parameter proteksi dapat menyebabkan proteksi tidak berfungsi atau trip palsu.
- Kesalahan instalasi: Misalnya pemasangan CT/PT tidak benar atau urutan kabel yang salah.
- Human error saat pemeliharaan: Pemeliharaan yang tidak tepat atau tidak rutin menyebabkan perangkat proteksi tidak optimal.

4. Gangguan Lingkungan dan Kondisi Eksternal

- Petir dan gangguan elektromagnetik: Sambaran petir atau gangguan EMI dapat merusak perangkat proteksi atau membuatnya salah operasi.

- Kondisi lingkungan ekstrem: Suhu tinggi, kelembaban, debu, atau korosi dapat mempercepat kerusakan peralatan.
- Getaran dan guncangan: Bisa menyebabkan kerusakan mekanis pada perangkat.

5. Gangguan Sistem Listrik

- Gangguan arus hubung singkat (fault) yang terlalu cepat atau kompleks: Proteksi tidak dapat merespon jika gangguan terjadi di luar karakteristik proteksi.
- Kegagalan koordinasi proteksi: Jika proteksi tidak diatur dengan koordinasi yang benar antar perangkat, bisa menyebabkan proteksi yang tidak selektif atau gagal trip.

6. Kegagalan Hidden Failure (Kegagalan Tersembunyi)

- Ini adalah kegagalan yang tidak terlihat saat pengujian rutin, tapi terjadi saat kondisi gangguan nyata, misalnya relai yang gagal trip karena masalah internal yang tidak terdeteksi sebelumnya [7].

2.1.7 Relai Proteksi Transformator

Relai Proteksi merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi gangguan pada peralatan yang di proteksi nya. Relai ini saat terjadi gangguan akan memberikan alarm dan akan men-trip kan Circuit Breaker jika gangguan belum juga hilang.

Proteksi pada transformator harus andal, oleh karena itu Sistem proteksi terbagi menjadi 2 bagian yaitu proteksi utama dan proteksi cadangan.

2.1.6.1 Proteksi Utama Transformator

Proteksi utama adalah sistem proteksi yang diharapkan sebagai prioritas pengamanan gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal pada transformator.

Proteksi ini dimaksudkan untuk pengaman pertama saat terjadinya gangguan dalam zona wilayahnya. Ciri-ciri pengaman utama:

- Waktu kerjanya cepat (*instantaneous*).
- Tidak dapat dikoordinasikan dan tidak bergantung pada proteksi lain.
- Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan CT.

Pada transformator daya biasanya digunakan relai differensial dan relai *Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Di bawah ini penjelasan kedua relai tersebut.

a. relai differensial

relai ini merupakan pengaman utama pada proteksi transformator. Sistem kerjanya menghitung arus yang masuk dan arus yang keluar dari transformator ketika terjadi gangguan. Jika arus yang masuk berbeda atau ada selisih yang cukup besar dan sampai mencapai setting trip nya. Maka relai ini akan bekerja sesuai dengan fungsinya.

b. *Restricted Earth Fault* (REF)

Adalah relai yang mendeteksi arus pada sisi netral baik sisi HV maupun sisi LV. Saat terjadi gangguan pada fasa ke ground pada sebuah transformator, maka REF ini akan bekerja sesuai zona nya, jika gangguan pada sisi HV maka REF HV akan bekerja, jika gangguan pada sisi LV maka REF LV yang akan bekerja [8].



Gambar 2.3 Relai differensial dan REF

2.1.6.2 Proteksi Cadangan Transformator

Proteksi cadangan merupakan proteksi yang difungsikan untuk bekerja apabila terjadi gangguan pada yang tidak dapat diamankan atau tidak dideteksi dalam kurun waktu tertentu oleh proteksi utama, karena adanya kerusakan atau ketidakmampuan sehingga proteksi utama tidak dapat bekerja untuk meminimalisir gangguan.

a. *Over Current relay (OCR)*

Relai ini dipergunakan untuk melindungi transformator terhadap arus lebih yang terjadi karena pembebanan berlebih pada transformator ataupun karena adanya gangguan hubung singkat antar fasa yang terjadi di luar maupun di dalam transformator.

b. *Ground Fault relay (GFR)*

relai ini adalah perangkat proteksi pada sistem kelistrikan yang berfungsi mendeteksi dan melindungi dari gangguan hubung singkat fasa ke tanah. GFR bekerja dengan mendeteksi adanya arus urutan nol (arus gangguan ke tanah) dan akan memberikan perintah untuk memutuskan bagian sistem yang terganggu guna mencegah kerusakan pada peralatan lain dan menyebarnya gangguan.



Gambar 2.4 Relai OCR/GFR 150kV



Gambar 2.5 Relai OCR/GFR 20kV

c. *Stand By Earth Fault (SBEF)*

Merupakan proteksi NGR terhadap arus lebih yang berfungsi untuk mengamankan NGR dari hubung singkat fasa tanah. Oleh karena itu SBEF hanya ada pada transformator yang pentanahannya menggunakan NGR. SBEF ini juga harus dikoordinasikan dengan relai GFR. SBEF harus bekerja paling akhir sebagai pengaman NGR.



Gambar 2.6 Relai SBEF

d. *Over and Under Voltage* relai (OVR dan UVR)

Over Voltage Relai (OVR) adalah relai yang digunakan untuk mendeteksi tegangan lebih. Jadi jika sudah mencapai setting yang telah diterapkan maka relai ini akan bekerja saat tegangan naik sampai mencapai settingnya.

Under Voltage Relai (UVR) adalah relai yang digunakan untuk mendeteksi tegangan rendah. Jadi jika sudah mencapai setting yang telah diterapkan maka relai ini akan bekerja saat tegangan turun sampai mencapai settingnya [9].

2.1.8 Relai diferensial

Relai diferensial adalah relai proteksi utama yang ada di transformator yang bekerja dengan sangat cepat dan selektif sehingga tidak bekerja dengan waktu tunda atau berkoordinasi dengan relai lain yang ada. Relai differensial bertugas untuk menjamin keamanan dari gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di zona proteksinya seperti hubung singkat antar belitan, gangguan antar fasa maupun antar fasa dengan tanah. Relai ini bekerja ketika terdapat perbedaan fasor dan atau perbedaan nilai sesaat arus masuk dan arus keluar. Relai ini memiliki sensitivitas yang tinggi, karena yang diukur adalah selisih arus, sehingga setting relai dapat dilakukan pada besaran di bawah arus normal. Adapun sensitivitas dan stabilitas relai sangat dipengaruhi oleh kualitas CT yang digunakan, terutama bagi relai diferensial sederhana yang tanpa bias). Karakteristik dari kedua CT harus sama persis dan titik penyambungan relai harus dalam keseimbangan impedansi. Hal ini sukar didapatkan di dalam prakteknya secara langsung, dan seringkali dijumpai keadaan yang tidak menguntungkan, yang meliputi:

1. Panjang saluran penghubung (*lead*) di sebelah kiri dan kanan relai tidak sama
2. Kedua trafo arus melayani beban yang tidak sama

3. Meskipun data tentang rating dan error kedua trafo arus sama, tetapi karakteristik kejenuhannya mungkin berbeda

Agar relai diferensial tidak bekerja saat kondisi normal atau mengalami salah kerja, maka persyaratan yang dipenuhi ialah sebagai berikut :

1. CTHV dan CTLV harus mempunyai rasio yang ditentukan sehingga arus yang terbaca pada kedua sisi harus bernilai sama besar ($i_1 = i_2$)
2. Sambungan dan polaritas CT HV dan CT LV maupun *Auxiliary current transformer* (ACT) harus terpasang dengan benar.
3. Polaritas arus yang memasuki relai (i_{HV} dan i_{LV}) memiliki beda sudut sebesar 180 derajat.

2.1.9 Prinsip Kerja Relai Diferensial

Prinsip kerja relai diferensial dikenal dengan prinsip *Merz-Price* adalah melakukan perbandingan antara dua vektor arus atau lebih yang masuk ke dalam relai yaitu membandingkan arus-arus masuk dan keluaran trafo. Dimana prinsip kerja ini didasarkan pada hukum *Kirchoff* I yakni arus total yang masuk pada titik percabangan sama dengan arus total yang keluar dari titik percabangan tersebut.

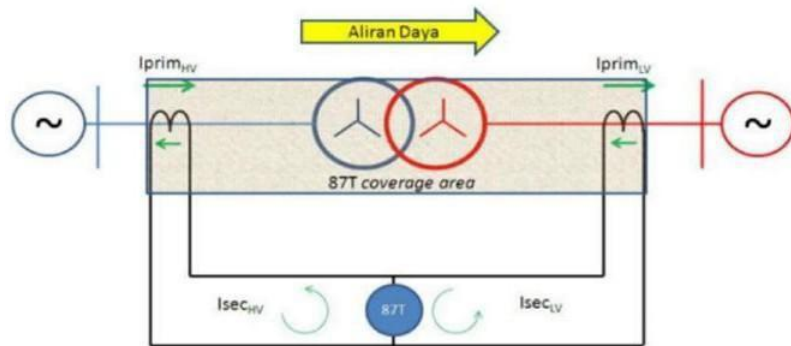
$$I_{diff} = \overrightarrow{I_{hv}} + \overrightarrow{I_{lv}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

I_{diff} : arus diferensial (Amp)

I_{hv} : arus pada sisi tegangan tinggi (Amp)

I_{lv} : arus pada sisi tegangan rendah (Amp)



Gambar 2.7 Relai diferensial keadaan normal

Ketika gangguan berlangsung di area proteksi yang ada, maka arus yang masuk memiliki nilai yang berbeda dengan arus keluar ($I_{hv} \neq I_{lv}$). Hal ini membuat timbulnya nilai arus diferensial titik percabangan yang ada (*restraint point*). Apabila gangguan terjadi diluar area yan diproteksinya maka arus yang melewati titik percabangan (*restraint point*) ialah nol karena arus yang terbaca di kedua sisi ialah sama besar. Jika besar arus diferensial ini telah mencapai titik setting (*pickup*) maka relai ini akan beroperasi. Untuk pengaplikasian dari relai diferensial harus diperhatikan hal-hal berikut meliputi :

- Pemilihan lokasi CT
 - CT Bushing
 - CT diameter
 - CT bay
- Pemilihan CT
 - Faktor koreksi sudut fasa
 - Faktor koreksi rasio
 - Faktor kompensasi urutan nol
- Faktor kesalahan pengatur pengubah sadapan berbeban

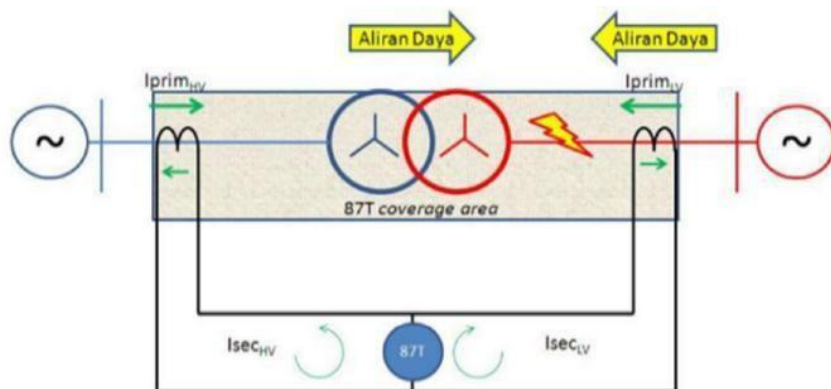
Pada kondisi transformator dan sistem proteksi normal relai diferensial harus

stabil bila terjadi :

- *Inrush current*
- *External Through Fault Current*
- *Overfluxing* pada transformator
- Perubahan tap saat berbeban.

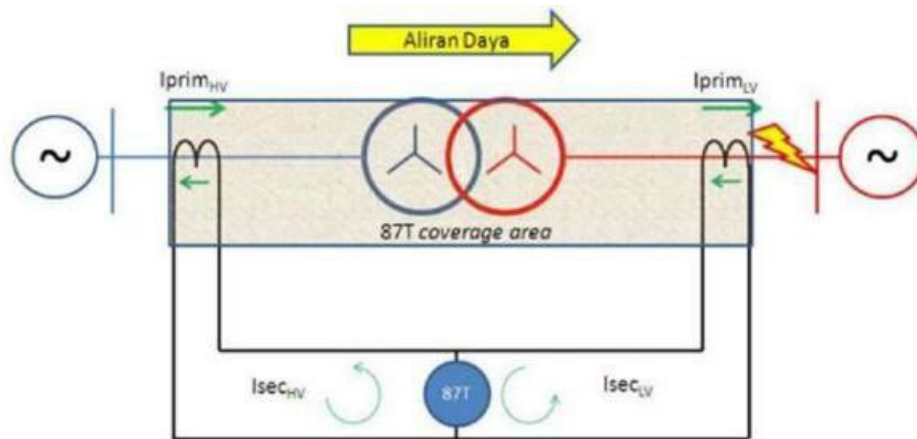
Adapun relai diferensial mempunyai 3 kesulitan utama dan menjadi penyebab timbulnya arus tidak seimbang ($\Delta I'$) meliputi :

- Karakteristik CT. Ketika terjadi gangguan eksternal, CT dengan karakteristik yang berbeda dapat menimbulkan besar tegangan yang berbeda pada setiap sekunder CT.
- Perubahan rasio akibat OLTC (On Load Tap Changer) dapat menciptakan adanya arus tidak seimbang dan memiliki kecenderungan membuat relai diferensial beroperasi.
- Arus serbu (*inrush current*) pada saat trafo di energize akan mengalirkan arus magnetisasi atau eksitasi secara transien sehingga menimbulkan arus yang timbul di sisi primer saja sehingga dapat akan membuat relai diferensial menjadi salah bekerja.



Gambar 2.8 Relai diferensial saat gangguan di zona pengamanan

Gangguan eksternal atau gangguan di luar daerah pengaman merupakan gangguan yang di luar zona proteksi relai diferensial, ketika terjadinya gangguan di luar zona proteksi relai diferensial, dimana relai tersebut tidak mendeteksi indikasi gangguan pada transformator, karena arus yang mengalir di kedua CT sama besarnya.

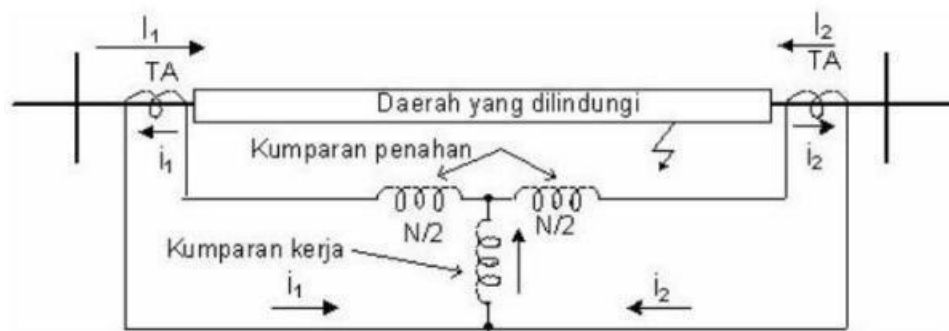


Gambar 2.9 Relai diferensial saat gangguan di luar zona pengaman

2.1.10 Relai Diferensial *Restrain*

Saat bekerja dalam kondisi normal pun pada daerah proteksinya terdapat kemungkinan adanya arus tak seimbang (*unbalance current*). Untuk mengatasi masalah demikian serta mengatasi kesulitan utama daripada relai, maka pada relai diferensial ditambahkan kumparan yang menahan bekerjanya relai. Kumparan ini disebut kumparan penahan (*restraining coil*), dan dilengkapi juga dengan kumparan yang mengerjakan relai tersebut disebut kumparan kerja (*operating coil*). Koil penahan dialiri oleh arus terus (*through current*) I_1 dan I_2 , sedangkan koil operasi dialiri arus limpahan (*spill current*) $I_1 - I_2$. Relai akan bekerja apabila gaya output dari koil operasi lebih besar dibandingkan gaya output koil penahan. Relai jenis ini disebut dengan Relai diferensial Persentase (Relai diferensial Bias). Kumparan kerja akan terhubung dengan bagian tengah dari kumparan penahan. Kumparan penahan ini yang akan menahan relai agar tidak bekerja ketika terjadi

arus gangguan yang besar, karena bertambahnya arus gangguan yang melewatinya maka akan menghasilkan kopel penahan yang semakin besar sehingga relai tidak akan bekerja. Dengan penggunaan dari relai diferensial yang berdasarkan prinsip sirkulasi arusnya memiliki tujuan mendapatkan relai yang sensitif terhadap gangguan internal yang kecil dengan tingkat stabilitas yang tinggi terhadap gangguan eksternal yang ada. Persentase relai diferensial bias memiliki karakteristik *pick-up* yang semakin tinggi [10].



Gambar 2.10 Konsep Dasar Relai diferensial

2.1.11 Komponen Simetris

Komponen Simetris adalah metode perhitungan secara matematika yang dipakai untuk menganalisa sistem listrik 3 fasa yang tidak seimbang dengan cara menguraikannya menjadi tiga komponen seimbang. Metode ini menyederhanakan perhitungan analisis sistem tenaga listrik yang kompleks contohnya saat terjadi gangguan atau beban tidak seimbang.

Dalam operasional transformator, sering terjadi ketidakseimbangan beban antar fasa yang bisa menyebabkan kerugian daya dan efisiensi transformator menjadi menurun. Ketidakseimbangan beban menyebabkan arus yang mengalir melewati titik netral dan memunculkan rugi rugi daya [11].

Tabel 2.2 Pengertian Urutan Positif, Urutan Negatif dan urutan Nol

URUTAN POSITIF	URUTAN NEGATIF	URUTAN NOL
Besaran fasa yang sama	Besaran Fasa yang sama	Besaran fasa yang sama
Perpindahan Fasa 120 Derajat	Perpindahan Fasa 120 Derajat	Tidak ada perpindahan fasa
Urutan Fasa yang sama dengan fasor sistem	Urutan Fasa berlawanan dengan fasor sistem	Urutan fasa berlawanan dengan fasor sistem
Rotasi fasa yang sama dengan fasor sistem	Rotasi fasa yang sama dengan fasor sistem	Rotasi fasa yang sama dengan fasor sistem

2.2. Penelitian yang relevan

Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Menurut Yusnan Badruzzaman. 2014, dalam jurnal yang berjudul “Keandalan relai diferensial sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut” membuat bahwa gangguan internal pada transformator berupa *incipient faults* dan *electrical faults* adalah Gangguan yang menyebabkan diferensial relai bekerja adalah. Kedua gangguan ini yang dapat menyebabkan arus diff membesar dan mentripkan PMT [12].
2. Menurut Dias Eka Kusuma. 2023, dalam jurnal yang berjudul “Perbandingan Setting Matematis relai diferensial Transformator Daya dengan Setting GI 150kV Cilegon Baru PT. PLN (Persero) ULTG Cilegon” menyatakan bahwa proteksi memiliki beberapa syarat yaitu handa, selektif, sensitif dan cepat bagian dari proteksi yaitu trafo tegangan, trafo arus, pengawatan, wiring. Dan tidak lepas dari sumber tegangan

AC/DC. Relai proteksi berfungsi untuk merasakan adanya gangguan di dalam zona nya. Dan tidak mekerja jika terjadi gangguan di luar zona nya [13].

3. Menurut M Rafli Ardiansyah. 2024, dalam jurnal yang berjudul “Penyetingan Relai Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 52MVA Unit 4 PLTA Singkarak” menyatakan bahwa pertimbangan perhitungan setting adalah kesalahan sadapan (10%), kesalahan CT (10%), mismatch (4%), arus eksitasi (1%) dan faktor keamanan [14].
4. Menurut Subhan. 2005, dalam tesis yang berjudul “Kualitas pembebanan pada saluran transmisi dengan metode komponen simetris di PT. PLN Sumatera Utara” menyatakan bahwa ketidak seimbangan pada beban dapat dilihat dari perbedaan tegangan, rugi daya pada bus tersebut. Saat beban tidak seimbang maka akan ada arus pada sisi netral. Ini dapat di simulasikan dengan perhitungan komponen simetris dalam sistem tenaga listrik [15].
5. Menurut Muhamad Rizki Muharam. 2018, dalam skripsi yang berjudul “Analisis Performa Relay Diferensial Transformator Pada Gardu Induk Cilegon Lama” menyatakan bahwa setting pada sebuah transformator harus di uji terlebih dahulu dengan menggunakan uji karakteristik slope. Kemudian membandingkan hasil pengujian gangguan dengan pengujian setting yang menggunakan teori. Dan didapatkan hasilnya setting yang menggunakan perhitungan lebih baik dibandingkan setting yang lama pada relai diferensial trafo daya GI Cilegon [16].

Tabel 2.3 Penelitian Yang Relevan

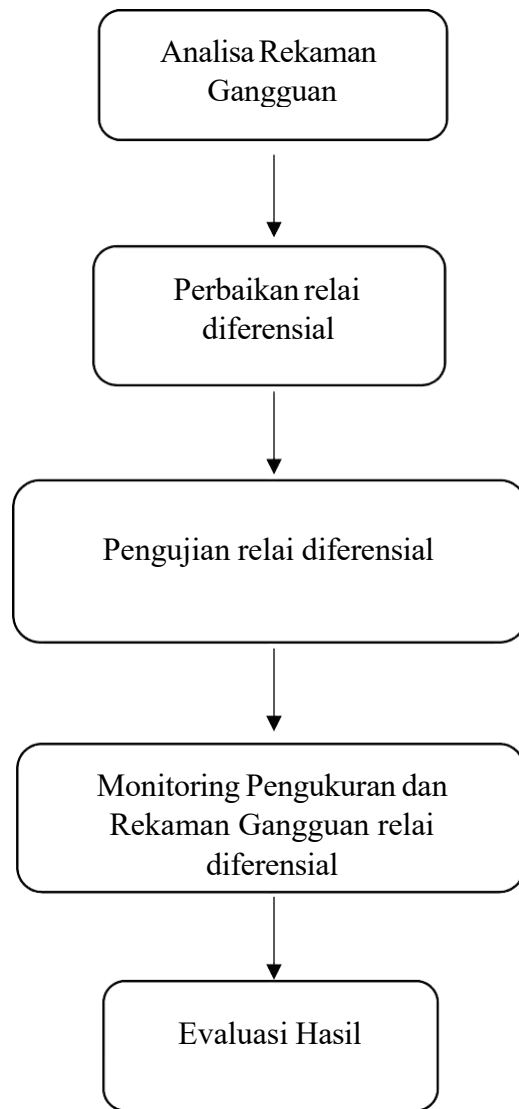
No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	“Kehandalan Relai Diferensial sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut” (Yusnan Badruzzaman . 2014)	Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah kondisi transformator sebelum dan setelah terjadi gangguan hubung singkat. Transformator yang akan dibahas adalah transformator tenaga berkapasitas 60 MVA tegangan 150/20 KV di GIS Randugarut beserta sistem proteksinya.	Penelitian ini menggunakan metode Pengujian diferensial relai dilakukan dengan menguji arus pick up dan karakteristiknya setelah gangguan dengan melakukan simulasi gangguan. .	Dari hasil pengujian di atas didapatkan hasil bahwa diferensial relai bekerja dengan arus pick up sebesar 0,3 Ampere pada sisi 150 kV dan 1,94 Ampere pada sisi 20 kV. Perbedaan ini menunjukkan adanya <i>matching</i> arus di dalam relai tersebut disebabkan rasio CT yang berbeda.	Penelitian ini menggunakan manual perhitungan dan analisis hasil pengujian karakteristik. Untuk melihat slope nya.
2.	“Perbandingan Setting Matematis	Penelitian ini bertujuan untuk	Menghitung dengan rumus perhitungan	Hasil perbandingan antara	Penelitian ini hanya menghitung

	Relai diferensial Transformator Daya dengan setting GI 150kV Cilegon Baru PT PLN ULTG Cilegon ” (Dias Eka Kusuma. 2023)	memastikan setting yang baru di terapkan sama dengan setting perhitungan matematis.	<i>error mismatch</i>, perhitungan arus sekunder CT, perhitungan arus diferensial, perhitungan arus <i>restrain</i>, perhitungan <i>percent slope</i> dan perhitungan arus setting relai diferensial.	perhitungan matematis setting relai diferensial dengan <i>setting</i> GI Cilegon Baru, mendapatkan bahwa <i>setting</i> perhitungan matematis memiliki nilai yang hampir sama dengan data <i>setting</i> di GI Cilegon Baru. Dimana arus <i>setting</i> dari perhitungan matematis sebesar 0,24A dan <i>slope1</i> serta <i>slope2</i> sebesar 29,32% dan 58,64%, sedangkan arus <i>setting</i> pada	secara matematis tanpa menggunakan uji coba karakteristik relai diferensial menggunakan alat uji.
--	--	--	--	---	--

				GI Cilegon Baru sebesar 0,2A dan <i>slope1</i> serta <i>slope2</i> sebesar 30% dan 80%	
3.	“Penyetingan Relai Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 52 MVA unit PLTA Singkarak” (M Rafli Ardiansyah. 2024)	Penelitian ini bertujuan untuk menghitung setting dan analisa penyetingan relai differensial.	Menghitung dengan rumus mencari arus nominal primer dan sekunder, arus CT Primer dan sekunder, <i>Error Mismatch</i> , arus differensial, arus <i>restrain</i> , <i>percent slope</i> ,	Hasil setting nilai arys adalah 0.21A namun hasil setting diferensial adalah 0.3A. hasil yang di dapat dari pengujian setting diferensial adalah 0.21A.	Penelitian ini hanya menghitung secara matematis setting tanpa menggunakan uji coba karakteristik relai diferensial menggunakan alat uji injeksi sekunder.
4.	“kualitas pembebanan pada saluran transmisi dengan metode	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar ketidakseimba	Dengan menerapkan metode komponen simetris dengan	Dari hasil ketidakseimbangan beban arus tiga fasa tidak sama dengan nol, ada arus	Penelitian ini hanya menggunakan seset analisa menggunakan perangkat

	komponen simetris di PT. PLN Sumatera Utara” (Subhan. 2005)	ngan beban pada bus.	menjalankan seset perangkat lunak EDSA (<i>Electrical Design and Data Analysis</i>)	yang mengalir pada titik netral yaitu dari 0,64A sampai dengan 3,76A. pada keadaan beban seimbang arus netral hanya kecil yaitu dari 0,46A sampai dengan 3,76A.	lunak, tidak langsung studi ke lapangan.
5.	“Analisa performa relay Diferensial Transformator pada Gardu Induk Cilegon Lama ” (Muhammad Rizki Muharam. 2018)	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan performa setting relay differensial sesuai perhitungan teori dengan setting relay differensial GI Cilegon Lama	Dengan membandingkan setting yang menggunakan teori dan setting yang lama, kemudian pengujian dilakukan menggunakan software 87T by symandari	Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa setting yang lama tidak mentriplan PMT karena tidak tercapai pickup pada arus setting dan setting yang baru sesuai perhitungan berhasil mentriplan PMT.	Penelitian ini hanya dilakukan pada 1 GI dan tidak dilakukan pada jenis relay jenis lain yang berbeda merek dan tipe nya

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.11 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, ketika terjadi trip pada transformator, diperlukan analisa melalui rekaman gangguan yang di *download* dari relai diferensial. Setelah dilakukan analisa diketahui bahwa telah terjadi anomali pada rangkaian CT *internal* relai differential. Sehingga dilakukan perbaikan dengan mengganti modul CT pada relai tersebut. Kemudian dilakukan pengujian karakteristik relai diferensial untuk mendapatkan data hasil dari pengujian tersebut, untuk menyatakan bahwa relai dalam keadaan siap operasi untuk pengaman proteksi utama pada transformator. Setelah transformator beroperasi kembali maka penulis memantau kinerja relai diferensial untuk mengetahui apakah akan terjadi gangguan yang sama setelah perbaikan.