



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.stp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK
(e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Studi Penggunaan Rele Line Differential Sebagai Proteksi Utama Pada Penghantar 150 KV Tenayan - Riau - Pasir Putih di PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru

Usaha Situmeang ^a, Khairul Tanjung ^b, Arlenny ^c

^{a,b,c} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Lancang Kuning, Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima Redaksi : 12 Juni 2022

Revisi Akhir : 22 Juni 2022

Diterbitkan *Online* : 30 Juni 2022

KATA KUNCI

Sistem Proteksi,

Transmisi,

Rele line differential.

KORESPONDENSI

Telepon : HP. 0822 8815 0806

E-mail : usaha@unilak.ac.id,

ABSTRACT

Proteksi pada saluran transmisi merupakan suatu sistem yang bertugas melindungi atau mengisolasi peralatan terhadap gangguan sementara dan permanen yang terjadi pada penghantar. Rele *line differential* lebih cenderung digunakan pada penghantar jarak pendek dengan alasan lebih efisien dalam mengamankan daerah gangguan. Pengaplikasian rele *line differential* tidak memiliki kendala *external* seperti *source impedance ratio*, *swing* pada sistem, serta rele *line differential* memiliki kesensitifan yang tinggi serta mudah dalam penggunaannya. Rele *line differential* adalah salah satu jenis proteksi utama pada penghantar yang bekerja berdasarkan pengukuran perbedaan parameter arus. Rele *line differential* pada saluran transmisi penghantar GI Tenayan - GI Riau dan GI Riau - GI Pasir Putih sebagai penghantar transmisi baru dari pengantar transmisi Tenayan arah Pasir Putih sebelumnya. Hasil Perhitungan setting rele *line differential* GI Tenayan - GI Riau sebesar nilai I_{s1} 1 A dengan batas slope 20% dan waktu kerja rele *instant* untuk memberikan sensitifitas di wilayah kerja sehingga di setting kecil. Hasil Perhitungan setting rele *line differential* GI Riau - GI Pasir Putih sebesar nilai I_{s1} 0,2 A dengan batas slope 20% dan waktu kerja rele *instant*.

dilakukan analisis gangguan yang pernah terjadi sebelumnya untuk mempertimbangkan kemungkinan gangguan pada sistem transmisi.

Sistem proteksi memiliki peranan penting pada sebuah sistem kelistrikan untuk mengatasi dan meminimalisir area yang mengalami gangguan [1]. Gangguan umum yang biasa terjadi pada saluran transmisi, yaitu gangguan hubung singkat 1 fasa, 2 fasa dan 3 fasa. Gangguan tersebut dapat terjadi karena faktor seperti ranting pohon yang menempel di konduktor pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) atau penggalian tanah pada saluran kabel tegangan tinggi (SKTT) [2].

Rele *line differential* merupakan perlindungan transmisi saat ini, rele ini tidak lagi perlindungan yang bernilai mahal dibanding dengan pemakaian rele jarak. Rele *line differential* lebih cenderung digunakan pada penghantar jarak pendek dengan alasan lebih efisien dalam mengamankan daerah gangguan. Pengaplikasian rele *line differential* tidak memiliki kendala *external* seperti SIR

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini listrik merupakan kebutuhan utama manusia dalam beraktivitas. Kebutuhan listrik terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan kegiatan industri. Hasilnya adalah konsumen menginginkan kualitas pelayanan tenaga listrik yang handal dalam pendistribusiannya. Sistem pada transmisi memiliki peran yang sangat penting dalam menyalurkan sistem tenaga listrik. Hal itu disebabkan karena keamanan pada sistem penyaluran merupakan masalah serius dalam mengamankan daerah interferensi.

Saluran transmisi itu sendiri sering terganggu oleh petir, pohon, dan lainnya. Agar berkurangnya angka gangguan yang terjadi maka diperlukan sistem proteksi yang sangat handal pada saluran transmisi untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Oleh karena itu, pada saat merencanakan sistem tenaga, perlu

(*source impedance ratio*), *swing* pada sistem, serta rele *line differential* memiliki kesensitifan yang tinggi serta mudah dalam penggunaannya [2].

PT. PLN (Persero) UIP3B Sumatera, UPT Pekanbaru bekerjasama dengan *Medco Ratch Power Riau* (MRPR) melakukan pemotongan di saluran transmisi penghantar Tenayan arah Pasir Putih dan penyambungan saluran transmisi menuju Gardu Induk Riau. Gardu Induk Riau adalah Gardu Induk baru yang berada di kawasan Pembangunan Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) 275 MW. Dua sirkit transmisi Tenayan arah Pasir Putih akan dilakukan pemotongan dan penyambungan saluran transmisi ke Gardu Induk Riau dan menggunakan rele *line differential* sebagai proteksi utama penghantar menggantikan rele jarak.

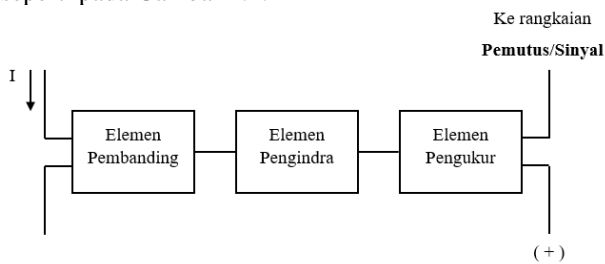
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proteksi Saluran Transmisi

Sistem proteksi transmisi merupakan pengamanan peralatan atau saluran transmisi tegangan tinggi dari berbagai macam gangguan permanen dan gangguan temporer [3].

2.1.1 Bagian Utama Rele Proteksi

Bagian rele proteksi terdiri dari tiga elemen utama seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Blok diagram rele proteksi [2]

Setiap elemen memiliki fungsi masing-masing :

a. Elemen pengindra

Berfungsi merasakan besaran listrik pada rele yang digunakan seperti arus, tegangan, frekuensi, dan lainnya. Besaran yang masuk ke elemen pengindra akan dikirimkan ke elemen pembanding [2].

b. Elemen pembanding

Berfungsi membandingkan besaran listrik pada kondisi normal dengan besaran arus di rele yang dikirimkan elemen pengindra [2].

c. Elemen pengukur

Berfungsi mengubah besaran yang dibandingkan sehingga dihasilkan pengukuran besaran listrik untuk memberikan perintah kepada PMT untuk membuka atau memberikan sinyal dengan cepat kepada rele [2].

2.1.2 Komponen proteksi SUTT

Berikut ini merupakan komponen sistem proteksi pada penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi terdiri atas :

a. Trafo Instrumen

Pada sistem proteksi ada 2 jenis trafo instrumen yang digunakan dalam sistem proteksi SUTT yaitu :

1. Trafo arus (CT)

Trafo arus merupakan peralatan listrik yang memiliki fungsi untuk menurunkan arus yang besar jadi arus yang lebih kecil agar dapat dibaca alat ukur dan sistem proteksi [2].

2. Trafo tegangan (PT)

Trafo tegangan merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan yang tinggi jadi lebih rendah sehingga dapat dibaca oleh alat ukur dan sistem proteksi [2].

b. Pemutus (PMT)

Pemutus adalah peralatan listrik tegangan tinggi berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian aliran listrik dalam waktu yang sangat cepat. Pemutus tenaga dilengkapi dengan pemadam busur api sehingga dapat dioperasikan dalam kondisi berbeban. [2]

c. Rele

Rele merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk merasakan adanya anomali/kelaianan/gangguan yang terdapat pada sistem yang diamankannya. Rele dapat membuka pemutus tenaga/CB dan memberikan indikasi atau informasi saat terjadi gangguan [4].

d. Catu Daya

Catu daya digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya peralatan kontrol dan proteksi. Catu daya terdapat pada gardu induk terdiri dari *rectifier* dan baterai sebagai sumber DC [2].

Komponen sistem proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komponen sistem proteksi SUTT [2]

2.2 Proteksi Utama Saluran Transmisi

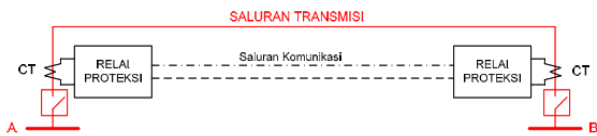
Faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis rele yang akan digunakan pada saluran transmisi adalah panjang saluran, dan yang akan menjadi acuannya yaitu pada perbandingan impedansi sumber terhadap impedansi saluran yang akan diproteksi atau yang dikenal dengan istilah *source impedance ratio* (SIR) [2]. Berikut ini adalah batasan *source impedance ratio* (SIR) seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batasan SIR [2]

Panjang Saluran	SIR
Saluran Pendek	$SIR \geq 4$
Saluran Sedang	$0.5 \leq SIR \leq 4$
Saluran Panjang	$SIR \leq 0.5$

2.2.1 Rele Line Differential

Rele *line differential* mempunyai peranan yang penting dalam perlindungan saluran transmisi karena selektivitas mutlaknya untuk mengisolasi peralatan yang rusak [5]. Penggunaan rele *line differential* bukan hanya untuk penghantar jarak pendek, namun dapat digunakan pada penghantar sedang maupun pada penghantar yang panjang [5]. Rele *line differential* semakin banyak digunakan karena rele ini dapat melindungi penuh saluran transmisi tanpa dipengaruhi oleh *SIR*, perubahan beban, *swing* pada sistem, memiliki sensitifitas yang tinggi, dan mudah dalam penggunaannya [2]. Rele *line differential* merupakan proteksi utama pada saluran transmisi yang bekerja menggunakan parameter arus [2], seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Skema Perbandingan Arus [2]

2.2.2 Perhitungan setting Rele Line Differential

Menghitung *setting* rele *line differential* melalui beberapa tahapan, yaitu menghitung suseptansi total (Bt), menghitung arus *charging* (Ic), menghitung arus *pick up* minimum (Is₁) dan arus *pick up* maksimum (Is₂), *setting* karakteristik rele dan *perhitungan* pengujian rele.

a. Perhitungan suseptansi total

Menghitung nilai suseptansi total (Bt) dari besar nilai suseptansi panjang saluran transmisi menggunakan persamaan (1) [1] berikut :

$$Bt = B \cdot Ln \tag{1}$$

Keterangan :

- Bt = suseptansi total (S)
- B = suseptansi saluran (S/km)
- Ln = panjang saluran (km)

Nilai suseptansi total dapat digunakan untuk menentukan nilai *reaktansi kapasitif* (Xc) seperti pada persamaan (2) [1] seperti berikut :

$$Xc = \frac{1}{Bt} \tag{2}$$

Keterangan :

- Xc = reaktansi kapasitif (Ohm)
- Bt = suseptansi total (S)

b. Arus *charging*

Arus *charging* memberikan pengaruh pada nilai *setting* rele, oleh karena itu arus *charging* dihitung disisi primer dan disisi sekunder menggunakan persamaan (3) [1] :

$$Ic = \frac{V \times 10^3}{\sqrt{3} \times Xc} \tag{3}$$

Keterangan :

- Ic = arus *charging* (Amp)
- V = tegangan (V)
- Xc = reaktansi kapasitif (Ohm)

Sisi sekunder arus *charging* dihitung menggunakan persamaan (4) [1] :

$$Ics = \frac{Ic}{CT} \tag{4}$$

Keterangan :

- Ic = arus *charging* primer (Amp)
- Ics = arus *charging* sekunder (Amp)
- CT = *current transformer* (Amp)

c. *Setting* rele *line differential* Is₁

Arus *pickup* (Is₁) adalah *setting* yang menentukan besarnya arus minimum elemen diferensial untuk bekerja. Nilai ini harus diatur dengan memperhitungkan ketidaksesuaian antara CT pada kedua ujung terminal yang berbeda, serta arus *charging* kapasitif. Jika kompensasi arus *charging* kapasitif tidak digunakan, pengaturan arus *pickup* (Is₁) harus diatur di atas 2,5 kali arus *charging* kondisi *steady state*. *Setting* rele dihitung dengan menggunakan persamaan [2] :

$$Is_1 > (2.5 \cdot Ic) \tag{5}$$

Keterangan :

- Ic = arus *charging* (Amp)
- Is₁ = Arus *pick up* minimum (Amp)

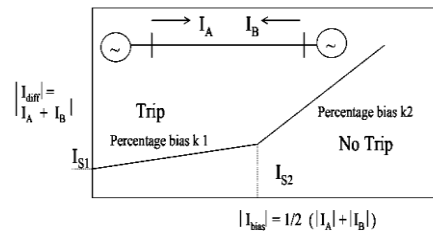
d. *Setting* rele *line differential* Is₂

Setting Is₂ untuk menentukan arus kerja maksimum rele terhadap kestabilan kinerja rele, ketika terjadi arus gangguan yang besar serta ketika terjadi gangguan di luar (*external fault*) dihitung menggunakan persamaan [2] :

$$Is_2 = 2 \cdot In \text{ rele} \tag{6}$$

e. *Setting* karakteristik rele

Kurva karakteristik kecuraman (*slope*) digunakan untuk meningkatkan faktor *security* pada rele *line differential*. Saat operasi normal atau gangguan eksternal, arus yang masuk pada salah satu ujung sirkit terproteksi praktis sama dengan arus yang keluar pada ujung lainnya [2]. Oleh karena itu, nilai arus diferensial praktis nol dan operasi proteksi tidak akan terjadi. Untuk gangguan pada saluran listrik yang dilindungi, nilai arus diferensial akan melebihi nilai ambang batas operasi dan perlindungan akan beroperasi untuk menghilangkan gangguan tersebut [2], seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Line Differential [2]

Karakteristik kerja rele *line differential* terdiri atas dua *slope* yang berfungsi sebagai berikut :

Setting slope 1 digunakan untuk menentukan apakah rele bekerja saat terjadi gangguan internal pada saluran transmisi serta untuk meminimalisir *mismatch* CT pada perbandingan arus *differential* [2]. Berikut ini merupakan faktor kesalahan *setting slope* 1.

- Error CT = 10 %
- Akurasi rele = 5 %
- Faktor keamanan = 5 %
- Maka dipilih nilai *setting slope* 1 = 20% - 30%

Setting Slope 2 (K₂) digunakan agar dapat mengantisipasi terjadinya kesalahan akibat saturasi yang terjadi pada CT saat arus gangguan eksternal yang besar. Nilai *setting slope* 2 (K₂) ditentukan 40% - 80% *recommended manufacture* [2].

f. Waktu kerja rele

Untuk t (waktu kerja) adalah instant karena merupakan pengaman utama sehingga tidak dilakukan penyetingan waktu agar rele dapat memproteksi saluran transmisi dengan cepat. (SPLN T5.002 -1: 2010).

g. Pengujian rele *line differential*

Pengujian rele *line differential* untuk melihat respon dari rele saat terjadi gangguan di saluran transmisi, baik pada saat gangguan internal maupun saat gangguan eksternal, pengujian dapat dihitung menggunakan persamaan persamaan (7) dan (8) [1]:

Bentuk persamaan dari gangguan eksternal [1] :

$$I_{diff} = I_A \angle x + I_B \angle y = 0 \tag{7}$$

Bentuk persamaan dari gangguan internal [1] :

$$I_{diff} = I_A \angle x + I_B \angle y \neq 0 (I_f) \tag{8}$$

Keterangan :

I_{diff} = Arus Diferensial (Amp)

I_A = Arus Lokal (Amp)

I_B = Arus Remot (Amp)

h. Arus restraint

Arus bias atau arus restraint merupakan hasil penjumlahan arus sekunder CT_1 dan CT_2 dibagi dengan jumlah CT [4] seperti persamaan berikut :

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (9)$$

Keterangan :

I_r = Arus bias/restraint (Amp)

I_1 = Arus sekunder CT_1 (Amp)

I_2 = Arus sekunder CT_2 (Amp)

i. *Tripping criteria*

Tripping criteria digunakan untuk menentukan titik kerja rele *line differential* dengan persamaan (10) dan (11) berikut [1] :

$$I \text{ Bias} < I_{S2} = I \text{ Diff} > K_1 (I \text{ Bias}) + I_{S1} \quad (10)$$

$$I \text{ Bias} > I_{S2} = I \text{ Diff} > K_2 (I \text{ Bias}) - (K_2 - K_1) I_{S1} + I_{S2} \quad (11)$$

Keterangan :

I_{S1} = *The basic differential current setting*

K_1 = *The lower percentage bias setting*

I_{S2} = *The bias current threshold setting*

K_2 = *The higher percentage bias setting*

3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Rele *line differential* di saluran transmisi penghantar Tenayan arah Riau dan Riau arah Pasir Putih sebagai penghantar transmisi baru dari pengantar transmisi Tenayan - Pasir Putih sebelumnya sebagai objek pada penelitian ini.

3.2 Saluran Transmisi 150 kV di Gardu Induk Tenayan, Gardu Induk Riau dan Gardu Induk Pasir Putih

Gardu Induk Tenayan dan Gardu Induk Pasir Putih dihubungkan oleh SUTT dengan tegangan nominal 150 kV yang terdiri dari 2 sirkuit yaitu, Tenayan penghantar Pasir Putih 1 dan Tenayan penghantar Pasir Putih 2. Panjang saluran transmisi tersebut adalah 17.84 km. Kawat transmisi yang digunakan pada penghantar tersebut adalah jenis *Aluminium Conductor Steel Reinforced* (ACSR) ukuran 2x240 mm².

Gardu induk Riau Terletak di kawasan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) *Medco Ratch Power Riau* 275 MW yang terdiri dari PLTGU Riau#1 kapasitas 100 MVA, PLTGU Riau#2 kapasitas 100 MVA dan *Steam Turbine Generator* (STG) dengan kapasitas 160 MVA. Panjang saluran transmisi penghantar Tenayan - Riau adalah 3,98 km dan panjang saluran transmisi penghantar Riau - Pasir Putih adalah 13.856 km.

3.3 Saluran Transmisi 150 kV Tenayan - Pasir Putih

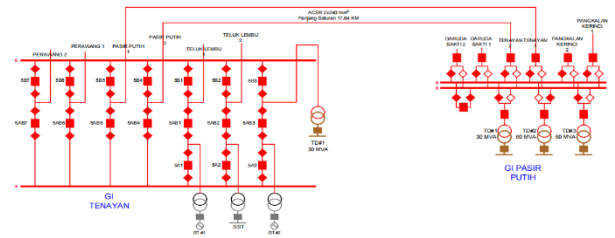
Berikut ini adalah data saluran transmisi Gardu Induk Tenayan - Pasir Putih sebagai konfigurasi awal menjadi saluran transmisi Gardu Induk Tenayan - Riau dan Riau - Pasir Putih seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Saluran transmisi Tenayan - Pasir Putih

No	Nama Saluran Transmisi	Data Saluran Transmisi					
		Jenis	mm ²	Jml Kond	Jml Phasa	Panjang (km)	Inom (Amp)
1	Tenayan - Pasir Putih 1	ACSR	2X240	2	3	17,84	1.28
2	Tenayan - Pasir Putih 2	ACSR	2X240	2	3	17,84	1.28

Sumber data : PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru, 2021

Konfigurasi awal saluran transmisi Gardu Induk Tenayan - Pasir Putih seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Single Line Diagram* GI Tenayan – GI Pasir Putih (konfigurasi awal)

3.4 Saluran Transmisi 150 kV Tenayan - Riau dan Riau - Pasir Putih

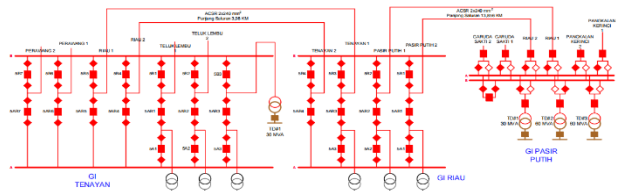
Berikut ini adalah data saluran transmisi Gardu Induk Tenayan - Riau dan Riau - Pasir Putih sebagai konfigurasi akhir dari saluran transmisi Gardu Induk Tenayan - Pasir Putih setelah dilakukan pemotongan dan penyambungan saluran transmisi 150 kV ke Gardu Induk Riau seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Saluran transmisi Tenayan - Riau dan Riau - Pasir Putih

No	Nama Saluran Transmisi	Data Saluran Transmisi					
		Jenis	mm ²	Jml Kond	Jml Phasa	Panjang (km)	Inom (Amp)
1	Tenayan - Riau 1	ACSR	2x240	2	3	3,98	1.28
2	Tenayan - Riau 2	ACSR	2x240	2	3	3,98	1.28
3	Riau - Pasir Putih 1	ACSR	2x240	2	3	13,856	1.28
4	Riau - Pasir Putih 2	ACSR	2x240	2	3	13,856	1.28

Sumber data : PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru, 2021

Konfigurasi akhir saluran transmisi Gardu Induk Tenayan - Riau - Pasir Putih seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Single Line Diagram* GI Tenayan – GI Riau – GI Pasir Putih (konfigurasi akhir)

3.5 Trafo Arus dan Trafo Tenggangan (CT dan PT) Saluran Transmisi 150 kV Tenayan - Riau - Pasir Putih

Ratio *CT* dan *PT* yang terpasang di masing-masing gardu induk sangat menentukan dalam *setting* rele *line differential* (cekmas, 2010). Berikut merupakan data *ratio* *CT* dan *PT* pada GI Tenayan, GI Riau dan GI Pasir Putih seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 *Ratio CT dan PT*

Lokasi Gardu Induk	Bay	Ratio CT (Amp)		Rasio PT (Volt)	
		Primer	Sekunder	Primer	Sekunder
Tenayan	Riau 1	2000	5	150	100
Tenayan	Riau 2	2000	5	150	100
Riau	Tenayan 1	2000	1	150	110
Riau	Tenayan 2	2000	1	150	110
Pasir Putih	Riau 1	1600	1	150	100
Pasir Putih	Riau 1	1600	1	150	100

Sumber data : PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru, 2021

3.6 Metode Pengumpulan Data

3.6.1 Data Primer

Data primer diperoleh dari :

- Wawancara, diskusi dan *knowledge sharing* untuk memperoleh informasi dan data yang digunakan saat penelitian.
- Mengamati secara langsung dan ikut serta dalam pengambilan data, pengujian saat melakukan penelitian

3.6.2 Data Sekunder

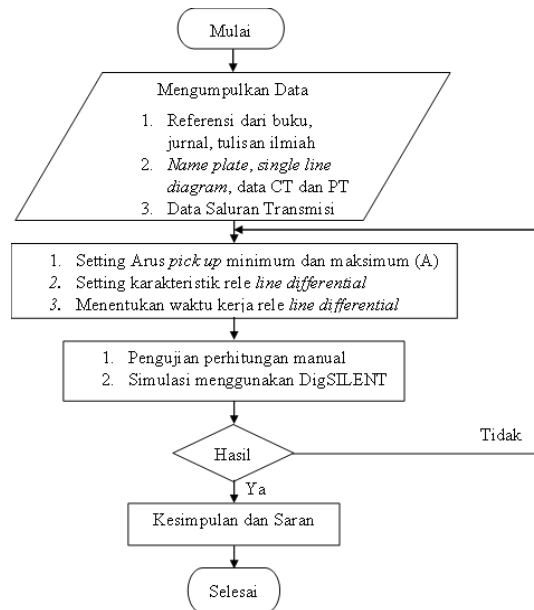
Data sekunder diperoleh dari :

- Pengumpulan dari sumber pusataka berupa buku, jurnal, tulisan ilmiah yang berkaitan dengan penelitian.
- Pengambilan data di tempat melaksanakan penelitian.

3.7 Tahapan Penelitian

- Mengumpulkan beberapa referensi dari buku, jurnal, dan tulisan.
- Pengambilan data pada saluran transmisi yan terpasang di Gardu Induk Tenayan, Gardu Induk Riau dan Gardu Induk Pasir Putih.
- Perhitungan *setting* arus *pick up* minimum dan maksimum, *setting* karakteristik rele *line differential* dan waktu kerja rele *line differential*
- Melakukan pengujian manual dan simulasi hasil *setting* rele *line differential* dengan menggunakan *software DigSILENT* untuk mendapatkan kurva karakteristik.
- Menarik kesimpulan dan saran sebagai penutup penelitian ini.

Diagram alir tahapan peneltian seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flowchart tahapan penelitian

4 PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Setting Rele Line Differential Tenayan - Riau

4.1.1 Perhitungan Nilai Suseptansi Total

Menghitung nilai suseptansi total (Bt) dari besar nilai suseptansi panjang saluran transmisi menggunakan persamaan (1) berikut :

$$B_t = B \cdot L_n$$

$$B_t = 415.68 \cdot 10^{-6} \text{ S/km} \times 3.98 \text{ km}$$

$$B_t = 0.00165441 \text{ S}$$

$$B_t = 16.5441 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

Nilai suseptansi total dapat untuk menentukan nilai *reaktansi kapasitif* (Xc) seperti pada persamaan (2) seperti berikut :

$$X_c = \frac{1}{B_t} = \frac{1}{16.5441 \cdot 10^{-4}}$$

$$X_c = 604.4451 \text{ Ohm}$$

4.1.2 Perhitungan Arus Charging

- Sisi primer arus *charging* dihitung menggunakan persamaan (3) seperti berikut :

$$I_c = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot X_c} = \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot 604.4451}$$

$$I_c = \frac{150000}{1046.8989}$$

$$I_c = 143.2803 \text{ Amp}$$

- Sisi sekunder arus *charging* dihitung menggunakan persamaan (4) seperti berikut :

$$I_{cs} = \frac{I_c}{CT} = \frac{143.2803}{2000/5}$$

$$I_{cs} = 0.3582 \text{ Amp}$$

4.1.3 Perhitungan Arus Pick Up Minimum Rele (Is1)

Nilai arus *pick up* minimum (Is₁) dihitung dari persamaan (5) sebagai berikut :

$$I_{s1} = 2.5 \cdot I_{cs}$$

$$I_{s1} = 2.5 \cdot 0.3582 \text{ Amp}$$

$$I_{s1} = 0.8955 \text{ Amp}$$

4.1.4 Perhitungan Arus Pick Up Maksimum (Is₂)

Nilai In (arus nominal) yang digunakan sesuai dengan ratio CT yang digunakan. Ratio CT yang digunakan berdasarkan tabel 2.3 yaitu 2000/5, arus nominal 5. Perhitungan setting rele Is₂ dihitung menggunakan persamaan berikut :

Is₂ = 2 · In rele
 Is₂ = 2 · 5
 Is₂ = 10 Amp

4.1.5 Waktu Kerja

Untuk t (waktu kerja) adalah 0.00 s atau instan karena merupakan pengaman utama sehingga tidak dilakukan pengaturan waktu agar rele dapat melindungi saluran transmisi dengan cepat.

4.1.6 Karakteristik Rele

- a. Slope (K₁) = error CT + akurasi rele + faktor keamanan slope 1
 = 10% + 5% + 5% = 20%
- b. Slope 2 (K₂) = 80% (recommended manufacture)

Nilai setting dipilih berdasarkan nilai setting pabrikan. Penggunaan kemiringan atau slope 20% sebagai akurasi CT sehingga dipilih setting saluran transmisi rele line differential seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan setelan rele line differential yang terpasang dengan hasil perhitungan

Setelan	Data Rele Terpasang	Hasil Perhitungan
Is ₁	1 Amp	0.8955 Amp
Is ₂	10 Amp	10 Amp
K ₁	20%	20%
K ₂	80%	80%

Hasil perhitungan untuk setting Is₁ adalah 0.8955 A pada sisi GI Tenayan atau 0.8955 x 2000/5 = 358,2 A di sisi primer untuk masing-masing gardu induk. Ratio CT yang berbeda pada kedua sisi gardu induk tidak berpengaruh kepada nilai setting karena rele mempunyai kompensasi nilai arus untuk pengaturan tersebut. Rele bekerja ketika memenuhi syarat dan nilai setting arus pick up minimum yaitu 0.8995 A atau 358.2 A di sisi primer kedua sisi gardu induk atau 400 A seperti nilai setting yang terpasang di rele. Rele tidak akan bekerja ketika nilai arus yang terbaca kurang dari nilai setting tersebut yaitu 1 A atau 400 A dengan nilai karakteristik 20% untuk arus restraint (arus bias) sebagai batas kerja rele agar didapatkan kesensitifan yang tinggi pada area kerja rele.

Hasil pemilihan nilai arus pick up maksimum (Is₂) adalah 10 A di sisi GI Tenayan atau 10 A dikali ratio CT 2000/5 yaitu 4000 A di sisi primer. Pengaturan Is₂ berfungsi jika ada perbedaan arus yang besar dan gangguan eksternal. Nilai K₂ sebesar 80% digunakan ketika arus restraint (I bias) diatas Is₂ untuk memberikan stabilitas rele selama gangguan yang lebih besar dan gangguan eksternal.

4.2 Pengujian Setting Rele Line Differential Pada GI Tenayan - GI Riau

Pengujian rele line differential terdiri dari beberapa bagian yaitu pada saat kondisi gangguan internal dan eksternal. Pengujian hasil setting rele dilakukan untuk memastikan kinerja rele line differential dalam memberikan kestabilan dan kehandalan pada saat sistem yang mengalami gangguan.

4.2.1 Pengujian Rele Line Differential Saat Kondisi Internal Fault dan Simulasi DigSILENT

Pengujian rele line differential saat kondisi gangguan internal dan simulasi DigSILENT dilakukan untuk mengetahui respon kinerja rele terhadap arus gangguan pada daerah yang dilindungi rele, pengujian ini membuktikan kinerja rele terhadap gangguan di daerahnya.

Skema simulasi DigSILENT rele line differential ketika kondisi gangguan internal menunjukkan bahwa arus lokal pada saluran transmisi GI Tenayan ke arus remote di GI Riau akan berbalik arah 180⁰ menuju titik gangguan sehingga arus akan searah antara saluran Tenayan GI dan GI Riau. Nilai arus short circuit 3 fasa digunakan untuk simulasi gangguan internal yaitu 14.913 kA. Karena arah vektor searah (I diff = I₁+I₂) maka arus akan saling menjumlahkan dan tripping criteria digunakan sebagai titik ideal kerja rele (Liu, 2011). Sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

- 1. Pengujian menggunakan gangguan 3 fasa :

$$I_{diff} = I_1 \angle X + I_2 \angle Y \neq 0 (I_F)$$

$$I_{diff} = I_1 \angle 0^\circ - I_2 \angle 180^\circ$$

$$I_{diff} = 14,913 (\cos 0^\circ + \sin 0^\circ) - 14,913 (\cos 180^\circ + \sin 180^\circ)$$

$$I_{diff} = 14.913 (1 + 0) - 14.913 (-1 + 0)$$

$$I_{diff} = 14.913 + 1.913$$

$$I_{diff} = 29.826 \text{ kA}$$

- 2. I bias = 14.913 kA

- 3. Tripping Criteria

Kasus 1

$$I \text{ Bias} < Is_2 = I \text{ Diff} > K_1 (I \text{ Bias}) + Is_1$$

$$= 29.826 \text{ kA} > 0.2 (14.913 \text{ kA}) + 358.2 \text{ A}$$

$$= 29.826 \text{ kA} > 3.341 \text{ kA}$$

Kasus 2

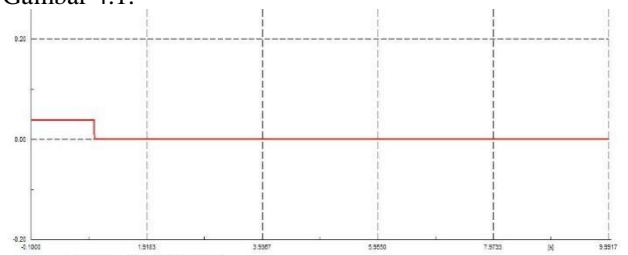
$$I \text{ Bias} > Is_2 = I \text{ Diff} > K_2 (I \text{ Bias}) - (K_2 - K_1) Is_1 + Is_2$$

$$= 29.826 \text{ kA} > 0.8 (14.913) - (0.8 - 0.2) 358.2 \text{ A} + 4000 \text{ A}$$

$$= 29.826 \text{ kA} > 11.930 \text{ kA} - 2.798 \text{ kA}$$

$$= 29.826 \text{ kA} > 9.1322 \text{ kA}$$

Dari hasil perhitungan bahwa arus differential lebih tinggi dari arus restraint yaitu 29.826 kA dan 14.913 kA. Hasil ini digunakan sebagai bukti kinerja rele terhadap perbedaan arus yang dibaca oleh CT. Tripping criteria menggunakan kasus 1 dan kasus 2 karena nilai I bias diatas nilai Is₂ sebesar 4000 A. Nilai tripping criteria untuk kasus 1 dan kasus 2 yaitu 3.341 kA dan 9.1322 kA. Hasil perhitungan tersebut akan menghasilkan kurva karakteristik dari simulasi DigSILENT pada rele line differential untuk menentukan area kerja rele seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Karakteristik rele pengujian gangguan internal

Hasil pengujian menunjukkan rele bekerja karena telah mencapai nilai Is₁ (setting rele) yaitu 400 A dan nilai

setting I_{s2} 4000 A dengan nilai *tripping criteria* 3.341 kA dan 9.1322 kA sebagai batas kerja rele.

4.2.2 Pengujian Rele Line Differential Saat Kondisi External Fault dan Simulasi DigSILENT

Pengujian rele *line differential* menggunakan arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada program DigSILENT. Pengujian rele menggunakan efek interferensi eksternal terbesar dari GI Pasir Putih yang masuk ke titik sesar di GI Tenayan dan GI Riau. Pengujian ini ditunjukkan untuk mengetahui dengan menggunakan gangguan eksternal terbesar apakah akan memberikan respon terhadap performansi rele *line differential*.

Skema simulasi rele *line differential* menggunakan DigSILENT saat kondisi gangguan eksternal menunjukkan adanya gangguan di luar daerah proteksi, namun arus lokal pada saluran transmisi GI Tenayan ke arus remote di GI Riau tidak akan berubah karena rele tidak akan mendeteksi gangguan di luar kawasan proteksinya. Nilai arus *short circuit* eksternal 3 fasa digunakan untuk perhitungan dan simulasi yaitu 14.839 kA.

1. Pengujian menggunakan gangguan 3 fasa beban maksimum :

$$\begin{aligned} I_{diff} &= I_1 \angle x + I_2 \angle y = 0 \\ I_{diff} &= I_1 \angle 0^\circ + I_2 \angle 180^\circ \\ I_{diff} &= 14.839 (\cos 0^\circ + \sin 0^\circ) + 14.839 (\cos 180^\circ + \sin 180^\circ) \\ I_{diff} &= 14.839 (1 + 0) + 14.839 (-1 + 0) \\ I_{diff} &= 14.839 - 14.839 \\ I_{diff} &= 0 \end{aligned}$$

2. I bias = 14.839 kA

3. *Trpping criteria*

Kasus 1

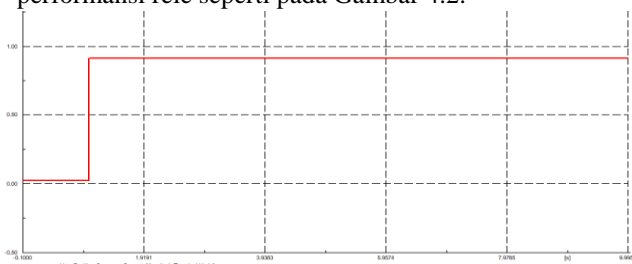
$$\begin{aligned} I \text{ Bias} < I_{s2} &= I \text{ Diff} < K_1 (I \text{ Bias}) + I_{s2} \\ &= I \text{ Diff} < 0.2 (14.839 \text{ kA}) + 358.2 \text{ A} \\ &= I \text{ Diff} < 3.326 \text{ kA} \end{aligned}$$

Kasus 2

$$\begin{aligned} I \text{ Bias} > I_{s2} &= I \text{ Diff} > K_2 (I \text{ Bias}) - (K_2 - K_1) I_{s2} + I_{s1} \\ &= I \text{ Diff} > 0.8 (14.839) - (0.8 - 0.2) 4000 \text{ A} + 358.2 \text{ A} \\ &= I \text{ Diff} > 11.8712 \text{ kA} - 2.7582 \text{ kA} \\ &= I \text{ Diff} > 9.113 \text{ kA} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan disimpulkan nilai I *restraint* lebih besar dari I *differential* yaitu 14.839 kA dan 0 A. Hasil tersebut digunakan sebagai pembuktian unjuk kerja rele terhadap perbedaan arus yang dibaca oleh CT. *Tripping criteria* menggunakan kasus 1 dan kasus 2 karena nilai I bias sudah diatas nilai I_{s2} sebesar 4000 A. Hasil pembuktian nilai I diff adalah 0 A dengan nilai *tripping criteria* 3.326 kA dan 9.113 kA.

Dibuktikan bahwa hasil pengujian menunjukkan rele tidak bekerja karena nilai I *differential* tidak mencapai nilai *setting* arus *pick up* minimum yaitu 400 A sebagai performansi rele seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Karakteristik rele pengujian gangguan eksternal

4.3 Perhitungan Setting Rele Line Differential GI Riau - GI Pasir Putih

4.3.1 Perhitungan Suseptansi Total

Menghitung nilai suseptansi total (B_t) dari besar nilai suseptansi panjang saluran transmisi menggunakan persamaan (1) berikut :

$$\begin{aligned} B_t &= B \cdot L_n \\ B_t &= 127.01 \cdot 10^{-6} \text{ S/km} \times 13.856 \text{ km} \\ B_t &= 0.0017599 \text{ S} \\ B_t &= 17.599 \cdot 10^{-4} \text{ S} \end{aligned}$$

Nilai suseptansi total dapat untuk menentukan nilai *reaktansi kapasitif* (X_c) seperti pada persamaan (2) seperti berikut :

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{1}{B_t} = \frac{1}{17.599 \cdot 10^{-4}} \\ X_c &= 568.2141 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Arus Charging

a. Sisi primer arus *charging* dihitung dengan persamaan (3) seperti berikut :

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{kV}{\sqrt{3} \cdot X_c} = \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot 568.2141} \\ I_c &= \frac{150.000}{984.1468} \\ I_c &= 152.4163 \text{ Amp} \end{aligned}$$

b. Sisi sekunder arus *charging* dihitung dengan persamaan (4) seperti berikut :

$$\begin{aligned} I_{cs} &= \frac{I_c}{CT} = \frac{152.4163}{2000/1} \\ I_{cs} &= 0.0762 \text{ Amp} \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Arus Pick Up Minimum Rele (I_{s1})

Nilai arus *pick up* minimum (I_{s1}) dihitung dari persamaan (5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{s1} &= 2.5 \cdot I_{cs} \\ I_{s1} &= 2.5 \cdot 0.0762 \text{ Amp} \\ I_{s1} &= 0.1905 \text{ Amp} \end{aligned}$$

4.3.4 Perhitungan Arus Pick Up Maksimum (I_{s2})

Nilai I_n (arus nominal) yang digunakan sesuai dengan *ratio* CT yang digunakan berdasarkan tabel 2.3 yaitu 2000/1, maka arus nominalnya adalah 1. Perhitungan *setting* rele I_{s2} dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} I_{s2} &= 2 \cdot I_n \text{ rele} \\ I_{s2} &= 2 \cdot 1 \\ I_{s2} &= 2 \text{ Amp} \end{aligned}$$

4.3.5 Waktu Kerja

Untuk t (waktu kerja) adalah 0.00 s atau *instant* karena merupakan pengaman utama sehingga tidak dilakukan penyetingan waktu agar rele dapat melindungi saluran transmisi dengan cepat.

4.3.6 Karakteristik Rele

- $Slope$ 1 (K_1) = *Error* CT + akurasi rele + faktor keamanan *slope* 1
 $= 10\% + 5\% + 5\% = 20\%$
- $Slope$ 2 (K_2) = 80% (*recomanded manufacture*).

Hasil nilai I_{s1} didapatkan nilai 0.1905 A sehingga dapat ditentukan nilai *setting* I_{s1} sebesar 0.2 A. Nilai pengaturan dipilih berdasarkan nilai pengaturan pabrik. Penggunaan *slope* 20% sebagai akurasi CT sehingga dipilih *setting* rele *line differential*, seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan *setting* rele *line differential* yang terpasang dengan hasil perhitungan

Setelan	Data Rele Terpasang	Hasil Perhitungan
Is ₁	0.2 Amp	0.1905 Amp
Is ₂	2 Amp	2 Amp
K ₁	20%	20%
K ₂	80%	80%

Hasil perhitungan untuk *setting* Is₁ adalah 0.1905 A pada sisi GI Riau atau 0.1905 x 2000/1 = 381 A di sisi primer untuk masing-masing gardu induk. *Ratio CT* yang berbeda pada kedua sisi gardu induk tidak berpengaruh kepada nilai *setting* karena rele mempunyai kompensasi nilai arus untuk pengaturan tersebut. Rele bekerja ketika memenuhi syarat dan nilai *setting* arus *pick up* minimum yaitu 0.1905 A atau 381 A di sisi primer kedua sisi gardu induk atau 400 A seperti nilai *setting* yang terpasang di rele. Rele tidak akan bekerja ketika nilai arus yang terbaca kurang dari nilai *setting* tersebut yaitu 0.2 A atau 400 A dengan nilai karakteristik 20% untuk arus *restraint* (arus bias) sebagai batas kerja rele agar didapatkan kesensitifan yang tinggi pada area kerja rele.

Hasil pemilihan nilai arus *pick up* maksimum (Is₂) adalah 2 A di sisi GI Riau atau 2 A dikali *ratio CT* 2000/1 yaitu 4000 A di sisi primer. Pengaturan Is₂ berfungsi jika ada perbedaan arus yang besar dan gangguan eksternal. Nilai K₂ sebesar 80% digunakan ketika arus *restraint* (I bias) diatas Is₂ untuk memberikan stabilitas rele selama gangguan yang lebih besar dan gangguan eksternal.

4.4 Pengujian Setting Rele Line Differential Pada GI Riau - GI Pasir Putih

Pengujian rele *line differential* terdiri dari beberapa bagian yaitu pada saat kondisi gangguan internal dan eksternal. Pengujian hasil *setting* rele dilakukan untuk memastikan kinerja rele *line differential* dalam memberikan kestabilan kinerja rele dan memberikan kehandalan pada saat sistem yang mengalami gangguan.

4.4.1 Pengujian Rele Line Differential Saat Kondisi Internal Fault dan Simulasi DigSILENT

Pengujian rele *line differential* saat kondisi gangguan internal dan simulasi DigSILENT dilakukan untuk mengetahui respon kinerja rele terhadap arus gangguan pada daerah yang dilindungi rele.

Skema simulasi rele *line differential* menggunakan DigSILENT saat kondisi gangguan internal menunjukkan bahwa arus lokal pada saluran transmisi GI Riau ke arus remote di Gardu Induk Pasir Putih akan berbalik arah 180° menuju titik gangguan sehingga arusnya akan searah antara Riau dan GI Pasir Putih. Nilai arus *short circuit* 3 fasa digunakan untuk simulasi gangguan internal yaitu 14.839 kA, karena arah vektor searah (I diff = I₁+I₂) maka arus akan saling menjumlahkan dan *tripping criteria* digunakan sebagai titik ideal kerja rele sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

1. Pengujian menggunakan gangguan 3 fasa :

$$I_{diff} = I_1 \angle \alpha + I_2 \angle \beta \neq 0 \text{ (IF)}$$

$$I_{diff} = I_1 \angle 0^\circ - I_2 \angle 180^\circ \neq 0$$

$$I_{diff} = 14.839 (\cos 0^\circ + \sin 0^\circ) - 14.839 (\cos 180^\circ + \sin 180^\circ)$$

$$I_{diff} = 14.839 (1 + 0) - 14.839 (-1 + 0)$$

$$I_{diff} = 14.839 + 14.839$$

$$I_{diff} = 29.678 \text{ kA}$$

2. I Bias = 14.839 kA

3. Tripping Criteria

Kasus 1

$$I \text{ Bias} < I_{S2} = I \text{ Diff} > K_1 (I \text{ Bias}) + I_{S1}$$

$$= 29.678 \text{ kA} > 0.2 (14.839 \text{ kA}) + 381 \text{ A}$$

$$= 29.678 \text{ kA} > 3.3488 \text{ kA}$$

Kasus 2

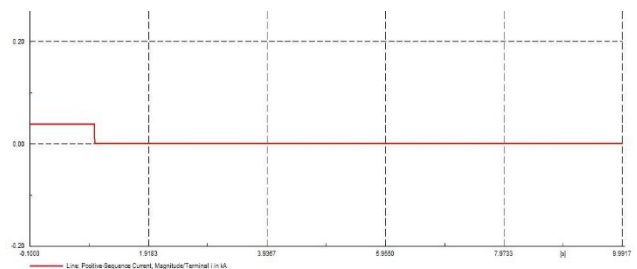
$$I \text{ Bias} > I_{S2} = I \text{ Diff} > K_2 (I \text{ Bias}) - (K_2 - K_1) I_{S2} + I_{S1}$$

$$= 29.678 \text{ kA} > 0.8 (14.839) - (0.8 - 0.2) 4000 + 381 \text{ A}$$

$$= 29.678 \text{ kA} > 11.871 \text{ kA} - 2.781 \text{ kA}$$

$$= 29.678 \text{ kA} > 9.0902 \text{ kA}$$

Dari hasil perhitungan bahwa arus *differential* lebih tinggi dari arus *restraint* yaitu 29.678 kA dan 14.839 kA. Hasil ini digunakan sebagai bukti kinerja rele terhadap perbedaan arus yang dibaca oleh CT. *Tripping criteria* menggunakan kasus 1 dan kasus 2 karena nilai I bias diatas nilai Is₂ sebesar 4000 A. Nilai *tripping criteria* untuk kasus 1 dan kasus 2 yaitu 3.3488 kA dan 9.0902 kA. Hasil perhitungan tersebut menghasilkan kurva karakteristik dari simulasi DigSILENT pada rele *line differential* untuk menentukan area kerja rele seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Karakteristik rele pengujian gangguan internal

Hasil pengujian menunjukkan rele bekerja karena telah mencapai nilai Is₁ (*setting* rele) yaitu 400 A dan nilai *setting* Is₂ 4000 A dengan nilai *tripping criteria* 3.3488 kA dan 9.0902 kA sebagai batas kerja rele.

4.4.2 Pengujian Rele Line Differential Saat Kondisi Gangguan Eksternal Fault

Pengujian rele *line differential* dan simulasi DigSILENT menggunakan arus gangguan hubung singkat 3 fasa. Pengujian rele menggunakan efek gangguan eksternal terbesar dari GI Tenayan yang masuk ke titik gangguan pada saluran transmisi GI Riau menuju GI Pasir Putih. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan memberikan respon terhadap performansi pada rele *line differential*.

rele *line differential* Skema rele *line differential* saat kondisi gangguan luar menunjukkan adanya gangguan di luar daerah lindung kerja rele, namun arus lokal pada saluran transmisi GI Riau ke arus *remote* di Gardu Induk Pasir Putih tidak akan berubah karena rele tidak akan mendeteksi adanya gangguan di luar daerah proteksinya. Nilai arus *short circuit* eksternal 3 fasa digunakan untuk perhitungan dan simulasi yaitu 14.913 kA.

1. Pengujian menggunakan gangguan 3 fasa :

$$I_{diff} = I_1 \angle \alpha + I_2 \angle \beta = 0$$

$$I_{diff} = I_1 \angle 0^\circ + I_2 \angle 180^\circ$$

$$I_{diff} = 14.913 (\cos 0^\circ + \sin 0^\circ) + 14.913 (\cos 180^\circ + \sin 180^\circ)$$

$$I_{diff} = 14.913 (1 + 0) + 14.913 (-1 + 0)$$

$$I_{diff} = 14.913 - 14.913$$

$$I_{diff} = 0 \text{ A}$$

2. I bias = 14.913 kA

3. Tripping Criteria

Kasus 1

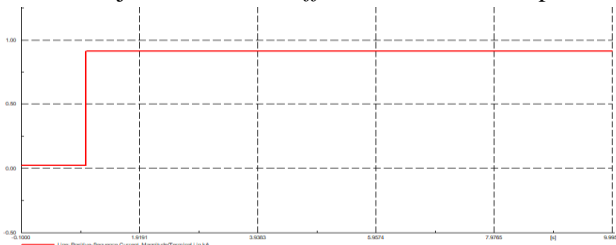
$$\begin{aligned} I \text{ Bias} < I_{S2} &= I \text{ Diff} < K_1 (I \text{ Bias}) + I_{S1} \\ &= I \text{ Diff} < 0.2 (14913 \text{ kA}) + 381 \text{ A} \\ &= I \text{ Diff} < 3.364 \text{ kA} \end{aligned}$$

Kasus 2

$$\begin{aligned} I \text{ Bias} > I_{S2} &= I \text{ Diff} < K_2 (I \text{ Bias}) - (K_2 - K_1) I_{S2} + I_{S1} \\ &= I \text{ Diff} < 0.8 (14913) - (0.8 - 0.2) 4000 + 381 \text{ A} \\ &= I \text{ Diff} < 11.9304 \text{ kA} - 2.781 \text{ kA} \\ &= I \text{ Diff} < 9.1494 \text{ kA} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan disimpulkan nilai *I restraint* lebih besar dari *I differential* yaitu 14.913 kA dan 0 A. Hasil tersebut digunakan sebagai pembuktian unjuk kerja rele terhadap perbedaan arus yang dibaca oleh CT. *Tripping criteria* menggunakan kasus 1 dan kasus 2 karena nilai *I bias* sudah diatas nilai I_{S2} sebesar 4000 A. Hasil pembuktian nilai *I diff* adalah 0 A dengan nilai *tripping criteria* 3.364 kA dan 9.1494 kA.

Dibuktikan bahwa hasil pengujian menunjukkan rele tidak bekerja karena nilai *I differential* tidak mencapai nilai



setting arus *pick up* minimum yaitu 400 A sebagai performansi rele seperti pada Gambar 4.4.

Gambar 4.4 Karakteristik rele pengujian gangguan eksternal

5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan yaitu hasil perhitungan *setting* rele *line differential* GI Tenayan - GI Riau sebesar nilai I_{S1} 0.8955 A dengan batas *slope* 20%. Nilai I_{S2} disetting lebih tinggi agar rele dapat bekerja lebih stabil terhadap kontribusi gangguan internal dan eksternal yaitu sebesar I_{S2} yaitu 10 A dengan *slope* 80% dengan waktu kerja rele 0.00 s (*instant*). Hasil Perhitungan *setting* rele *line differential* GI Riau - GI Pasir Putih sebesar nilai I_{S1} 0.1905 A dengan batas *slope* 20%. Nilai I_{S2} diseting juga lebih tinggi agar rele dapat bekerja lebih stabil terhadap kontribusi gangguan internal dan *external* yaitu sebesar I_{S2} yaitu 2 A dengan *slope* 80% dengan waktu kerja rele 0.00 s (*instant*). Hasil pengujian rele *line differential* gangguan internal menunjukkan rele bekerja dan membuka pemutus tenaga dimana *I diff* melebihi nilai *setting* arus *pick up* minimum yaitu sebesar 28,826 kA. Nilai *I diff* dan *I bias* menentukan kondisi arus masuk di *operating area* sehingga rele akan bekerja dengan nilai *tripping criteria* sebagai batas kinerja rele. Hasil pengujian rele *line differential* gangguan eksternal menunjukkan rele tidak bekerja dimana $I \text{ diff} = 0$ atau tidak mencapai nilai *setting* rele. Nilai *I diff* dan *I bias* menentukan kondisi arus masuk di *block area* sehingga rele tidak bekerja.

5.2 Saran

Untuk pengembangan pada penelitian ini berikutnya maka penulis berharap penelitian ini dapat menjadi salah satu acuan dalam menghitung *setting* rele *line differential* pada saluran transmisi jarak pendek.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. B. Dharmawan, "STUDI SISTEM PROTEKSI LINE CURRENT DIFFERENTIAL RELAY PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV," *Jurnal Spektrum*, vol. 7, p. 10, 2021.
- [2] PT. PLN(Persero), "Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali," Jakarta, 2013, p. 513.
- [3] PT. PLN(Persero), "Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Penghantar," Jakarta, 2014.
- [4] H. Samulah, Dasar - Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, Palembang: UNSRI, 2004.
- [5] Y. L. H. Gau, "A Design Scheme of Line Current Differential Protection Based on IEC61850," *IEEE*, p. 4, 2011.
- [6] B. Panjaitan, Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: Andi, 2012.