

# Analisa *Setting* Relai Arus Lebih Jaringan Transmisi 150kV Pada Sistem Minahasa

Yehezkiel Rondonuwu, Lily S. Patras, Hans Tumaliang

Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

Email: nikkiyehezkiel@gmail.com, lilyspatras@gmail.com, hanstumaliang@gmail.com

*Abstract— The faults in electric power system is caused by internal and external faults. It needs a protection system that can guarantee the continuity of electrical energy so that the system reliability is maintained.*

*Relays are an important tool in the protection circuit. There are many kinds of relays that are known in electric power systems. One of them is the over current relay, this relay secures the equipment or the power grid from overcurrent and short circuit current. The short circuit are three phase current fault, two phase current fault and phase to ground current fault.*

*More current relay setting for Lopana - Tanjung Merah feeders in Minahasa system is obtained if there are faults at GI Tanjung Merah then PMT at SJ 3.1 will work first with setting time 0,689 seconds and which become backup 1 is PMT SN 3.1 with setting time 1,089 seconds. PMT SL 3.8 is backup 2 with setting time 1.489 seconds and the backup 3 is PMT S.P 3.6 with setting time 1.889 seconds.*

**Keywords :** *Current setting, faults, overcurrent relays, time setting*

*Abstrak— Gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh gangguan dari dalam maupun gangguan dari luar. Untuk itu diperlukan suatu sistem proteksi yang dapat menjamin kontinuitas energi listrik sehingga keandalan sistem tetap terjaga.*

*Relai adalah suatu peralatan penting dalam rangkaian proteksi. Ada banyak macam relai yang diketahui dalam sistem tenaga listrik. Salah satunya adalah relai arus lebih (over current relay), relai ini mengamankan peralatan atau jaringan listrik dari gangguan arus lebih dan arus hubung singkat. Arus hubung singkat terdapat hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan fasa ke tanah.*

*Setting relai arus lebih untuk jaringan Lopana – Tanjung Merah di sistem Minahasa diperoleh apabila terjadi gangguan pada GI Tanjung Merah maka PMT pada SJ 3.1 akan bekerja dulu dengan setting waktu 0,689 detik dan yang menjadi backup 1 adalah PMT SN 3.1 dengan setting waktu 1,089 detik. PMT SL 3.8 adalah backup 2 dengan setting waktu 1,489 detik dan yang menjadi backup 3 adalah PMT S.P 3.6 dengan setting waktu 1,889 detik.*

**Kata kunci :** *Gangguan, relai arus lebih, setting arus, setting waktu*

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan primer manusia saat ini, untuk itu kontinuitas distribusi tenaga listrik dijaga agar selalu andal. Sistem tenaga listrik adalah sistem yang saling ter-interkoneksi dari beberapa pembangkitan, gardu induk, jaringan transmisi, jaringan distribusi dan pada beban konsumen. Agar energi listrik ini dapat terus dirasakan oleh konsumen tentunya harus memiliki sistem tenaga listrik yang andal. Adapun energi listrik yang disalurkan tidak lepas dari gangguan, baik gangguan internal maupun gangguan eksternal. Beberapa hal yang menjadi penyebab gangguan antara lain adalah faktor lingkungan terlebih lagi untuk jaringan tenaga listrik yang terbuka. Gangguan – gangguan ini antara lain hubung singkat fasa-fasa dan hubung singkat fasa-tanah. Untuk itu diperlukan sistem proteksi peralatan listrik yang andal sehingga kontinuitas energi listrik dapat berperan dengan baik.

Relai proteksi arus lebih dipasang pada pembangkit dan gardu induk untuk mengamankan jaringan tenaga listrik. Sistem tenaga listrik di Sulawesi Utara yang dinamakan “Sistem Minahasa” juga menggunakan relai proteksi arus lebih. Dalam pengoperasian Sistem Minahasa banyak juga terjadi gangguan fasa-fasa dan fasa tanah, untuk itu relai proteksi arus lebih akan bekerja lebih selektif.

Dengan permasalahan tersebut penulis mencoba untuk menganalisa setting relai arus lebih pada suatu jaringan tenaga listrik dengan menerapkan materi-materi proteksi yang telah didapatkan didalam perkuliahan untuk diterapkan.

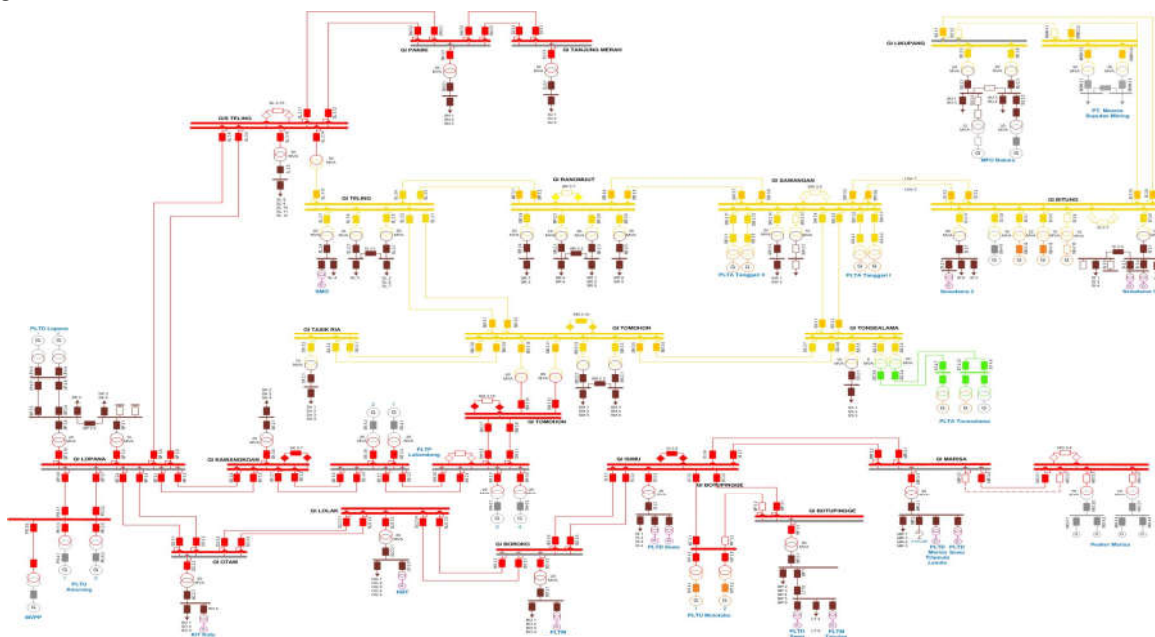
### A. Sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik adalah kumpulan beberapa peralatan yang bertujuan untuk menghasilkan suatu energi listrik. Sistem yang ter-interkoneksi adalah beberapa buah sistem tenaga listrik yang saling terhubung untuk melayani suatu daerah tertentu. Di Sulawesi Utara dikenal dengan Sistem Minahasa adalah

suatu sistem tenaga listrik yang melayani 3 Propinsi Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah atau disebut Wilayah SULUTTENGGU. Untuk mempermudah didalam menganalisa atau merencanakan maka sistem ini digambarkan dalam suatu diagram yang disebut dengan diagram satu garis (*one line diagram*), dimana diagram ini terdiri dari simbol – simbol yang menggambarkan sistem peralatan yang ada pada sistem tenaga listrik.

Diagram satu garis dari Sistem Minahasa dapat dilihat pada gambar 1. Sistem ini dilayani oleh beberapa pembangkit yakni PLTA mempunyai total daya terpasang 51,38 MW, PLTP Lahendong 120 MW, PLTU Amurang 50 MW, PLTD Bitung 56,52 MW. Pembangkit – pembangkit ini memberikan energi listrik yang saling terinterkoneksi melalui jaringan transmisi 70 kV dan 150 kV. Jaringan transmisi 70 kV dan 150 kV ini saling terhubung melalui *inter-bus transformer* (IBT) yang terdapat pada gardu induk Tomohon dan GIS Teling sehingga aliran daya listrik jaringan transmisi 70 kV dapat tersalurkan ke jaringan transmisi 150 kV begitu juga sebaliknya.

Pada penelitian ini diasumsikan hanya PLTU Amurang saj yang melayani energi listrik. PLTU Amurang mempunyai dua unit pembangkit dengan total daya 50 MW dengan tegangan 11 kV kemudian ditransformasikan ke 150 kV dan dihubungkan dengan GI Lopana dimana gardu induk ini terhubung dengan saluran udara tegangan 150 kV dan memiliki transformator daya 20 MW dengan tegangan 150/20 kV. Dapat dilihat pada gambar 1 merupakan diagram satu garis sistem minahasa.



Gambar 1. Sistem Minahasa

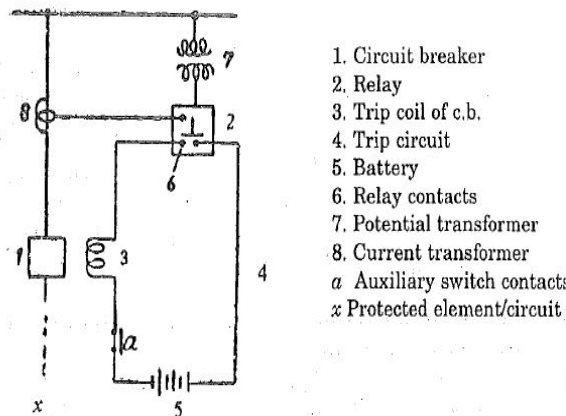
### B. Sistem proteksi tenaga listrik

Sistem tenaga listrik tidak lepas dari kondisi gangguan yaitu gangguan internal maupun eksternal. Gangguan internal merupakan gangguan yang terjadi akibat kerusakan pada peralatan listrik itu sendiri, sedangkan gangguan eksternal berasal dari alam sekitar dan manusia, sehingga diperlukan suatu peralatan pengamanan untuk menjaga kontinuitas tenaga listrik.

Secara umum relay proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen. Relay proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga.

Adapun untuk dapat melakukan pengamanan pada suatu peralatan listrik diperlukan suatu sistem pengamanan (proteksi) bisa dilihat pada gambar 2 yang terdiri atas :

- 1) Relay proteksi
- 2) Trafo arus / Trafo tegangan
- 3) Pemutus Tenaga (PMT/CB)
- 4) Sumber DC
- 5) Pengawatan



Gambar 2. Diagram proteksi sederhana

C. Relai arus Lebih

Relai arus lebih adalah suatu pengaman yang digunakan untuk memproteksi pada saat terjadi gangguan. Arus gangguan hubung singkat (dua fasa atau tiga fasa) atau gangguan satu fasa ketanah. Relai arus lebih merupakan relai yang penggunaannya cukup banyak dan luas. Relai ini bisa menjadi pengaman utama maupun pengaman cadangan juga mempunyai keuntungan dan kerugiannya. Relai arus lebih yang digunakan adalah *general electric f650 digital bay controller*.

1) Perhitungan Setting relai arus lebih

Pada sistem tenaga listrik ada beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung atau mencari nilai dari impedansi (Z), yaitu nilai resistansi(R) dan reaktansi (X) dimana nilai dari reaktansi bisa didapat dari dua parameter juga yaitu nilai kapasitansi dan induktansi. Oleh karena itu, impedansi dapat dijabarkan pada persamaan (1) :

$$Z = \sqrt{R^2 + XL} (\Omega) \tag{1}$$

Keterangan :

Z= impedansi (Ω)

R= resistansi (Ω)

XL= reaktansi indukstif (Ω)

2) Resistansi jaringan tenaga listrik

Resistansi adalah nilai tahanan dari sebuah penghantar dan merupakan penyebab utama rugi-rugi daya pada jaringan listrik.

$$R = \frac{P \text{ (Rugi - rugi daya dalam penghantar)}}{(I)^2} \tag{2}$$

Dimana dari persamaan (2) dapat dilihat nilai dari resistansi berbanding terbalik dengan nilai arus. Jadi semakin besar nilai resistansi maka nilai arusnya akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya dengan nilai arus.

Berikut ini merupakan rumus untuk mencari nilai resistansi dari suatu penghantar seperti pada persamaan (3) :

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{3}$$

Keterangan :

ρ= resistivitas penghantar (Ω)

l= panjang (m)

A= luas penampang (mm<sup>2</sup>)

3) Reaktansi jaringan tenaga listrik

Reaktansi jaringan tenaga listrik merupakan sebuah nilai tahanan yang didapat dari nilai induktansi dan kapasitansi penghantar yang ada di saluran. Persamaan (4) dan (5) adalah rumus untuk mencari nilai reaktansi :

$$XL = \omega L = 2\pi fL (\Omega) \tag{4}$$

$$XL = \frac{1}{\omega C} (\Omega) \tag{5}$$

Keterangan :

XL = reaktansi induktif (Ω)

f = frekuensi (Hz)

XC = reaktansi kapasitif (Ω)

L = induktansi (H)

ω = 2 π f = kecepatan sudut

C = kapasitansi (F)

4) Perhitungan reaktansi

Untuk mendapatkan nilai dari reaktansi pembangkit yang bekerja paralel menggunakan persamaan (6) :

$$\frac{1}{X_{total}} = \frac{1}{X1} + \frac{1}{X2} \tag{6}$$

Keterangan :

X= reaktansi pembangkit (Ω)

X1= reaktansi pembangkit unit 1 (Ω)

X2= reaktansi pembangkit unit 2 (Ω)

### 5) Perhitungan impedansi baru

Untuk mengubah dari impedansi per-unit menurut suatu dasar yang diberikan menjadi impedansi per-unit menurut suatu dasar yang baru, dapat dipakai persamaan (7) :

$$Z = Z_{\text{diberikan}} \left( \frac{kV_{\text{diberikan}}}{kV_{\text{baru}}} \right)^2 \times \left( \frac{MVA_{\text{baru}}}{MVA_{\text{diberikan}}} \right) \quad (7)$$

Keterangan :

$Z_{\text{diberikan}}$  = impedansi dasar ( $\Omega$ )

kV = tegangan (kV)

MVA = daya (Mva)

### D. Perhitungan arus lebih dan arus gangguan

Relai arus lebih mengandung relai arus dan relai waktu, dimana relai waktu dapat berdiri sendiri misalnya pada relai arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu ataupun terkait dengan besarnya arus yang melampauinya yaitu pada relai arus lebih waktu terbalik. Disamping itu relai arus lebih diatas dilengkapi dengan relai arus lebih seketika. Dengan demikian pada setting arus lebih ini perlu mensetting arus, waktu dan arus seketikanya.

#### 1) Rumus perhitungan arus

Sebuah jaringan transmisi tenaga listrik yang radial diperlukan pengaman ketika terjadi gangguan hubung singkat. Relai arus lebih salah satu pengaman jaringan terhubung pada PMT diperlukan setting yang handal agar supaya relai arus lebih ini dapat bekerja dengan selektifitas. Diperlukan setting waktu *time grading* agar supaya relai bisa bekerja dengan baik.

Untuk menghitung arus beban penuh kita perlu menentukan  $MVA_{\text{base}}$  terlebih dahulu dan beban konsumen pada tiap jaringan distribusi pada gardu induk, kemudian menggunakan persamaan (8) :

$$I_f = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot kV} \quad (8)$$

Keterangan :

$I_f$  = arus beban penuh (A)

S = beban (MVA)

kV = tegangan penyulang (kV)

#### 2) Rumus untuk menghitung $MVA_{\text{fault}}$ :

Untuk mendapatkan besarnya nilai arus gangguan hubung singkat pada gardu induk sistem tenaga listrik ditulis dalam MVA, maka digunakan persamaan (9) :

$$MVA_f = \frac{MVA_{\text{base}}}{X_{\text{total}}} \quad (9)$$

Keterangan :

$MVA_f$  = gangguan hubung singkat beban

$MVA_{\text{base}}$  = beban yang ditentukan

$X_{\text{total}}$  = reaktansi total

#### 3) Rumus perhitungan arus gangguan tiga fasa :

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan antara fasa dan fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat antar fasa yaitu gangguan tiga fasa dan dua fasa. Gangguan tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi dengan mengakibatkan nilai arus yang besar. Untuk mendapatkan arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada jaringan listrik menggunakan perhitungan (10).

$$I_{sc_{3\phi}} = \frac{MVA_f}{\sqrt{3} \cdot kV} \quad (10)$$

Keterangan :

$I_{sc_{3\phi}}$  = arus hubung singkat tiga fasa (A)

$MVA_f$  = beban hubung singkat

kV = tegangan (kV)

#### 4) Rumus perhitungan arus gangguan dua fasa :

Pada sistem tenaga listrik terdapat gangguan hubung singkat yaitu antar fasa dan fasa ke tanah. Gangguan antar fasa pada persamaan (11) merupakan perhitungan gangguan dua fasa pada jaringan listrik.

$$I_{sc_{2\phi}} = 0.866 \cdot I_{sc_{3\phi}} \quad (11)$$

Keterangan :

$I_{sc_{2\phi}}$  = arus hubung singkat dua fasa (A)

$I_{sc_{3\phi}}$  = arus hubung singkat tiga fasa (A)

### E. Batas setting arus minimum dan maksimum relai arus lebih

Dalam setting suatu relai pengaman arus lebih diperlukan data-data dan perhitungan dasar mengenai sistem tenaga listrik. Langkah – langkah awal yang dilakukan adalah menganalisa data - data suatu jaringan tempat relai pengaman tersebut. Hasil dari analisa yang didapatkan akan menjadi data masukkan pada pethitungan setting relai pengaman tersebut. Proses akhir dari perhitungan ini akan mendapatkan hasil dalam bentuk persamaan batas setting maksimum dan minimum seperti persamaan (15) dan (16).

1) *Batas setting arus minimum*

Perhitungan ini bawah ini merupakan batas setting minimum dan hasilnya akan dimasukkan pada persamaan (15). Untuk perhitungan ini memerlukan hasil perhitungan persamaan (8).

Adapun batas setting arus *pick-up* minimum seperti persamaan (12) :

$$I_{pp} = \frac{K_s}{K_d} I_{fl} \tag{12}$$

Keterangan :

$I_{pp}$  : Setting arus (A)

$I_{fl}$  : Arus beban penuh (A)

$K_s$  : faktor keamanan (1,05 – 1,3)

$K_d$  : faktor arus kembali (0,7 – 0,95)

2) *Batas setting arus maksimum*

Perhitungan persamaan (13) ini merupakan batas setting maksimum yang akan dimasukkan pada persamaan (15). perhitungan persamaan (11) akan memerlukan hasil perhitungan dari persamaan (13).

$$I_{pp} = \frac{I_{scmin}}{K_s} \tag{13}$$

Keterangan :

$I_{pp}$  = setingg arus (A)

$I_{scmin}$  : arus hubung singkat dua fasa (A)

$K_s$  : faktor sensitivitas (1,3 – 1,5)

dari persamaan diatas mendapatkan perhitungan :

Untuk mendapatkan  $I_{scmin}$  menggunakan rumus dibawah ini namun bisa juga menggunakan rumus persamaan (11) yaitu perhitungan gangguan hubung singkat dua fasa. Seperti persamaan (14)

$$I_{pp} = K_s \cdot I_{sc2\phi} \tag{14}$$

Keterangan :

$I_{pp}$ : setting arus (A)

$K_s$  : faktor keamanan dalam hal ini  $K_s = 0.8$

$I_{sc2\phi}$ : arus gangguan dua fasa pada pembangkitan minimum di satu seksi hilirnya (A).

Dari hasil – hasil batas setting minimum dan maksimum akan dimasukkan pada persamaan setting relai arus lebih untuk gangguan fasa seperti persamaan (15) :

$$\frac{K_s}{K_d} \times I_{fl} < I_{pp} < \frac{I_{scmin}}{K_s} \tag{15}$$

Untuk menentukan arus setting menggunakan persamaan (16)

$$\frac{I_{fl}}{CT} < I_{ps} < \frac{I_{scmin}}{CT} \tag{16}$$

F. *Setting waktu kerja relai arus lebih*

Untuk mendapatkan hasil setting waktu kerja terdapat dua bagian yaitu melalui perhitungan berdasarkan rumus IEEE yang terdapat pada instruksi manual *general electric* F650 dan setelah mendapatkan hasilnya dijumlahkan dengan menggunakan cara setting waktu kerja relai.

1. *Rumus perhitungan waktu berdasarkan IEEE general electric F650*

Dalam standar waktu IEEE dipilih karakteristik kurva *very inverse*, persamaan (17) adalah rumus setting waktu.

$$t = dial \times \left[ \frac{A}{\left(\frac{I}{I_{tap}}\right)^p + B} \right] \tag{17}$$

Keterangan :

$t$  = waktu kerja dalam detik

dial = *multiplier setting*

$I$  = arus masukan

$I_{tap}$  = nilai arus *pickup*

A,B,p = konstanta

G. *Setting waktu akumulasi kerja relai*

Adapun pertimbangan setting waktu ialah diusahakan relai secara keseluruhan bekerja cepat tetapi tetap selektif dan tidak boleh salah kerja.

1) *Setting waktu kerja relai paling hilir*

Setting waktu kerja untuk relai yang letaknya paling hilir ialah secepat mungkin, namun tidak boleh bekerja karena adanya arus transient pada saat pemasukan PMT dimana pada jaringan terdapat beban dan tidak boleh bekerja kalau terjadi getaran mekanis (khusus relai elektro mekanis).

Untuk relai dengan karakteristik waktu terbalik pada saat penyetelan waktu dalam hal ini Td (Time dial) atau TMS (Time Multiple Setting) ialah didasarkan pada pembangkitan maksimum.

- Relai arus lebih waktu tertentu:  $T = 0.2-0.3$  detik.
- Relai arus lebih waktu terbalik

Td atau TMS sedemikian rupa bila terjadi gangguan ditempat relai tersebut waktu kerja relai 0.2-0.3 detik. Atau untuk relai dimana kurva digambarkan seluruhnya dapat diambil pada kurva terkecil.

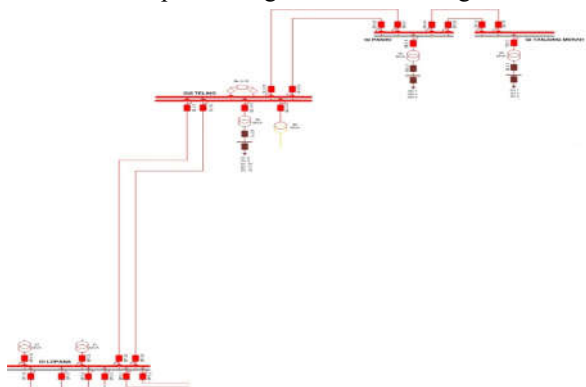
2) *Setting waktu kerja relai satu seksi di hulunya.*

Setting waktu untuk relai di hulunya didasarkan supaya relai dapat bekerja selektif tetapi waktu secara keseluruhan cepat sehingga tidak melampaui kekuatan termis terhadap alat yang diamankan. Bila pertingkatan waktu dinyatakan dengan  $\Delta t = 0.3-0.5$  detik

Pada relai arus lebih waktu terbalik dipilih Td (TMS) sedemikian rupa bila terdapat gangguan di tempat relai B relai A bekerja dengan waktu  $t_b + \Delta t$  detik .

II. DATA JARINGAN SISTEM TENGA LISTRIK GI LOPANA – GI TANJUNG MERAH

Jaringan listrik yang menghubungkan Lopana sampai Tanjung Merah merupakan jaringan transmisi yang ada pada Sistem Minahasa. Pada jaringan ini terdapat empat gardu induk yang terhubung dapat dilihat pada gambar. 3 dengan variasi beban yang terdapat pada data-data dibawah ini. Untuk mengamankan jaringan ini terhadap gangguan maka digunakan beberapa relai proteksi. Penelitian ini akan menghitung settingan relai arus lebih meliputi settingan arus dan settingan waktu.



Gambar. 3 Gambar diagram satu garis GI Lopana-GI Tanjung Merah

1) *Data teknis*

Didalam penelitian ini yang akan dianalisa adalah relai arus lebih terutama bagaimana mensetting (penyetelan) arus dan waktu dari relai arus lebih. Adapun data-data yang akan menunjang dalam perhitungan dan analisa penelitian ini ada pada penyetelan berikut.

a. *Data teknis generator*

Meliputi daya terpasang, tegangan dan reaktansi. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang yang menyuplai di sistem minahasa memiliki dua unit generator dengan masing-masing menghasilkan daya terpasang sebesar 25 MW, tegangan 11 kV dan reaktansi 13,6%. Dapat dilihat pada tabel I.

b. *Data teknis jaringan transmisi*

Jaringan transmisi tenaga listrik, meliputi data panjang saluran, nilai impedansi dari saluran. Gardu induk dalam sistem minahasa dihubungkan dengan jaringan transmisi tenaga listrik. Tabel II terdapat resistansi, reaktansi induktif dan impedansi jaringan transmisi.

TABEL I. DATA TEKNIS GENERATOR PLTU AMURANG

PLTU AMURANG	Daya Terpasang (MW)	Tegangan (kV)	Reaktansi (%)
Unit 1	25	11	13,6
Unit 2	25	11	13.6

TABEL II DATA TEKNIS JARINGAN TRANSMISI

No	SUTT	Panjang (km)	R (per km)		XL (per km)		Z (per km)	
			positif	nol	positif	nol	positif	Nol
1.	GI Lopana – GIS Teling	45	0,1183	0,31	0,3877	0,7173	0,4	0,7
2.	GIS Teling – GI Paniki	11,551	0,1183	0,31	0,3877	0,7173	0,4	0,7
3.	GI Paniki – GI Tanjung Merah	27,152	0,1183	0,31	0,3877	0,7173	0,4	0,7

TABEL III DATA TEKNIS KONSTANTA RELAI *GENERAL ELECTRIC F650*

Bentuk kurva	Nama	A	B	P
IEEE				
IEEE <i>Extremely inverse</i>	IEEE Ext inv	28,2	0,1217	2,0000
IEEE <i>Very inverse</i>	IEEE Very inv	19,61	0,491	2,0000
IEEE <i>inverse</i>	IEEE Mod inv	0,0515	0,1140	0,0200

c. *Data konstanta IEEE curves relay General Electric F650*

Relai arus lebih yang digunakan adalah *General Electric F650*. Relai ini memiliki rumus perhitungan dalam setting waktu. Relai arus lebih memiliki pilihan karakteristik waktu *extremely inverse, very inverse, inverse* untuk digunakan pada perhitungan setting waktu tersebut. Tabel III merupakan konstanta karakteristik yang akan digunakan pada rumus perhitungan setting waktu relai arus lebih.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Setting relai arus lebih pada jaringan transmisi GI Lopana – GI Tanjung Merah yang terdapat dalam Sistem Minahasa dilakukan beberapa langkah antara lain perhitungan impedansi pembangkit operasi minimum, impedansi pembangkit maksimum, impedansi jaringan, perhitungan setting arus dan setting waktu pada relai arus lebih yang dapat dijabarkan pada penjelasan dibawah ini :

A. *Perhitungan impedansi*

Impedansi pada jaringan GI Lopana – GI Tanjung Merah dapat di hitung menggunakan persamaan (2.1) dengan menentukan base terlebih dahulu. *Base* yang dipilih adalah pada sisi transformator daya gardu induk lopana 30 MVA, tegangan 20 kV. Adapun untuk impedansi pembangkit terdiri dari dua yaitu impedansi pembangkit pada kondisi beroperasi minimum dan maksimum. Dimana untuk impedansi pembangkit yang beroperasi minimum, apabila pada pusat pembangkit yang beroperasi hanya satu unit saja, sedangkan untuk impedansi pembangkit yang

beroperasi maksimum apabila seluruh unit pembangkit tersebut bekerja.

1) *Impedansi pembangkit operasi minimum*

Impedansi pada jaringan GI Lopana – GI Tanjung Merah dapat di hitung menggunakan persamaan (2.1) dengan menentukan base terlebih dahulu. *Base* yang dipilih adalah pada sisi transformator daya gardu induk lopana 30 MVA, tegangan 20 kV. Adapun untuk impedansi pembangkit terdiri dari dua yaitu impedansi pembangkit pada kondisi beroperasi minimum dan

maksimum. Dimana untuk impedansi pembangkit yang beroperasi minimum, apabila pada pusat pembangkit yang beroperasi hanya satu unit saja, sedangkan untuk impedansi pembangkit yang beroperasi maksimum apabila seluruh unit pembangkit tersebut bekerja.

a. *Reaktansi pembangkit*

Nilai reaktansi minimum pembangkit PLTU Amurang X = 13,6%

b. *Impedansi pembangkit operasi minimum PLTU Amurang*

$$Z = Z_{diberikan} \left( \frac{kV_{diberikan\ dasar}}{kV_{baru\ dasar}} \right)^2 \times \left( \frac{MVA_{baru}}{MVA_{diberikan\ dasar}} \right)$$

$$Z = 13,6 \left( \frac{10,5}{20} \right)^2 \times \left( \frac{30}{31,25} \right)$$

$$Z = 13,6 (0,27) \times (0,96)$$

$$Z = 3,5 \text{ p.u}$$

2) *Impedansi pembangkit operasi maksimum*

Nilai reaktansi pembangkit maksimum PLTU Amurang

$$\frac{1}{X_{total}} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}$$

$$\frac{1}{X_{total}} = \frac{1}{13,6} + \frac{1}{13,6}$$

$$\frac{1}{X_{total}} = \frac{2}{13,6}$$

$$X_{total} = \frac{13,6}{2}$$

$$X_{total} = 6,8 \Omega$$

$$Z = Z_{diberikan} \left( \frac{kV_{diberikan\ dasar}}{kV_{baru\ dasar}} \right)^2 \times \left( \frac{MVA_{baru\ dasar}}{MVA_{diberikan\ dasar}} \right)$$

$$Z = 6,8 \left( \frac{10,5}{20} \right)^2 \times \left( \frac{30}{31,25} \right)$$

$$Z = 6,8 (0,27) \times (0,96)$$

$$Z = 1,76 \text{ p.u}$$

3) *Impedansi saluran*

Perhitungan impedansi saluran menggunakan data berdasarkan data pada tabel II. perhitungan dibawah ini meliputi impedansi saluran dan impedansi saluran per-unit (p.u), maka perhitungan impedansi saluran GI Lopana – GI Tanjung Merah sebagai berikut

- a. Impedansi saluran transmisi GI Lopana – GIS Teling

$$Z = \sqrt{0,1183^2 + 0,3877^2} (\Omega/\text{km}) \times 45 (\text{km})$$

$$Z = \sqrt{0,013994 + 0,15031129} (\Omega/\text{km}) \times 45 (\text{km})$$

$$Z = 0,4053 (\Omega/\text{km}) \times 45 (\text{km})$$

$$Z = 18,2385 \Omega$$

$$Z = 18,24 \Omega$$

- b. Impedansi baru saluran transmisi GI Lopana – GIS Teling

$$Z = 18,24 \left( \frac{150 \text{ kV}}{150 \text{ kV}} \right)^2 \times \left( \frac{30 \text{ MVA}}{20 \text{ MVA}} \right)$$

$$= 18,24 \times (1,5)$$

$$= 27,36 \text{ p.u}$$

### B. Perhitungan setting relai arus lebih

Impedansi pada jaringan GI Lopana – GI Tanjung Merah dapat di hitung menggunakan persamaan (2.1) dengan menentukan base terlebih dahulu. Base yang dipilih adalah pada sisi transformator daya gardu induk lopana 30 MVA, tegangan 20 kV. Adapun untuk impedansi pembangkit terdiri dari dua yaitu impedansi pembangkit pada kondisi beroperasi minimum dan maksimum. Dimana untuk impedansi pembangkit yang beroperasi minimum, apabila pada pusat pembangkit yang beroperasi hanya satu unit saja, sedangkan untuk impedansi pembangkit yang beroperasi maksimum apabila seluruh unit pembangkit tersebut bekerja.

#### 1) Perhitungan setting arus

Analisa perhitungan setting arus untuk relai arus lebih dimulai dengan menghitung arus beban penuh dan arus gangguan hubung singkat. Analisa dimulai dari daerah gardu induk tanjung merah seperti pada gambar 4.

$$IfI = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = \frac{3000000}{34600} = 867 \text{ A}$$

$$MVaf = \frac{30}{4,48\%} = \frac{30}{0,448} = 66,96 \text{ MVA}$$

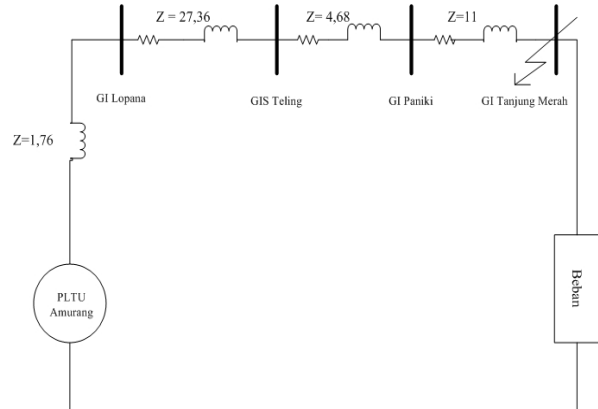
$$Isc\ 3\phi = \frac{66,96}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = \frac{66,96 \times 10^6}{66960000} = \frac{34600}{1935,26} \text{ A}$$

$$Isc\ 2\phi = 0,866 \times 1935,26 = 1675,93 \text{ A}$$

$$1,5 \times 867 < I_{pp} < \frac{1675,93}{1,5}$$

$$\frac{1300,5}{800/1} < I_{pp} < \frac{1117,28}{800/1}$$

$$1,39 < Ips < 1,6$$



Gambar 4. Gangguan pada GI Tanjung Merah

Hasil perhitungan mendapatkan setting arus dengan nilai  $1,39 < Ips < 1,6$  maka ditentukan 1,5 sebagai nilai setting arus untuk relai arus lebih gardu induk tanjung merah.

#### 2) Setting waktu

A. Perhitungan setting waktu relai berdasarkan IEEE very inverse

##### 1. Gardu Induk Tanjung Merah

$$\text{Dial} = 1$$

$$t = 1 \times \left[ \frac{19,61}{\left( \frac{24393}{1,9} \right)^2 - 1} + 0,491 \right]$$

$$t = 1 \times \left[ \frac{19,61}{(1283,84)^2 - 1} + 0,491 \right]$$

$$t = 1 \times \left[ \frac{19,61}{(164824,14) - 1} + 0,491 \right]$$

$$t = 1 \times \left[ \frac{19,61}{164824,14} + 0,491 \right]$$

$$t = 1 \times [0,00001189751 + 0,491]$$

$$t = 1 \times [0,49101189751]$$

$$t = 0,49 \rightarrow 0,5 \text{ mendekati } 0,689 \text{ detik pada dial } 1$$

jadi kita menggunakan setting waktu 0,689 detik untuk gardu induk Tanjung Merah.

#### B. Penyetelan waktu kerja relai satu seksi di hulunya

Waktu yang didapat pada gardu induk tanjung merah digunakan pada metode ini yaitu menjumlahkan hasil tersebut dengan  $\Delta t = 0,3 - 0,5$  yang akan ditentukan.  $\Delta t$  yang akan digunakan adalah 0,4 untuk gardu induk yang selanjutnya.

- 1) Hasil perhitungan setting arus relai arus lebih  
Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan hasil setting relai arus lebih setiap gardu induk pada tabel IV.



TABEL IV HASIL PERHITUNGAN SETTING ARUS

Gardu Induk	Arus Gangguan 3 fasa (A)	Arus Gangguan 2 fasa (A)	Iset (A)
Lopana	32842,77	28441,83	19,3
GIS Teling	2976,87	2577,96	2
Paniki	2565	2221,29	1,7
Tanjung Merah	1935,26	1675,93	1,5

2) Hasil perhitungan setting waktu relai arus lebih

Pada tabel V merupakan hasil setting waktu untuk setiap gardu induk. Dari hasil analisa diperoleh bahwa relai arus lebih yang ditempatkan pada jaringan transmisi Lopana-Tanjung Merah. Apabila terjadi gangguan pada ujung jaringan transmisi (GI Tanjung Merah) maka relai arus lebih akan bekerja yang dipasang pada PMT SJ 3.1 akan bekerja pada setting waktu 0,689 detik dan setting arus 1,5 ampere dan yang menjadi *backup* 1 adalah relai arus lebih yang terpasang pada PMT SN 3.1 dengan setting waktu 1,089 detik dan setting arus 1,7 ampere. Seterusnya apabila gangguan belum bisa diatasi maka yang akan menjadi *backup* 2 terdapat di relai arus lebih yang terpasang pada PMT SL 3.8 dengan setting waktu 1,489 detik dengan setting arus 2 ampere. Jika gangguan masih terjadi maka PMT *backup* 3 yang terhubung dengan relai arus lebih yaitu PMT SP 3.6 akan bekerja pada setting waktu 1,889 detik dengan arus 19,3 ampere.

TABEL V HASIL PERHITUNGAN SETTING WAKTU

Gardu Induk	Waktu (detik)
Lopana	1,889
GIS Teling	1,489
Paniki	1,089
Tanjung Merah	0,689

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari analisa yang diperoleh maka untuk relai arus lebih yang ditempatkan pada jaringan transmisi Lopana – Tanjung Merah apabila terjadi gangguan pada GI Tanjung Merah maka PMT pada SJ 3.1 akan bekerja dulu dengan setting waktu 0,689 detik dan yang menjadi *backup* 1 adalah PMT SN 3.1 dengan setting waktu 1,089 detik. PMT SL 3.8 adalah *backup* 2 dengan setting waktu 1,489 detik dan yang menjadi *backup* 3 adalah PMT S.P 3.6 dengan setting waktu 1,889 detik.

B. Saran

- 1) Hasil dari penelitian ini bisa menjadi refrensi dan pertimbangan untuk setting relai arus lebih dengan kondisi seperti ini.
- 2) Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memperhitungkan apabila jaringan bukan radial tetapi *loop*.

V. KUTIPAN

- [1] Dj. Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : BALAI PENERBIT & HUMAS ISTN, 1990
- [2] J. Soekarto. Ir, Kaidah Penyetelan Relai Arus Lebih. Jakarta : PT. SIPENU JAYA, 1995
- [3] Komari Ir., Filosofi, Strategi dan Analisa Untuk Peningkatan Keandalan. Jakarta : PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan *Center for Energy and Power Studies*, PT. ABB Transmission and Distribution, 2003
- [4] P.M., Anderson, "Power System Protection," McGraw-Hill, USA, 1998
- [5] S. S.Rao, "Switchgear and Protection," Khana Publisher, New Delhi, 1982.

- [6] T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, Mc Graw Hill, Inc, 1986
- [7] W. D. Stevenson, Jr., *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Edisi keempat, penerbit Erlangga Jakarta, 1994.



**Yehezkiel Rondonuwu** lahir 24 November 1994, pada tahun 2012 memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2015. Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT. PLN AP2B Tomohon dari tanggal 22 Desember 2015 dan selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado 2018, minat penelitiannya adalah tentang Analisa Setting Relai Arus Lebih Jaringan Transmisi 150 kV Pada Sistem Minahasa.