

STUDI PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) SILAU 2 TONDUHAN KABUPATEN SIMALUNGUN

Teguh Eko Prasetyo, Zulkarnaen Pane
Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: teguhekop@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) menjadi pilihan utama dalam meningkatkan kebutuhan listrik masyarakat karena menggunakan sumber air sebagai energi alternatif. PLTM merupakan pembangkit yang berskala kecil. Namun, PLTM memiliki sistem pengontrolan yang kompleks. Salah satu sistem pengontrolan yang penting dalam PLTM adalah sistem pengontrolan proteksi. Pada PLTM proteksi yang digunakan berupa rele. Hasil studi menunjukkan bahwa rele yang digunakan dalam mengamankan sebuah pembangkit diantaranya adalah Rele Frekuensi Lebih/Kurang (81), Rele Urutan Negatif (46), Rele Arus Lebih dengan Tundaan Waktu Terbalik tertentu (51), Rele Hilang Eksitasi (40), dan Rele Trip Master (86). Untuk rele arus lebih memiliki setingan 0,8, rele gangguan tanah 0,04, rele frekuensi lebih/kurang sebesar $f > 50,5\text{Hz}$ dan $f < 49,5$ dan rele tegangan lebih/kurang sebesar 1,0 dan 0,9.

Kata kunci: PLTM, Proteksi, Rele

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) merupakan pembangkit yang berskala kecil. Namun, PLTM memiliki sistem pengontrolan yang kompleks, seperti halnya pembangkit listrik yang berskala besar. Pembangkitan energi, pengkonversian energi mekanik menjadi energi listrik hingga penyaluran energi listrik, semuanya dikontrol dalam suatu sistem pada PLTM. Selain sistem pembangkitan energi, sistem pengaman juga merupakan hal yang tidak bisa diabaikan dalam proses pembangkitan energi. Apabila terjadi gangguan, maka untuk mengisolir dan mencegah terjadinya kerusakan diperlukan suatu pengaman. Salah satu pengaman yang ada pada sebuah pembangkit adalah rele. Rele merupakan sebuah pengaman yang digunakan untuk mengamankan generator, transformator dan berbagai peralatan lain dalam sebuah pembangkit. Dalam paper ini akan dibahas tentang hubungan rele terhadap kontak CB, hubungan antara rele dengan rele yang lain, suplai yang digunakan oleh rele dan hubungan rele terhadap input sensingnya.

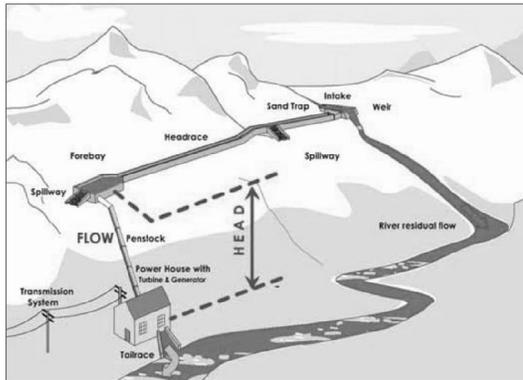
2. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Akhir-akhir ini negara-negara maju, memperhatikan pembangunan PLTA berkapasitas kecil sebagai jalan alternatif dalam mengatasi kekurangan energi listrik. Pembangunan PLTA yang sederhana serta tidak memerlukan biaya bahan bakar membuat PLTA menjadi pilihan utama. Pembagian PLTA dengan kapasitas kecil pada umumnya sebagai berikut [1]:

- PLTA Mikro < 100 kW
- PLTA Mini 100 – 999 kW
- PLTA Kecil 1000-10.000 kW
- PLTA > 10.000 kW

Prinsip dasar Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik. Air sungai ditampung oleh bendungan (*weir/dam*) yang kemudian dialirkan melalui *intake*. Air sungai yang tidak tertampung dam akan mengalir mengikuti aliran sungai pada mulanya (*river residual flow*). Air sungai yang melalui *intake* kemudian masuk ke bak pengendap (*sand trap*). Dari bak pengendap air dibawa melalui saluran

pembawa (*headrace*) untuk mendapat *head* yang sesuai kemudian masuk ke bak penenang (*forebay*) yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu, air yang berlebih pada *forebay* akan dibuang oleh *spillway*. Air dari *forebay* kemudian di salurkan menuju rumah instalasi (*power house*) melalui *penstock*. Di rumah turbin, aliran air tersebut akan melalui turbin. Air yang telah memutar turbin kemudian dibuang melalui *tailrace*. Gambar 1[2].



Gambar 1. Proses Pembangkitan Listrik PLTM

Turbin yang berputar akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros turbin yang berputar kemudian dihubungkan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke busbar sebelum dialirkan ke rumah-rumah (beban) atau diinterkoneksi dengan pembangkit yang lain

Daya yang dihasilkan oleh sebuah pembangkit mini hidro dapat diketahui dengan Persamaan (1)[3]

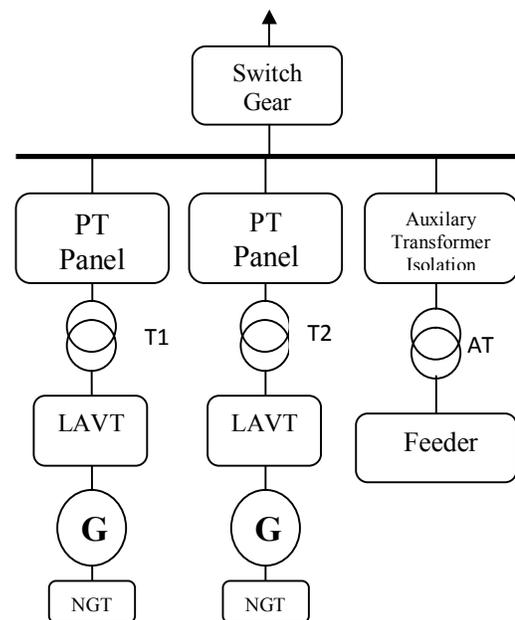
$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{el} \text{ Watt} \quad (1)$$

Dengan,

- Q = debit dengan m³/s
- ρ = masa jenis air = 1000 kg/m³
- g = percepatan gaya berat = 9,8 m/s
- H = perbedaan tinggi (m)
- η_t = efisiensi turbin
- η_g = efisiensi generator
- η_{el} = efisiensi sistem elektrik

3. Proteksi pada PLTM Silau 2

Proteksi pada PLTM Silau 2 terdiri dari rele-rele yang mengamankan bagian PLTM seperti generator, main transformator, auxiliary transformator, switch gear, dan generator diesel. Pada sebuah pembangkit diperlukan suatu single line diagram yang menggambarkan hubungan peralatan sistem tenaga. Gambar 2 [4] merupakan skema dari Single line diagram PLTM Silau 2 yang terdiri dari generator unit 1 & unit 2, transformator unit 1 & unit 2, switch gear (OutGoing Line), auxiliary transformer, dan feeder. Dengan adanya auxiliary transformer, maka daya yang dihasilkan generator tidak seutuhnya disalurkan pada sistem interkoneksi, namun ada sebagian daya yang digunakan untuk keperluan dalam pembangkit itu sendiri. Selain untuk pemakaian sendiri, auxiliary transformer digunakan sebagai sumber daya apabila sistem pembangkit berhenti bekerja, sumber daya diambil dari PLN melalui auxiliary transformer.



Keterangan

- T1 = Transformator pada unit 1
- T2 = Transformator pada unit 2
- AT = Auxiliary Transformer
- LAVT= Lighting Arestor Voltage Transformer
- G₁ = Generator Unit 1
- G₂ = Generator Unit 2
- NGT = Neutral Grounding Transformer

Gambar 2. Single Line Diagram PLTM Silau 2

4. Perhitungan Setingan Rele Proteksi pada PLTM Silau 2

Pada bagian netral generator digunakan rele gangguan tanah terbatas (64) sebagai pengamanan dengan setingan :

$$PT = 6600/110 \text{ V}$$

$$NGR = 0,3850 \Omega$$

$$I_n = \frac{110}{0,3850} \\ = 285,7 \text{ A}$$

Setingan diambil paling rendah 0,5%

arus $I_0 > 0,5\%$ dari I_n ,

$$I_0 = 0,5\% \times 285,7 \text{ A} \\ = 1,42 \text{ A}$$

I_0 diseting 1,5 A dengan karakteristik rele gangguan tanah terbatas adalah instantaneuous.

Pada bagian LAVT (Lighting Arrester Voltage Transformer) rele yang digunakan adalah:

a. Rele Frekuensi Lebih/Kurang (81) dengan frekuensi sistem 50 Hz, dengan setingan: Batas frekuensi yang di izinkan sebesar 49,5 – 50,5 [5].

Maka setingan rele $f > 50,5\text{Hz}$ dan $f < 49,5$ Hz. Dengan karakteristik rele definite time.

b. Rele Daya Balik (32) mempunyai karakteristik definite time dengan setingan batas daya rele 0,5% dari daya generator . Rele reverse power (32) mempunyai 2 waktu tundaan, t_1 dan t_2 . $t_1 = 4\text{s}$ dan $t_2 = 5\text{s}$.

c. Rele Tegangan Lebih (59) mempunyai setingan :

Tegangan generator 6,6 kV

Batas Tegangan yang dizinkan sebesar +5% [5]

$$= 6,6 \text{ kV} \times \frac{5}{100} \\ = 0,33 \text{ kV}$$

Batas tegangan max sisi primer

$$= 6,6 \text{ kV} + 0,33 \text{ kV} \\ = 6,93 \text{ kV}$$

Ratio PT = 6600 / 110

Tegangan max sisi sekunder

$$= 6930 \times \frac{110}{6600} \text{ kV} \\ = 115,5 \text{ V}$$

Rating Tegangan Rele 110 V

Setingan rele

$$= \frac{115,5}{110} \\ = 1,05$$

Maka, setingan Rele yang digunakan sebesar 1,0. Tundaan waktu definite time diambil yang paling rendah sebesar 2 s.

d. Rele Tegangan Kurang(27) mempunyai setingan :

Tegangan generator 6,6 kV

Batas Tegangan yang dizinkan sebesar -10% [5]

$$= 6,6 \text{ kV} \times \frac{10}{100} \\ = 0,66 \text{ kV}$$

Batas tegangan max sisi primer

$$= 6,6 \text{ kV} - 0,66 \text{ kV} \\ = 5,94\text{kV}$$

Ratio PT = 6600 / 110

Tegangan max sisi sekunder

$$= 5940 \times \frac{110}{6600} \text{ kV} \\ = 99 \text{ V}$$

Rating Tegangan Rele 110 V

Setingan rele

$$= \frac{99}{110} \\ = 0,9$$

Maka, setingan Rele yang digunakan sebesar 0,9. Tundaan waktu definite time diambil yang paling rendah sebesar 2 s.

e. Rele Trip Circuit Supervision(94) digunakan untuk memonitor sirkuit kontrol yang penting seperti CB. Rele (94) menggunakan 110 V dengan waktu operasi 3s dan waktu reset 1s.

f. Rele differensial (87) mempunyai 3 setingan. Pertama, setingan s :

$$\text{Setingan } s = \begin{array}{l} 5\% \text{ (HV CT)} \\ 5\% \text{ (LV CT)} \\ 4\% \text{ (Rele)} \\ 5\% \text{ (Margin)} \end{array}$$

Nilai $s = 19\%$

Setingan p diambil 50% dari setingan s dengan 2% sebagai margin. Maka setingan p :

$$p = 0,5 \times 19\% + 2\% \\ p = 11,75\%$$

Maka setingan $s = 19\%$ dan $p = 11,75\%$. [7]

g. Rele Urutan Negatif (46) memiliki dua setingan arus. Pertama, setingan yang digunakan untuk membunyikan alarm :

$$I_{\text{beban generator}} = 422 \text{ A}$$

$$\text{Rating CT} = 500/1$$

Maka arus pada Rele Urutan Negatif

$$= 422 \times \frac{1}{500} \\ = 0,84 \text{ A}$$

Arus nominal rele (I_r) = 1A

$$\text{Maka } I_b = \frac{0,84}{1} \\ = 0,84 \text{ A}$$

Seting diambil pada rating paling kecil = 3%

$$\begin{aligned} I_{\text{alarm}} &= 3\% \times I_b \\ &= 3\% \times 0,84 \\ &= 0,025 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka} &= 0,84 + 0,025 \\ &= 0,865 \text{ A} \end{aligned}$$

Pada saat rele mendeteksi arus sebesar 0,865 A maka alarm urutan negatif akan aktif.

Kedua, setingan yang digunakan untuk mentriplan rele,

$$\text{Dengan } I_b = 0,84$$

Setingan diambil pada rating rele yang paling kecil = 4%

$$\begin{aligned} I_{\text{trip}} &= 4\% \times I_b \\ &= 4\% \times 0,84 \\ &= 0,0336 \end{aligned}$$

Maka rele akan trip jika mendeteksi arus trip (I_{trip}) sebesar $0,84 + 0,0336 = 0,8736 \text{ A}$. Waktu trip rele berdasarkan karakteristik inverse dengan rumus

$$t = K \times \left(\frac{I_b}{I_{\text{trip}}}\right)^2$$

K merupakan konstanta yang diambil dari nilai untuk generator dengan pendinginan langsung (pada PLTM Silau 2 sistem pendinginnya dengan air) sebesar = 5.

Maka waktu trip rele

$$\begin{aligned} t &= 5 \times \left(\frac{0,84}{0,8736}\right)^2 \\ &= 4,6 \text{ s} \end{aligned}$$

- h. Rele Arus Lebih dengan Tundaan Waktu Terbalik Tertentu (51) mempunyai waktu Inverse Time jenis Normal, dengan setingan :

Rele inverse diset sebesar $1,05 \times I_{\text{beban}}$.

$$I_{\text{beban generator}} = 422 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (pri)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1,05 \times 422 \text{ A} \\ &= 443,1 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sek)}} &= I_{\text{set (pri)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 443,1 \times \frac{1}{500} \\ &= 0,88 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka, arus karakteristik Inverse setelan sekunder (0,8 A) dan setingan k diambil yang terendah sebesar 0,05 s.

- i. Rele Hilang Eksitasi (40) mempunyai karakteristik Difinite Time. Setingan :

Nilai reaktansi untuk generator sinkron

$$X'd = 0,35$$

$$X_d = 1,2$$

$$\begin{aligned} X_{Ga} &= 0,5 \cdot x'd \\ &= 0,5 \cdot 0,35 \\ &= 0,175 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_a &= \frac{U_{GN} \cdot n_i}{I_{GN} \cdot n_u} \cdot X_{Ga} \\ &= \frac{6600 \cdot 500\sqrt{3} \cdot 100}{4 \cdot 22 \cdot 1 \cdot 20000\sqrt{3}} \cdot 0,175 \\ &= 6,84 \cong 7 \Omega \end{aligned}$$

$$X_{Gb} = 0,8 \cdot x_d$$

$$= 0,8 \cdot 1,2$$

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{U_{GN} \cdot n_i}{I_{GN} \cdot n_u} \cdot X_{Gb} \\ &= \frac{6600 \cdot 500\sqrt{3} \cdot 100}{4 \cdot 22 \cdot 1 \cdot 20000\sqrt{3}} \cdot 1,2 \\ &= 42,65 \cong 43 \Omega \end{aligned}$$

Maka, setingan $X_a = 29$, sedangkan setingan $X_b = 43$. Setingan waktu t x 1 waktu operasinya diambil yang terendah 1s.

- j. Rele Trip Rele Master (86) merupakan output dari rele-rele yang lain, yang apabila salah satu rele terjadi trip maka master trip rele yang kemudian akan mentriplan CB.

Pada transformator unit 1 dan unit 2 rele yang digunakan sebagai proteksi adalah sebagai berikut:

- a. Rele Fluks Lebih (99) mempunyai setingan:

Nilai max Fluks lebih sebesar 5% [15]

$$U_r = 110 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} U_r / f_r &= \frac{110 \text{ V}}{50 \text{ Hz}} \\ &= 2,2 \text{ V/Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_c &= 0,2 \cdot U_r \cdot 0,01 \text{ V/Hz} \\ &= 0,2 \cdot 110 \cdot 0,01 \\ &= 0,22 \text{ V/Hz} \end{aligned}$$

Standard yang diizinkan 5%, maka

$$\begin{aligned} &= 5\% \cdot 2,2 \text{ V/Hz} \\ &= 0,11 \text{ V/Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, nilai setelan rele} &= 2,2 \text{ V/Hz} + 0,11 \text{ V/Hz} \\ &= 2,31 \text{ V/Hz} \end{aligned}$$

Rele di seting pada setingan 2,4 V/Hz. Karakteristik Inverse Time dengan setingan k diambil yang terendah = 1.

- b. Rele gangguan tanah (51N) mempunyai nilai setingan:

$$\text{Arus nominal rele } (I_N) = 1 \text{ A}$$

$$\text{Ratio CT} = 175/1 \text{ A}$$

$$\text{Arus fasa R} = 235 \text{ A,}$$

$$\text{sisi sekunder} = 235 \times \frac{1}{175} = 1,34 \text{ A}$$

$$\text{Arus fasa S} = 237 \text{ A,}$$

$$\text{sisi sekunder} = 237 \times \frac{1}{175} = 1,35 \text{ A}$$

$$\text{Arus fasa T} = 241 \text{ A,}$$

$$\text{sisi sekunder} = 241 \times \frac{1}{175} = 1,37 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka arus netral sebesar} &= 1,34 < 0^0 + 1,35 < 120^0 + 1,37 < 240^0 \end{aligned}$$

- $= 0,037 \text{ A} \cong 0,04 \text{ A}$
 Setingan rele sebesar antara 4% dari $I_N = 0,04 \text{ A}$ dengan tundaan waktu definite time 2s.
- c. Rele tegangan kurang (27) mempunyai setingan:
 Tegangan sekunder Transformator 20 kV
 Batas Tegangan yang dizinkan sebesar -10% [5]
 $= 20 \text{ kV} \times \frac{10}{100}$
 $= 2 \text{ kV}$
 Batas tegangan max sisi primer
 $= 20 \text{ kV} - 2 \text{ kV}$
 $= 18 \text{ kV}$
 Ratio PT = 20000 / 110
 Tegangan max sisi sekunder
 $= 18000 \times \frac{110}{20000} \text{ kV}$
 $= 99 \text{ V}$
 Rating Tegangan Rele 110 V
 Setingan rele
 $= \frac{99}{110}$
 $= 0,9$
 Maka, setingan Rele yang digunakan sebesar 0,9. Tundaan waktu definite time diambil yang paling rendah sebesar 2 s.
- d. Rele Arus Lebih dengan Tundaan Waktu Terbalik tertentu (51) mempunyai waktu Inverse Time jenis Normal, dengan setingan :
 Rele inverse diset sebesar $1,05 \times I_{\text{beban}}$.
 $I_{\text{beban trafo}} = 241 \text{ A}$
 $I_{\text{set (pri)}} = 1,05 \times I_{\text{beban}}$
 $= 1,05 \times 241 \text{ A}$
 $= 253,05 \text{ A}$
 $I_{\text{set (sek)}} = I_{\text{set (pri)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$
 $= 253,05 \times \frac{1}{17,5}$
 $= 1,4 \text{ A}$
 Maka, arus karakteristik Inverse setelan sekunder (1,4 A) dan setingan k diambil yang terendah sebesar 0,05 s.
- e. Rele Trip Master (86) merupakan output dari rele-rele yang lain, yang apabila salah satu rele terjadi trip maka Master Trip Rele yang kemudian akan mentripping CB.
 Untuk memparalelkan generator unit 1 dan unit 2 diperlukan suatu proteksi apabila terjadi ketidakseimbangan antara keduanya yang akan menyebabkan berubahnya salah satu generator menjadi motor. Rele yang digunakan adalah rele cek sinkronisasi (25) yang mempunyai beberapa setingan. Setingan untuk perbedaan tegangan (2,2), setingan untuk

perbedaan sudut fasa (5°), setingan untuk perbedaan frekuensi (0,02Hz). Dengan Un merupakan Tegangan nominal rele (110V).

Outgoing line merupakan bagian dari sistem yang telah terinterkoneksi dengan jaringan PLN. Pada outgoing line juga memiliki beberapa rele proteksi sebagai pengaman agar gangguan tidak masuk kepada sistem pembangkit. Berikut beberapa rele yang digunakan pada outgoing line:

- a. Rele Frekuensi Lebih/Kurang (81) mempunyai frekuensi 50 Hz, dengan setingan:
 Batas frekuensi yang di izinkan sebesar 49,5 – 50,5 [5] . Maka setingan rele $f > 50,5 \text{ Hz}$ dan $f < 49,5 \text{ Hz}$. Dengan karakteristik rele definite time.
- b. Rele Arus Lebih Berarah (67) memiliki karakteristik instantaneous dengan setingan arus 1,5.
- c. Rele Gangguan Tanah Berarah (67N) memiliki setingan 2 setingan arus. Pertama setingan arus 1,5 , setelan waktu $t=1\text{s}$. Kedua, setingan arus 1,5 dan setelan waktu $t=1\text{s}$.
- d. Rele Trip Master (86) merupakan output dari rele-rele yang lain, yang apabila salah satu rele terjadi trip maka master trip rele yang kemudian akan mentripping CB.
 Gangguan yang terjadi pada sistem interkoneksi yang dideteksi rele outgoing akan mentripping VCB 20kV, 630 A, sehingga akan mengisolasi sistem pembangkit.

Auxiliary Transformer merupakan trafo yang digunakan untuk pemakaian sendiri. Selain energi listrik yang dijual (8,43 MW) ada juga energi listrik yang digunakan untuk mensuplai sistem kontrol, penerangan, dan peralatan-peralatan lainnya (0,17 MW). Meskipun masih dalam wilayah pembangkit, perlu dibuat proteksi untuk mengamankan sistem apabila terjadi gangguan. Rele yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Rele Arus Lebih dengan Tundaan Waktu Terbalik Tertentu (51) mempunyai waktu Inverse Time jenis Normal, dengan setingan :
 Rele inverse diset sebesar $1,05 \times I_{\text{beban}}$.
 $I_{\text{beban auxiliary trafo}} = 625 \text{ A}$
 $I_{\text{set (pri)}} = 1,05 \times I_{\text{beban}}$
 $= 1,05 \times 625 \text{ A}$
 $= 656,25 \text{ A}$
 $I_{\text{set (sek)}} = I_{\text{set (pri)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$
 $= 656,25 \times \frac{1}{350} = 1,8 \text{ A}$

Maka, arus karakteristik Inverse setelan sekunder (1,8 A) dan setingan k diambil yang terendah sebesar 0,05 s.

- b. Rele gangguan tanah (51N) mempunyai nilai setingan

Arus nominal rele (I_N) = 1 A

Ratio CT = 350/1 A

Arus netral sebesar 3,1 A

$$\begin{aligned} \text{Arus netral pada sisi sekunder} &= 3,1 \times \frac{1}{350} \\ &= 0,008 \text{ A} \end{aligned}$$

Setingan rele sebesar antara 1% dari I_N = 0,01 A dengan tundaan waktu definite time 2s.

Seperti halnya Generator Unit 1 dan Unit 2, DG juga harus dilengkapi proteksi untuk mengamankan gangguan. Pengaman yang digunakan adalah:

- a. Rele Arus Lebih dengan Tundaan Waktu Terbalik Tertentu (51) mempunyai waktu Inverse Time jenis Normal, dengan setingan :

Rele inverse diset sebesar $1,05 \times I_{\text{beban}}$.

I_{beban} generator diesel = 164 A

$$\begin{aligned} I_{\text{set (pri)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1,05 \times 164 \text{ A} \\ &= 172,2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{set (sek)}} &= I_{\text{set (pri)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \\ &= 172,2 \times \frac{1}{125} \\ &= 1,37 \text{ A} \end{aligned}$$

Maka, arus karakteristik Inverse setelan sekunder (1,4 A) dengan setingan k diambil yang terendah 0,05 s.

- b. Rele gangguan tanah (51N) mempunyai nilai setingan:

Arus nominal rele (I_N) = 1 A

Ratio CT = 125/1 A

Arus netral sebesar = 6,7 A

$$\begin{aligned} \text{Arus netral pada sisi sekunder} &= 6,7 \times \frac{1}{125} \\ &= 0,0536 \text{ A} \end{aligned}$$

Setingan rele sebesar antara 6% dari I_N = 0,06 A dengan tundaan waktu definite time 2s.

4. Kesimpulan

Dari hasil studi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan pembagian kapasitas PLTA menurut Patty dalam bukunya tenaga air [1], seharusnya nama PLTM Silau 2 dengan kapasitas 2 x 4,5 MW di ubah dengan PLTA kecil Silau 2.
2. Rele proteksi yang digunakan dalam sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah: Rele Arus

Lebih, Rele Gangguan Tanah, Rele Gangguan Tanah Terbatas, Rele Tegangan Kurang, Rele Tegangan Lebih, Rele Frekuensi Lebih/ Kurang, Rele Fluks Lebih, Rele Urutan Negatif, Rele Daya Balik, Rele Differensial, Rele Cek Sinkronisasi, Rele Hilang Eksitasi, Rele Trip Circuit Supervision dan Rele Master Trip.

3. Rele arus lebih memiliki setingan 0,8, rele gangguan tanah 0,04, rele frekuensi lebih/kurang sebesar $f > 50,5\text{Hz}$ dan $f < 49,5$ dan rele tegangan lebih/kurang sebesar 1,0 dan 0,9.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Zia selaku HRD PT. BIE atas bantuan fasilitas yang diberikan dalam pengambilan data, Ir. Zulkarnaen Pane, Ir. Eddy Warman, Ir. Surya Tarmizi Kasim, M.Si dan Julianta Siregar, ST MT atas masukan yang diberikan dalam penyempurnaan paper ini.

7. Daftar Pustaka

- [1]. Pattty, O.F Ir. *Tenaga Air*. Surabaya : Erlangga, 1995.
- [2]. <http://dinaspertambanganokus.wordpress.com/2012/06/19/pembangkit-listrik-mini-hidro-pltm-selabung-akan-menjadi-jawaban-untuk-krisis-listrik-di-4-kecamatan-sekitar-danau-ranau/>
- [3]. C.Dragu, T. Sels, R. Belmans. *Small Hydro Power State of The Art and Applications*.
- [4]. Jyoti Ltd, *Final Drawing Single Line Diagram PLTM Silau 2*.
- [5]. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral*, <http://portal.djmbp.esdm.go.id/sijh/permen%2004%202009.pdf>.