



EVALUASI KOORDINASI SETELAN RELAI ARUS LEBIH PADA SISTEM DISTRIBUSI KELISTRIKAN 20 KV

Oleh

M Munawir Lasiyono¹⁾, Zulkifli²⁾

¹Magister Teknik Industri, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia,

Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman, Yogyakarta, Indonesia, 55584,

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta

Email:¹mmunawirlasiyono@students.uii.ac.id, ²zul.zulkifli@rocketmail.com

Abstrak

Telah dilakukan evaluasi terhadap koordinasi setelan relai arus lebih (OCR) pada sistem distribusi kelistrikan 20 kV PLN Ende di NTT, khususnya pada penyulang Arubara. Setting arus dan waktu kerja relai arus lebih berdasarkan perhitungan di Sisi Penyulang, dengan menetapkan time grading 0.3 s, dan waktu kerja relai arus lebih adalah 0.3 s yaitu untuk arus gangguan hubung singkat didepan relai. Waktu kerja relai arus lebih disebelah hulunya harus ditambah dengan grading time untuk arus gangguan dititik koordinasi. Sisi Incoming Trafo dengan time grading selanjutnya akan menekan waktu kerja relai arus lebih di trafo unit. Demikian pula disisi Generator koordinasi waktu kerja relai arus lebih dihitung berdasarkan grading time. Setelan relai arus lebih Generator tidak memenuhi kaidah koordinasi relai arus lebih dengan baik terutama pada relai generator Wahana1 (Mitsubishi3, Cummins3, dan Cummins5), nilai setelan waktunya masuk kategori setelan instant yaitu 0.04 s yang menggagalkan koordinasi relai arus lebih yang semestinya, yaitu 1.16 s.

Kata Kunci: Relai Arus Lebih, Time Grading, Koordinasi Waktu Kerja

PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil penelusuran sistem kelistrikan 20 kV PLN Ende, NTT dipasok dari 20 unit sumber Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Pembangkit yang dioperasikan sebanyak 11 unit dan 9 unit lainnya sebagai cadangan. Penyulang 20 kV berjumlah 6 penyulang. Generator yang beroperasi adalah generator milik Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan ada juga yang disewa dari perusahaan swasta.

Proses penyaluran daya listrik yang diterapkan oleh PLN Ende untuk melayani konsumen adalah dengan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM 20 kV) yang digelar di alam terbuka. Pada kondisi ini kemungkinan gangguan hubung singkat sangatlah besar, diantaranya bisa karena sentuhan dahan/ ranting pohon, binatang dan petir.

Gangguan hubung singkat baik gangguan tiga fasa, dua fasa, dua fasa ketanah ataupun gangguan satu fasa ketanah yang kemungkinannya bisa terjadi di masing-masing penyulang. Pada setiap kali gangguan selalu menyebabkan seluruh sistem menjadi padam total atau *blackout*. Kondisi inilah yang dipelajari dan dievaluasi untuk menelusuri penyebabnya.

Proses evaluasi hasil perhitungan menggunakan software Etap yang masih harus di export ke Microsoft Excel untuk melihat event (waktu dan besaran parameter arus, tegangan, dan frekuensi. Hasil evaluasi pada kondisi eksisting yang menyebabkan padam total, dikoreksi dengan menghitung ulang setelan koordinasi proteksi OCR (Over Current Relay) Distribusi dan Pembangkit.

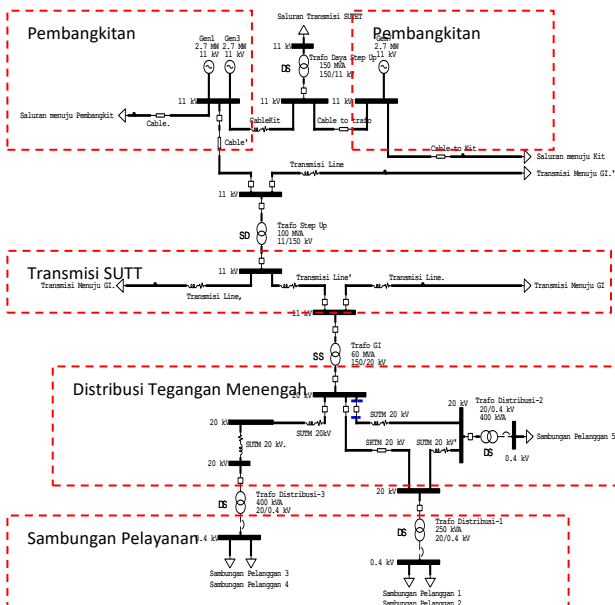


Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana memperbaiki koordinasi setelan relai arus lebih pada sistem proteksi distribusi dan pembangkit agar tidak terjadi pemadaman pada setiap gangguan di jaringan distribusi kota Ende, NTT.

LANDASAN TEORI

Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas sistem pembangkit, sistem transmisi dan gardu induk, sistem distribusi, sistem sambungan pelayanan.



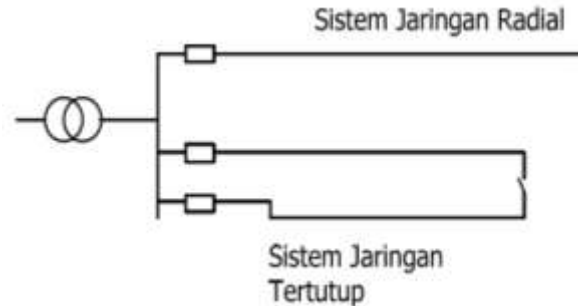
Gambar 1. Pola Sistem Tenaga Listrik

Pada gambar 1 di atas, terlihat pola sistem tenaga listrik berdasarkan tegangan terdiri dari pembangkit, transmisi atau gardu induk, sistem distribusi dan sambungan pelayanan. Pada sistem pembangkitan tenaga listrik tegangan yang dikeluarkan oleh generator yaitu 11 kV dinaikkan tegangannya melalui trafo step-up, menjadi tegangan tinggi 150 kV atau 500 kV, kemudian disalurkan melalui saluran udara tegangan tinggi/ transmisi 150 kV menuju Gardu Induk (150/20 kV) untuk diturunkan tegangannya menjadi 20 kV. [3] [1]

Selanjutnya sistem distribusi terbagi menjadi dua yaitu distribusi tegangan menengah 20 kV dan tegangan rendah 0.4/0.22 kV.

Konfigurasi Sistem Distribusi

Konfigurasi suatu jaringan distribusi tenaga listrik hanya mempunyai dua konsep konfigurasi Jaringan, yaitu : jaringan radial dan jaringan tertutup. Seperti terlihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. Pola Jaringan Distribusi Radial dan Spindle

Komponen Utama Distribusi Tenaga Listrik

Dalam melakukan distribusi tenaga listrik diperlukan beberapa komponen utama yang mendukung distribusi tenaga listrik, yaitu:

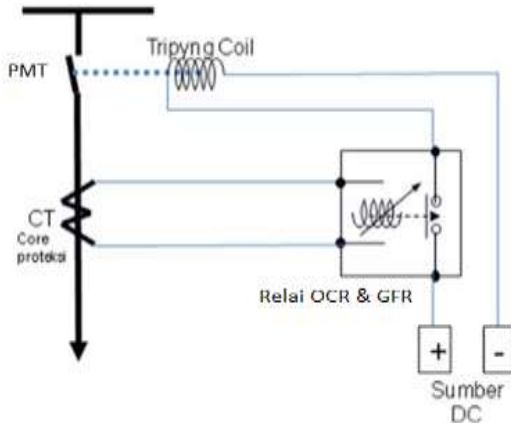
1. Gardu Induk (GI)
2. Gardu Hubung (GH)
3. Gardu Distribusi (GD)
4. Jaringan Distribusi Primer (JDTM)
5. Jaringan Distribusi Sekunder (JDTR)

Relai Arus Lebih (OCR)

Relai Arus Lebih (OCR) adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu.

Prinsip Kerja Relai Arus Lebih

Prinsip kerja Relai Arus Lebih (OCR) yang bekerjanya berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah *trip* ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari.



Gambar 3. Prinsip Kerja Relai Arus Lebih

Dari Gambar 3, terlihat piranti proteksi adalah sebagai berikut :

1. Transformator arus (CT)
2. Pemutus Beban (PMT/ CB)
3. Relai
4. Baterai
5. Tripping Coil (TC)

**Koordinasi Relai Arus Lebih
Perhitungan Arus Hubung Singkat**

Dalam menentukan rating pengaman atau setelan relai pengaman pada sistem tenaga listrik dimulai dengan perhitungan arus hubung singkat. Karena gangguan bersifat simetris, kondisi apapun yang berlaku untuk satu fasa berlaku untuk fasa lainnya. Dengan cara persamaan jaringan melalui impedansi jaringan. Adapun langkah yang digunakan untuk menghitung arus hubung singkat tiga fasa, Akan tetapi sebelumnya dilakukan Perhitungan Impedansi Dasar dan Arus Dasar: [9]

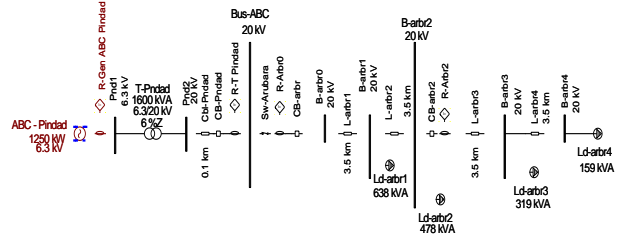
$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2}{MVA_{base}} \quad (3.1)$$

$$Z_{base} = \frac{20^2}{10} = 40\Omega$$

$$I_b \ 20kV = \frac{MVA_{base} \times 1000}{kV_{base} \times \sqrt{3}} \quad (3.2)$$

$$I_b \ 20kV = \frac{10 \times 1000}{20 \times \sqrt{3}} = 288.7A$$

1. Langkah 1, menggambar diagram satu garis jaringan lengkap yang menunjukkan semua elemen (komponen), tegangan, resistansi, dan reaktansi. [9]



Gambar 3.1. Single Line Diagram Kelistrikan Penyulang Aruraba

2. Langkah 2, memilih kVA dasar atau MVA dasar, lalu konversikan semua reaktansi dari unsur-unsur dalam persatuan per unit pada kVA dasar umum. [9]

- Reaktansi Generator, $X_d = 0.23\Omega$ (p.u)

$$X_{d'(pu)} = \frac{MVA_{base}}{MVA_{gen}} \times x_d \quad (3.3)$$

$$X_{d'(pu)} = \frac{10}{1.563} \times 0.23 = 1.47 pu$$

- Reaktansi Trafo (dalam p.u)

$$X_{t(pu)} = \frac{MVA_{base}}{MVA_{Trafo}} \times x_{trafo} \quad (3.4)$$

$$X_{d'(pu)} = \frac{10}{1.6} \times 0.06 = 0.375 pu$$

- Reaktansi Kabel 0.1 km (dalam p.u)

$$R_{(pu)} = \frac{l \times R}{Z_{base}} \quad (3.5)$$

$$R_{(pu)} = \frac{0.1 \times 0.248}{40} = 0.00062 pu$$

$$jX_{(pu)} = \frac{l \times jX}{Z_{base}}$$

$$jX_{(pu)} = \frac{0.1 \times 0.127}{40} = 0.00032 pu$$

3. Langkah 3, sesuai dengan diagram satu garis jaringan, menarik diagram garis



reaktansi atau impedansi lalu menghitung berdasarkan perhitungan pada langkah 2.

4. Langkah 4, setelah mendapat diagram garis reaktansi, lalu menghitung total reaktansi (impedansi ekuivalen) sampai ke titik gangguan. Pada langkah ini mungkin melibatkan kombinasi rangkaian hubungan reaktansi seri – paralel dan hubungan segi-tiga – bintang atau bintang – segitiga.

- Reaktansi Ekuivalen (dalam p.u)

$$Z_{(total)} = X_{d(pu)} + X_{t(pu)} + X_{kabel(pu)} \quad (3.6)$$

$$Z_t = 1.42 + 0.375 + 0.00698 = 1.854 pu$$

5. Langkah 5, kemudian gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus :

$$I_f = \frac{E}{Z_{pu}} \quad (3.7)$$

$$I_f = \frac{1 \angle 0^\circ}{1.854} = 0.539 pu$$

$$I_f = I_{dasar} \times I_{pu}$$

$$I_f = 288.7 \times 0.539 = 155.6 A$$

dengan,

E = Tegangan fasa-netral dalam p.u

$Z_{p.u}$ = Impedansi total dari sumber hingga titik gangguan dalam p.u.

I_f = Arus gangguan dalam p.u.\

Trafo Arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$I_{set} \text{ (sek)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{I}{\text{Ratio CT}} \quad (3.9)$$

b. Setelan Waktu dan tms

Setelan waktu relai Standard Inverse dihitung dengan menggunakan kurva waktu vs arus. Rumus ini bermacam-macam sesuai desain pabrik pembuat relai, dalam hal ini rumus kurva waktu vs arus dari persamaan IEC602555, adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{0.14 \times tms}{\left\{ \left[\frac{I_f}{I_{set}} \right]^{0.02} - 1 \right\}} \quad (3.10)$$

Karena tms yang akan disetkan pada relai dipilih, misal angka arus gangguan (I_{fault}) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan 25% panjang penyulang, dan waktu kerja Relai Arus Lebih di penyulang itu (sesuai keterangan waktu tercepat diatas) dipilih selama 0,3 s, maka nilai tms yang akan disetkan pada Relai Arus Lebih adalah :

$$tms = \frac{t \times \left\{ \left[\frac{I_f}{I_{set}} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0.14} \quad (3.11)$$

Perhitungan Koordinasi Relai Arus Lebih

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, dipergunakan untuk menentukan setelan nilai arus lebih terutama nilai setelan arus, setelan tms (*Time Multiple Setting*) dan setelan waktu kerja relai pada saat terjadi gangguan hubung singkat.

Nilai setelan Arus, tms dan Waktu Kerja Relai Arus Lebih

a. Setelan Arus

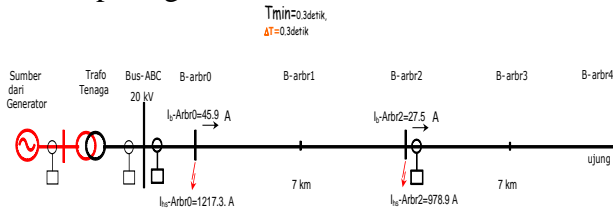
$$I_{set} \text{ (pri)} = 1,1 \times I_{beban} \quad (3.8)$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada Relai Arus Lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan Ratio



HASIL DAN PEMBAHASAN Diagram Satu Garis Penyulang Arubara

Perhitungan arus hubung singkat dimulai dengan sumber generator adalah Pindad 6.3 kV dan Penyulang adalah Arubara 20 kV, dapat terlihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 4.1. Sistem jaringan distribusi pada penyulang Arubara

Data Perhitungan

Perhitungan hubung singkat dilakukan dengan menggunakan Microsoft excel. Hubung singkat yang ditampilkan berupa hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa. Nilai tersebut berdasarkan letak posisi relai pengaman pada sistem distribusi kelistrikan PLN 20 kV di Ende NTT. Berikut hasil kontribusi arus hubung singkat pada saat terjadi gangguan hubung singkat di penyulang arubara B-arbr4 (sisi hilir) :

Tabel 1. Hasil perhitungan arus gangguan di Penyulang Arubara

% Panjang Panjang Saluran = 14 km	Lokasi Gangguan	Penyulang ARUBARA		
		I _{HS} 3Fasa (A)	I _{HS} 2Fasa (A)	I _{HS} 1Fasa (A)
0%	B-arbr0	1217.3	1054.2	1303.6
25%	B-arbr1	1089	943.1	1006
50%	B-arbr2	978.9	847.8	812.2
75%	B-arbr3	887.6	768.7	680.8
100%	B-arbr4	813.8	704.8	589.2

Catatan : Karena yang dihitung pada Penyulang Arubara maka angka arus hubung singkat tiga fasa yang ditebalkan pada tabel diataslah yang digunakan.

Dari hasil perhitungan hubung singkat di penyulang Arubara terdiri dari panjang saluran 14 km (100%), lalu dibagi menjadi 25% panjang saluran di tiap titik lokasi gangguan. Kemudian dari hasil perhitungan didapat nilai kontribusi arus hubung singkat di trafo pindad dan generator pindad.

Tabel 2. Hasil perhitungan kontribusi arus gangguan di Trafo dan generator

Panjang Saluran = 14 km	Lokasi Gangguan	Generator PINDAD			T-PINDAD		
		I _{HS} 3Fasa (A)	I _{HS} 2Fasa (A)	I _{HS} 1Fasa (A)	I _{HS} 3Fasa (A)	I _{HS} 2Fasa (A)	I _{HS} 1Fasa (A)
0%	B-arbr0	493.2	246.6	165.2	155.6	134.5	166.5
25%	B-arbr1	441.2	220.6	142.8	139	120.4	143.9
50%	B-arbr2	396.6	198.3	125	124.9	108.2	126
75%	B-arbr3	359.6	179.8	111.2	113.3	98.1	112
100%	B-arbr4	329.7	164.9	100.4	103.9	89.9	101.2

Perhitungan Tabel 4.2, berdasarkan perhitungan kontribusi arus hubung singkat di trafo pindad dan generator pindad ketika gangguan hubung singkat pada penyulang arubara dari panjang saluran 0% hingga 100% di ujung saluran. Dari hasil nilai kontribusi arus hubung singkat diatas, maka selanjutnya dihitung setelan arus, setelan tms dan waktu kerja relai pada penyulang Arubara 20 kV.

Perhitungan Koordinasi Relai Arus Lebih

- Pada sistem jaringan Gambar 4.1 ini terdapat seksi pengaman di saluran dan di sumber generator (PLTD). Koordinasi OCR dilakukan mulai dari sisi hilir ke sisi hulu dengan panjang saluran 14 km, diantaranya:
 - Seksi 1, dalam hal ini dari titik B-arbr2 sampai ujung saluran (B-arbr4) = 7 km
 - Seksi 2, dalam hal ini dari titik B-arbr0 sampai titik B-arbr2 = 7 km
 - Koordinasi OCR di Trafo Pindad
 - Koordinasi OCR di Generator Pindad (PLTD)

Karena penyulang Arubara dipasok dari beberapa sumber generator (PLTD), maka perhitungan koordinasinya didasarkan pada besar kontribusi arus gangguan pada Penyulang Arubara.

- Lalu pada masing-masing titik atau seksi dapat dibaca besar arus beban (I_b) yang mengalir, Data Arus Beban (I_b) dan perhitungan Setelan Arus Primer ($I_{set\ primer}$, diantaranya:
 - Dari titik B-arbr2 ke ujung saluran (B-arbr4) = $I_{beban\ Arbr2} = 27.5\ A \times 1.1 = 30.25\ A$ sehingga CT ratio yang digunakan 50 : 5 A
 - Dari titik B-arbr2 ke titik B-arbr0 = $I_{beban\ Arbr0} = 1.1 \times 45.9 = 50.49\ A$



sehingga CT ratio yang digunakan 100 : 5 A

3. Dengan catatan perhitungan arus hubung singkat telah selesai dilakukan dan hasilnya dipakai untuk perhitungan koordinasi waktu relai di sepanjang jaringan.

Misalkan hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa seperti ditampilkan pada Gambar 4.1 atau Tabel IV.1 dan Tabel 4.2 diatas. Untuk besar arus gangguan pada masing-masing seksi pengaman, diantaranya:

a. Besar arus gangguan, tepat didepan pengaman titik B-arbr2 sampai ujung saluran (B-arbr4),
 $I_{HS3\phi}$ dititik B-arbr2 = 978.9 A

b. Besar arus gangguan tepat berada didepan pengaman titik B-arbr0 sampai titik B-arbr2,
 $I_{HS3\phi}$ dititik B-arbr0 = 1217.3 A

Dapat dipahami besar arus gangguan yang mengalir, semakin dekat ke sumber maka arus gangguan semakin besar.

4. Dengan ketentuan waktu kerja minimum (t_{min}) = 0.3 s, maka waktu kerja relai arus lebih disisi paling hilir diambil 0.3 s. Alasan waktu kerja OCR paling cepat yang dipilih 0.3 s adalah agar tidak membuat tripping setiap adanya inrush trafo distribusi di feeder, yang berlangsung ± 0.2 s.

5. Dengan menetapkan Time Grading ($\Delta t=0.3s$) dianggap cukup memberikan selektifitas kerja Relai arus lebih antara relai sisi hilir dan satu tingkat disisi hulunya. Arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk perhitungan setting koordinasi ini adalah arus gangguan di titik koordinasi. Karena setelan waktu antara dua Relai Arus Lebih yang dikoordinasikan harus menggunakan nilai arus gangguan hubung singkat di titik ini, maka titik inilah yang dimaksud dengan "titik koordinasi".

6. Karakteristik Relai yang digunakan adalah jenis Standard Inverse, dengan menggunakan rumus pada persamaan 3.8

Selanjutnya melakukan perhitungan Setelan Relai Arus Lebih :

1. Perhitungan Setelan Arus dan tms Relai OCR di Penyulang

a. Perhitungan Relai Arus Lebih (Arus Hubung Singkat 3 fasa) sisi Hilir yaitu dari Titik B-arbr2 sampai ujung saluran :

B-arbr2 = 0.3 s untuk $I_{F3\phi} = 978.9$ A

$I_{B-arbr2 \text{ primer}} = 1.1 \times 27.5A = 30.25$ A
 Menghitung Setelan Waktu (tms)

$$tms = \frac{t \times \left\{ \left[\frac{I_f}{I_{set}} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0,14}$$

$$tms = \frac{0.3 \times \left\{ \left[\frac{978.9}{30.25} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0,14}$$

$$tms = 0.154$$

b. Perhitungan tms pada Relai dari Titik B-arbr0 sampai B-arbr2 :

B-arbr0 = (0.3 + 0.3) s

B-arbr0 = 0.6 s untuk $I_F = 978.9$ A di B-arbr2

$I_{B-arbr0 \text{ primer}} = 1.1 \times 45.9$ A = 50.49 A

Menghitung Setelan Waktu (tms) dengan rumus persamaan (3.9)

$$tms = \frac{0.6 \times \left\{ \left[\frac{978.9}{50.49} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0,14}$$

$$tms = 0.26$$

$$t_{B-arbr0 \text{ min}} = \frac{0.14 \times 0.26}{\left\{ \left[\frac{1217.3}{50.49} \right]^{0.02} - 1 \right\}} = 0.56 \text{ s}$$



$t_{B-arbr0 \min}$ = Waktu Kerja OCR untuk gangguan relai B-arbr0 dengan arus 1217.3 A.

2. Perhitungan Setelan Arus dan tms Relai OCR di Trafo

Perhitungan setelan Relai di Incoming trafo berdasarkan bentuk konfigurasi jaringan, dimana sumber dari beberapa PLTD, maka untuk menghitungnya berdasarkan kontribusi arus hubung singkat dari Trafo.

- Perhitungan Relai dari Trafo Pindad
T-pindad = $(0.3 + 0.56)$ s
T-pindad = 0.86 s, kontribusi arus Hubung Singkat Trafo pindad = **155.6 A**
 $I_{\text{set T-pindad primer}} = 1.1 \times 46.19$ A (I nominal Trafo)=50.81 A

Menghitung Setelan Waktu tms dengan rumus persamaan (3.14) :

$$t_{ms} = \frac{0.85 \times \left\{ \left[\frac{155.6}{50.81} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$t_{ms} = 0.137$$

3. Perhitungan Setelan Arus dan tms Relai OCR di Generator

Perhitungan setelan Relai di Incoming trafo berdasarkan bentuk konfigurasi jaringan, dimana sumber dari beberapa PLTD, maka untuk menghitungnya berdasarkan kontribusi arus hubung singkat dari Generator. Untuk melihat nilai kontribusi terlihat pada tabel kontribusi Arus Hubung Singkat dari Generator.

- Perhitungan Relai dari Generator Pindad
G-pindad = $(0.3 + 0.86)$ detik
G-pindad = 1.16 s, kontribusi arus Hubung Singkat dari Generator = 493.2 A
 $I_{\text{set G-pindad primer}} = 1.1 \times 143.1$ A (I nominal Generator) = 157.41 A
Menghitung Setelan Waktu tms

$$t_{ms} = \frac{1.15 \times \left\{ \left[\frac{493.2}{157.1} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$t_{ms} = 0.19$$

Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Arus Lebih

1. Perhitungan Waktu Kerja Relai di Penyulang

- Perhitungan dari Relai sisi Hilir yaitu dari Titik B-arbr2 sampai ujung saluran :

$$I_{F3\phi \text{ ujung}} = 978.9 \text{ A}$$

$$I_{S_{B-arbr2-ujung \text{ saluran primer}}} = 1.1 \times 27.5 \text{ A} = 30.25 \text{ A}$$

$$T_{ms} = 0.154$$

Menghitung Setelan Waktu Kerja Relai, menggunakan persamaan (3.8) :

$$t_{B-arbr2 \min} = \frac{0.14 \times 0.154}{\left\{ \left[\frac{978.9}{30.25} \right]^{0.02} - 1 \right\}} = 0.30 \text{ s}$$

- Perhitungan dari Relai sisi Titik Penyulang B-arbr0-B-arbr2 :

$$I_{F3\phi \text{ ujung}} = 1217.3 \text{ A}$$

$$I_{S_{B-arbr0 \text{ primer}}} = 1.1 \times 45.9 \text{ A} = 50.49 \text{ A}$$

$$t_{ms} = 0.26$$

Menghitung Setelan Waktu Kerja Relai, menggunakan persamaan (3.8) :

$$t_{B-arbr0 \min} = \frac{0.14 \times 0.26}{\left\{ \left[\frac{1217.3}{50.49} \right]^{0.02} - 1 \right\}} = 0.56 \text{ s}$$

2. Perhitungan Waktu kerja Relai sisi Transformator :

Trafo Pindad

- $I_{F3\phi} = 155.6 \text{ A}$

$$I_{S_{\text{Trafo Pindad}}} = 1.1 \times 46.19 \text{ A} = 50.81 \text{ A}$$

$$t_{ms} = 0.14$$

Menghitung Setelan Waktu Kerja Relai menggunakan persamaan (3.8)

$$t_{\text{trafoPindad} \min} = \frac{0.14 \times 0.14}{\left\{ \left[\frac{155.6}{50.81} \right]^{0.02} - 1 \right\}} = 0.86 \text{ s}$$

3. Perhitungan Waktu kerja Relai sisi Generator :



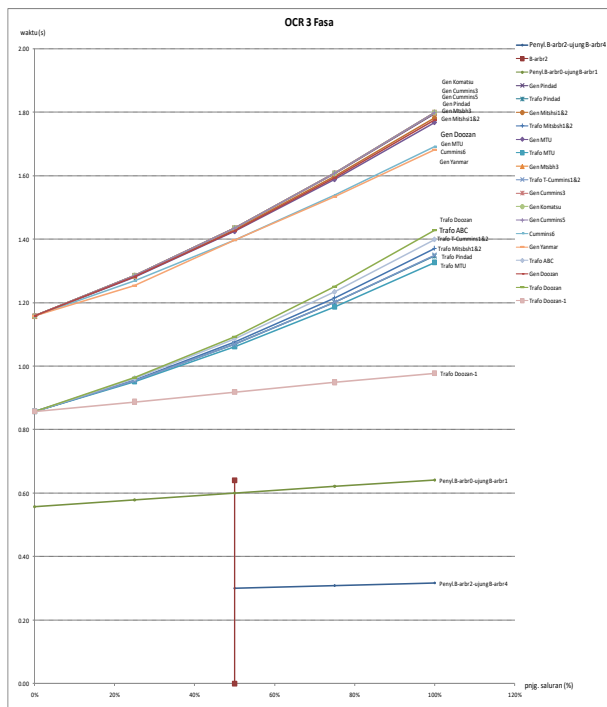
- Generator Pindad
 - $I_{F3\Phi} = 493.2 \text{ A}$
 - $I_{S\text{Generator Pindad}} = 1.1 \times 143.1 \text{ A} = 157.41 \text{ A}$
 - $t_{ms} = 0.19$

Menghitung Setelan Waktu Kerja Relai dengan persamaan (3.8)

$$t_{G\text{-pindad min}} = \frac{0.14 \times 0.19}{\left\{ \left[\frac{493.2}{157.41} \right]^{0.02} - 1 \right\}} = 1.16 \text{ s}$$

7. Kurva Koordinasi relai OCR arus gangguan 3 fasa di penyulang, trafo dan generator

Hasil perhitungan diatas digambarkan dalam kurva koordinasi relai arus lebih antara penyulang disisi hilir, hulu, trafo dan generator.



Gambar 2. Kurva koordinasi relai arus lebih antara penyulang, trafo dan generator setelan baru

Dari Gambar 2 diatas dapat dilihat waktu kerja relai terhadap persen panjang saluran jika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Jika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa di Penyulang Arubara (B-arbr4) ujung saluran,

maka koordinasi proteksi Relai Arus Lebih adalah disisi titik B-arbr2. Jika ternyata proteksinya tidak bekerja maka yang back up relai disisi B-arbr0, dan jika selanjutnya proteksi pada trafo hingga pada generator.

Analisis Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk Koordinasi setelan arus dan waktu kerja relai arus lebih pada penyulang Arubara. Maka perbandingan antara setelan baru dan setelan lama pada Tabel 4.3 atau Gambar 4.3 dibawah ini.

Dari Tabel 4.3, perbedaan antara setelan baru dan setelan lama dapat dibaca. Waktu kerja relai setelan baru 0.6 s dipenyulang relai B-arbr0 sampai relai B-arbr2 dan setelan waktu lama 0.3 s, sehingga relai akan cepat bekerja daripada relai di sisi hilir (B-arbr2). Dari hasil ini terlihat bahwa, waktu kerja setelan lama tidak terkoordinasi dengan baik.

Tabel 3. Setelan waktu kerja baru dan lama di Penyulang B-arbr0-ujung B-arbr2

Relai	Relai O.C Inv. di Penyl. B-arbr0-ujung B-arbr2						
	Ib (A)	CT ratio	I set Primer (A)	tms Baru	tms Lama	t koord Baru (s)	t koord Lama (s)
O.C	45.9	100	50.49	0.26	0.1	0.60	0.3
		5				0.56	0.3

Tabel 4. Setelan waktu kerja baru dan lama di Penyulang B-arbr2-ujung B-arbr4

Relai	Relai O.C Inv. di B-arbr2-ujung B-arbr4						
	Ib (A)	CT ratio	I set Primer (A)	tms Baru	tms Lama	t koord Baru (s)	t koord Lama (s)
O.C	27.5	50	30.25	0.154	0.1	0.3	0.15
		5				0.3	0.15

Dari Tabel 4. terlihat perbedaan antara setelan baru dan setelan lama pada relai di penyulang B-arbr2-B-arbr4, waktu kerja relai setelan baru 0.3 s dipenyulang relai B-arbr2 sampai relai B-arbr4 dan setelan lama 0.15 s, sehingga relai akan bekerja mentripkan relai di incoming trafo karena hasil setelan 0.15 masih dibawah setelan aman



untuk inrush trafo. Dari hasil ini maka waktu setelan lama tidak terkoordinasi dengan baik.

Tabel 5. Setelan waktu kerja baru dan lama di Trafo

Nama Trafo	Relai	Relai O.C Inv. di Trafo Incoming						
		IN (A)	CT ratio	I set Primer (A)	Kontribusi I fault 3Φ (A)	tms (s)	t koord Baru (s)	t koord Lama (s)
T-Pindad	O.C	46.19	100/5	50.81	155.4	0.137	0.86	1.5

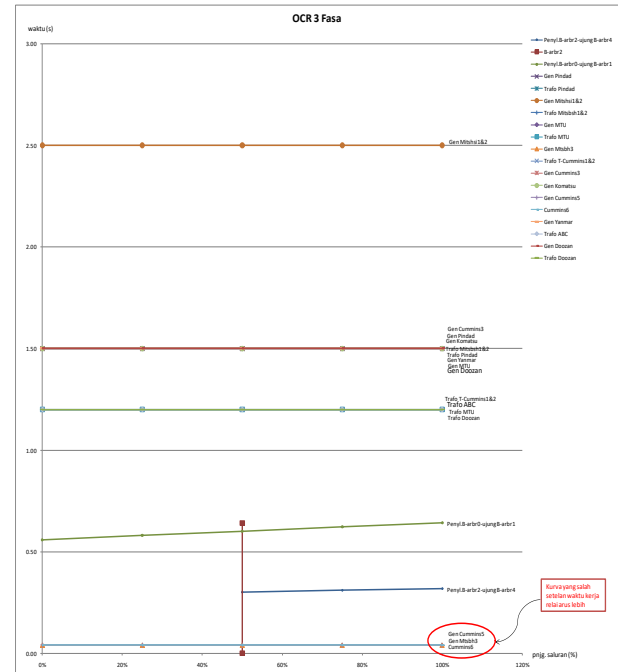
Dari Tabel 4.5, terlihat perbedaan antara setelan baru dan setelan lama pada relai trafo pindad, waktu kerja relai setelan baru 0.86 s dan setelan lama 1.5 s, yang menyebabkan relai di trafo waktu kerjanya akan lama dari pada relai di generator. Sehingga koordinasi waktu kerja tidak benar yang dapat menyebabkan bekerjanya relai di generator.

Tabel 4.6. Setelan waktu kerja baru dan lama di Generator

Nama Generator	Relay	Relay O.C Inv. di Generator						
		IN (A)	CT ratio	I set Primer (A)	Kontribusi I fault 2Φ (A)	tms Baru	t koord baru (s)	t koord lama (s)
Pindad	O.C	143.1	200/5	157.41	493.2	0.19	1.16	1.5
Wahana2 (Mitsubishi 1 & 2)	O.C	2742	4000/5	3016.2	9600.9	0.19	1.16	2.5
Yanmar	O.C	30.98	50/5	34.08	127	0.22	1.16	1.5
Doozan	O.C	779.8	1000/5	857.78	2751.4	0.20	1.16	1.5
MTU	O.C	1407	2000/5	1547.7	5013.5	0.20	1.16	1.5
Wahana1 (Mitsubishi 3)	O.C	2742	4000/5	3016.2	9408	0.19	1.16	0.04
Wahana1 (Cummins 3)	O.C	902.1	1000/5	992.31	3094.7	0.19	1.16	0.04
Wahana1 (Komatsu)	O.C	902.1	1000/5	992.31	3094.7	0.19	1.16	1.5
Wahana1 (Cummins 5)	O.C	1443	2000/5	1587.3	4951.6	0.19	1.16	0.04
Wahana1 (Cummins 6)	O.C	902.1	1000/5	992.31	3588.9	0.22	1.16	1.5

Berdasarkan hasil nilai perbedaan setelan waktu kerja relai di generator, didapat perbedaan setelan, setelan baru yaitu pada relai generator Wahana 1 (Mitsubishi3, Cummins3 dan Cummins 5) adalah 1.16 s dan setelan lama 0.04 s, sehingga yang menyebabkan sistem padam total ketika gangguan hubung singkat tiga fasa di penyulang arubara adalah setelan 0.04 s, sehingga nilai setelan inilah yang trip instant terlebih dahulu dibandingkan dengan setelan pada penyulang dan trafo.

Dari hasil nilai setelan baru waktu kerja relai digenerator akan lebih terkoordinasi dengan baik karena di setel berdasarkan koordinasi mulai dari sisi penyulang, trafo dan generator. Perbedaan hasil waktu kerja setelan lama dan setelan baru pada tabel 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 maka akan diperlihatkan kurva koordinasi waktu kerja relai yang tidak benar pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 1. Kurva koordinasi relai arus lebih antara penyulang, trafo dan generator setelan baru

Pada gambar 4.3 diatas, kurva pada generator Cummins5, Cummins6 dan Mitsubishi3 tidak terkordinasi dengan baik sehingga waktu kerja relai bekerja lebih cepat dari pada waktu kerja relai disisi hilir.

PENUTUP Kesimpulan

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan antara lain :

1. Koordinasi setelan arus dan waktu relai arus lebih berdasarkan perhitungan gangguan pada distribusi hingga pembangkit adalah:
 - a. Sisi Penyulang - menetapkan time grading 0.3 s, pada perhitungan setelan tms pada penyulang B-arbr2



-
- sampai ujung saluran adalah 0.3 s dengan arus gangguan hubung singkat didepan relai sebesar 987.9 A, dengan nilai tms sebesar 1.54.
- b. Setelan B-arbr0 sampai B-arbr2 adalah 0.6 s untuk gangguan 987.9 A dan dihitung dengan nilai tms sebesar 0.26. Waktu Kerja OCR untuk gangguan Relai B-arbr0 dengan arus 1217.3 A adalah 0.56 second.
 - c. Sisi Incoming Trafo, Time grading waktu selanjutnya yang dipakai untuk setelan relai Trafo sebesar 0.86 s.
 - d. Disisi Generator, setelan waktu kerja relai sebesar 1.16 s dan nilai tms serta arus gangguan berdasarkan kontribusi arus nominal masing-masing generator.

Setelan relai arus lebih di generator Wahana1 (Mitsubishi3, Cummins3, dan Cummins5) sebesar 0.04 s, tidak memenuhi kaidah setelan relai arus lebih, yang seharusnya 1.16 s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basri, Hasan, Sistem Distribusi Daya Listrik, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta,1997
- [2] Kadarisman, Pribadi, Koordinasi Proteksi Distribusi, Jakarta,PT.PLN 2010
- [3] Marsudi, Djiteng, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta,1990
- [4] Pandjaitan, Bonar, Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: ANDI, 2012.
- [5] Sudaryatno Sudirham,Darpublic, Analisa Sistem Tenaga. Edisi Juli2012
- [6] S.S. Vadhera, Power System Analysis & Stability, New Delhi, Khana Publisher Delhi 1981.