

ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN PENUTUP BALIK OTOMATIS (*RECLOSER*) PADA PENYULANG JUNREJO 20 kV Gardu Induk Sengkaling Akibat Gangguan Arus Hubung Singkat

Mega Firdausi N¹, Hery Purnomo, Ir., M.T.², Teguh Utomo, Ir., M.T.³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: megafirdausi@gmail.com

Abstrak - Di dalam jaringan distribusi 20 kV sering terjadi gangguan, salah satunya adalah gangguan arus hubung singkat. Dalam mengatasi gangguan arus hubung singkat ini diperlukan koordinasi antar pemangam jaringan distribusi agar dapat mengisolasi gangguan dan melindungi jaringan distribusi serta peralatan yang berada di jaringan tersebut. Koordinasi antara Penutup Balik Otomatis (*Recloser*) sebagai pemangam utama dengan Rele arus lebih baik pada sisi penyulang maupun masukan 20 kV sebagai pemangam cadangan haruslah tepat. Pada penelitian ini dihitung besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa yang akan digunakan sebagai penyetelan *Recloser* dan Rele arus lebih. Dari hasil perhitungan dan analisis didapatkan bahwa terjadi kesalahan koordinasi antara *Recloser* dengan Rele arus lebih sisi penyulang, dimana Rele pada sisi penyulang sudah bekerja dengan karakteristik rele *instant* ($t = 40$ milidetik) pada daerah kerja *Recloser* yang memiliki waktu kerja 0,3 detik. Hal ini dapat mengakibatkan Rele arus lebih di sisi penyulang yang merupakan pemangam cadangan bekerja terlebih dahulu dibandingkan *Recloser* yang merupakan pemangam utama. Dilakukan perhitungan dan analisis ulang dengan merubah penyetelan Rele arus lebih di sisi penyulang menggunakan karakteristik *invers*. Penyetelan Rele arus lebih di sisi penyulang ini berhasil memperbaiki koordinasi antara *Recloser* dengan Rele arus lebih sisi penyulang maupun masukan 20 kV dengan waktu tunda 0,4 detik sesuai dengan ketentuan PLN.

Kata kunci— hubung singkat, *recloser*, rele arus lebih

I. PENDAHULUAN

Keandalan pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik hingga ke konsumen. Jumlah pemadaman atau gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik menjadi acuan dalam menentukan keandalan suatu sistem tenaga listrik. Keandalan yang baik akan membutuhkan suatu sistem proteksi yang koordinatif dalam suatu sistem kelistrikan.

Salah satu permasalahan yang ada di Gardu Induk Sengkaling, yaitu sering terjadi gangguan hubung singkat pada salah satu penyulang yang dipasok oleh transformator daya 3. Tercatat sepanjang tiga tahun terakhir ini hampir setiap bulannya sering terjadi gangguan hubung singkat, bahkan dalam beberapa bulan terakhir terjadi gangguan pada penyulang yang berdampak pada *tripnya* rele masukan akibat kegagalan atau keterlambatan sistem proteksi pada penyulang. Hal ini sangat riskan terjadi, karena *tripnya* rele masukan 20 kV mengakibatkan *tripnya* penyulang –

penyulang lain yang mendapat suplai dari masukan tersebut yang tidak mengalami gangguan.

Oleh karena itu, PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Timur Area Malang Penyulang Junrejo membutuhkan analisis ulang terhadap sistem kelistrikan sehingga keandalan sistem tetap terjaga. Salah satu metode yang dilakukan adalah koordinasi peralatan pemangam, terutama koordinasi pada saat terjadi gangguan hubung singkat yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa dengan memfungsikan rele arus lebih (OCR) baik pada sisi masukan maupun penyulang sebagai pemangam cadangan serta Penutup Balik Otomatis (PBO) atau *Recloser* yang terletak pada penyulang 20 kV sebagai pemangam utama.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Suatu sistem energi listrik mengandung empat unsur. Pertama, adanya unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya adalah tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET). Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR) [3].

B. Gangguan Hubung Singkat

Dari jenis gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu [6] :

- Hubung Singkat Simetris.
- Hubung Singkat Tak Simetris (Asimetris).

Gangguan hubung singkat yang termasuk ke dalam gangguan tak simetris (asimetris) adalah hubung singkat satu fasa maupun dua fasa, sedangkan gangguan simetris adalah hubung singkat tiga fasa [7].

Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu, juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu dan dapat mengakibatkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharannya. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi [1]:

- Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak

seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

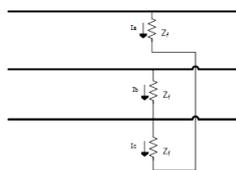
- c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan yang lain.
- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda, kejadian ini di kenal sebagai *cascading*.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga pada saat dalam gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk:

- a. Setelan dan koordinasi peralatan proteksi
- b. Menentukan kapasitas alat pemutus daya
- c. Menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang digunakan
- d. Menganalisa sistem jika ada hal-hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi.
- e. Arus gangguan hubung singkat merupakan aliran arus yang tidak normal (besar) yang disebabkan terjadinya hubungan antara sesama kawat penghantar bertegangan atau antara kawat penghantar bertegangan dengan tanah secara langsung tidak melalui media yang seharusnya (beban/isolator). Dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat untuk proteksi rele cukup dihitung salah satu fasa aja. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah, nilai impedansi gangguan (Z_f) dianggap nol ($Z_f = 0$).

1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa diperlihatkan pada gambar 1 dibawah ini.



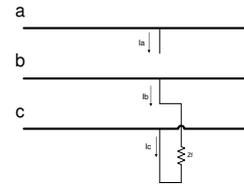
Gambar 1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Arus hubung singkat tiga fasa adalah ^[1] :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \quad (1)$$

2. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan terjadi pada fasa b dan c. Gangguan hubung singkat antar fasa diperlihatkan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Arus hubung singkat antar fasa adalah ^[1] :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2)$$

Keterangan :

I_{hs} : Arus hubung singkat (Ampere).

E_a : Tegangan fasa (V).

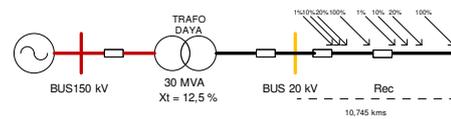
Z_1 : Impedansi urutan positif (ohm).

Z_2 : Impedansi urutan negatif (ohm).

Z_f : Impedansi gangguan hubung singkat (ohm).

C. Perhitungan Impedansi

Perhitungan arus hubung singkat pada dari sistem 20 kV yang dipasok dari gardu induk seperti pada gambar 3 dibawah ini,



Gambar 3 Single line diagram jaringan distribusi

Untuk menghitung arus impedansi, dilakukan tahapan perhitungan sebagai berikut ^[5] :

1. Perhitungan Impedansi sumber

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

Daya sisi 150 kV = Daya sisi 20 kV

$$\frac{kV_1^2}{Z_1(sisi\ 150\ kV)} = \frac{kV_2^2}{Z_2(sisi\ 20\ kV)}$$

$$X_s(sisi\ 20\ kV) = \frac{20^2}{150^2} X_s(sisi\ 150\ kV) \quad (4)$$

Dimana:

X_s : Impedansi sumber (ohm)

kV : Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA : Data hubung singkat di bus 150 kV

2. Impedansi transformator

$$Z_B = \frac{kV^2}{MVA} \quad (5)$$

Dimana:

Z_B : Impedansi trafo tenaga pada 100% (ohm)

kV^2 : Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA : Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_{t1} = \text{reaktansi trafo (\%)} \times Z_B \quad (6)$$

Reaktansi urutan nol trafo tenaga :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} \quad (7)$$

3. Impedansi penyulang

Dalam melakukan penghitungan impedansi penyulang pada penyulang Junrejo yang memiliki satu buah *Recloser*, maka perhitungannya dibagi menjadi dua bagian. Yaitu, bagian mulai dari GI hingga *Recloser* dan dari *Recloser* hingga ujung jaringan.

Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

1. Urutan positif dan urutan negatif
 $Z_1 = Z_2 = \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1$ (8)
 Dimana:
 Z_1 : impedansi urutan positif (ohm)
 Z_2 : impedansi urutan negatif (ohm)
2. Urutan nol
 $Z_0 = \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0$ (9)
 Dimana:
 Z_0 : Impedansi urutan nol (ohm)
4. Impedansi ekuivalen jaringan
 - Urutan positif dan urutan negatif ($Z_{1eki} = Z_{2eki}$)
 $Z_{1eki} = Z_{2eki} = (n\% \times R_{ljar}) + j (X_{sc} + X_T + (n\% \times X_{ljar}))$ (11)
 Dimana:
 Z_{1eki} : impedansi ekuivalen jaringan urutan positif (ohm)
 Z_{2eki} : impedansi ekuivalen jaringan urutan negatif (ohm)
 X_{sc} : impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)
 X_{T1} : impensi trafo tenaga urutan positif dan negatif (ohm)
 R_{ljar} : tahanan jaringan (ohm)
 - Urutan nol
 $Z_{0eki} = (3 RN + (n\% \times R_{0jar})) + j (X_{0T} + (n\% \times X_{0jar}))$ (12)
 Dimana:
 Z_{0eki} : impedansi ekuivalen jaringan nol
 Z_{0} : impedansi trafo tenaga urutan nol
 RN : tahanan tanah trafo tenaga (ohm)
 Z_0 : impedansi urutan nol (ohm)

D. Penutup Balik Otomatis atau Recloser

Sebagian besar gangguan (80-95%) pada jaringan distribusi dan transmisi adalah bersifat temporer (sementara), berlangsung dari beberapa *cycle* sampai beberapa detik. Penyebab gangguan kebanyakan disebabkan oleh dahan ranting pohon yang mengenai saluran udara [2].

Recloser merupakan suatu peralatan pengaman arus lebih, karena hubung singkat antara fasa dengan fasa atau fasa dengan tanah, dimana *recloser* ini memutuskan arus dan menutup kembali secara otomatis dengan selang waktu yang dapat diatur sesuai dengan setting interval *recloser* untuk membebaskan sistem dari gangguan yang bersifat temporer.

Recloser hampir sama dengan *circuit breaker*, namun *recloser* dapat disetel untuk bekerja membuka dan menutup beberapa kali secara otomatis. Apabila *feeder* mendapat gangguan sementara, bila *circuit breaker* yang digunakan untuk *feeder* yang mendapat gangguan sementara, akan menyebabkan hubungan *feeder* terputus. Tetapi jika *recloser* yang digunakan, diharapkan gangguan sementara tersebut tidak membuat *feeder* terputus, maka *recloser* akan bekerja beberapa kali sampai akhirnya *recloser* terbuka.

E. Rele Arus Lebih

Proteksi arus lebih adalah proteksi terhadap perubahan parameter arus yang sangat besar dan terjadi pada waktu yang cepat, yang disebabkan oleh hubung singkat. Prinsip rele arus lebih terdapat tiga macam karakteristik pengamanannya, yaitu [5]:

1. Rele arus lebih seketika (*moment instantaneous*).

Rele ini akan memberikan perintah trip pada *circuit breaker* pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus hubung singkat (I_F) mencapai arus setingnya.

- a. Setelan Arus Pada Bagian Sekunder

$$I_{\text{instansekunder}} = \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \quad (13)$$

Dengan setelan arus instan sebagai berikut :

- 1) Untuk setelan disisi penyulang, dengan arus maksimum adalah :

$$\text{Trafo kapasitas 30 MVA maksimum} \\ 2,4 \times I_{n \text{ trafo}} \quad (14)$$

- 2) Untuk setelan disisi masukan 20 kV, disetelan sebesar :

$$I_{\text{instant}} = 4 \times I_{n \text{ trafo}} \quad (15)$$

$$I_{n \text{ trafo}} = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} \quad (16)$$

- b. Setelan Arus Pada Bagian Primer

$$I_{\text{instanprimer}} = I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \quad (17)$$

Untuk penyetelan waktu rele arus lebih seketika disisi penyulang berkisar antara 40 sampai dengan 100 milidetik [5].

2. Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*).

Rele ini akan memberikan perintah trip pada *circuit breaker* pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besar arus hubung singkat (I_F) mencapai arus setingnya dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai rele kerja diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya I_F untuk mengerjakan rele untuk bekerja.

3. Rele arus lebih berbanding terbalik (*inverse*).

Rele ini akan memberikan perintah trip pada *circuit breaker* pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan durasi waktu kerja rele mulai *pick-up* sampai kerja rele diperpanjang berbanding terbalik

Penyetelan Arus Setelan Rele Arus Lebih (OCR) Jenis *Inverse* sebagai berikut [5]:

1. Arus Setelan (*Setting*) Primer

$$I_P = 1,05 \times I_n \quad A \quad (18)$$

Dimana :

I_P : Arus setelan (*setting*) pada bagian primer (Ampere)

I_n : Arus nominal peralatan (Ampere)

2. Arus Setelan (*Setting*) Sekunder

$$I_S = I_P \times \frac{1}{RasioCT} \quad A \quad (19)$$

Dimana:

I_S : Arus setelan (*setting*) pada bagian sekunder (Ampere)

n_{CT} : Perbandingan ratio trafo arus (CT)

Penyetelan *Time Multiple Setting* (TMS)

Rele Arus Lebih (OCR) Jenis *Inverse* sebagai berikut [5]:

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_s}\right)^{0,02} - 1} x TMS \quad \text{Detik} \quad (20)$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} xt \quad (21)$$

Dimana:

t : waktu kerja dari rele arus lebih jenis inverse

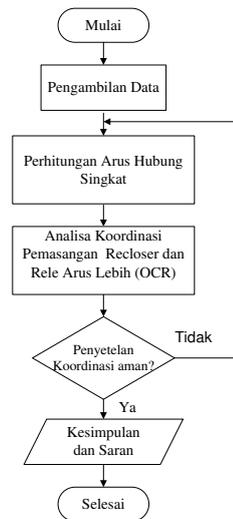
TMS: *Time Multiple Setting*

I_s : Arus setelan rele arus lebih jenis inverse primer (Ampere)

I_{fault} : Arus gangguan (Ampere)

III. METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian, maka diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut sesuai dengan Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir metode penelitian

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

A. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis gangguan hubung singkat yang akan dilakukan yaitu:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa

Pada penyulang Junrejo terdapat satu buah Penutup Balik Otomatis (*Recloser*), sehingga dalam melakukan perhitungan arus hubung singkat akan dibagi dua daerah, yaitu saluran dari Gardu Induk hingga *Recloser* Junrejo dan saluran dari *Recloser* Junrejo hingga akhir penyulang Junrejo.

Dengan menggunakan persamaan perhitungan untuk mendapatkan besar impedansi ekuivalen pada bagian D di atas, didapatkan besar impedansi ekuivalen menurut lokasi terjadinya gangguan. Pada tabel 1 ditunjukkan hasil perhitungan impedansi ekuivalen mulai dari GI hingga *recloser*, sedangkan pada tabel 2 ditunjukkan hasil perhitungan impedansi ekuivalen mulai *recloser* hingga ujung penyulang Junrejo.

Tabel 1 Hasil perhitungan impedansi ekuivalen (dari GI hingga *Recloser* dengan panjang 1,916 km.

No	Lokasi (%)	Impedansi ekuivalen	
		$Z_{1\text{eki}}$	$Z_{2\text{eki}}$
1	1 %	0,0048 + j 1,8479	0,0048 + j 1,8479
2	10 %	0,0476 + j 1,9133	0,0476 + j 1,9133
3	20 %	0,0951 + j 1,9860	0,0951 + j 1,9860
4	30 %	0,1427 + j 2,0587	0,1427 + j 2,0587

5	40 %	0,1903 + j 2,1314	0,1903 + j 2,1314
6	50 %	0,2378 + j 2,2041	0,2378 + j 2,2041
7	60 %	0,2854 + j 2,2768	0,2854 + j 2,2768
8	70 %	0,3329 + j 2,3496	0,3329 + j 2,3496
9	80 %	0,3805 + j 2,4223	0,3805 + j 2,4223
10	90 %	0,4281 + j 2,4949	0,4281 + j 2,4949
11	100 %	0,4756 + j 2,5677	0,4756 + j 2,5677

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 2 Hasil perhitungan impedansi ekuivalen mulai dari *Recloser* hingga ujung penyulang Junrejo dengan panjang 8,829 km.

No	Lokasi (%)	Impedansi ekuivalen	
		$Z_{1\text{eki}}$	$Z_{2\text{eki}}$
1	1 %	0,4333 + j 2,5030	0,4333 + j 2,5030
2	10 %	0,6051 + j 2,7656	0,6051 + j 2,7656
3	20 %	0,7960 + j 3,0574	0,7960 + j 3,0574
4	30 %	0,9869 + j 3,3492	0,9869 + j 3,3492
5	40 %	1,1778 + j 3,6410	1,1778 + j 3,6410
6	50 %	1,3686 + j 3,9328	1,3686 + j 3,9328
7	60 %	1,5595 + j 4,2246	1,5595 + j 4,2246
8	70 %	1,7504 + j 4,5164	1,7504 + j 4,5164
9	80 %	1,9413 + j 4,8082	1,9413 + j 4,8082
10	90 %	2,1322 + j 5,1000	2,1322 + j 5,1000
11	100 %	2,3231 + j 5,3918	2,3231 + j 5,3918

Sumber : Hasil perhitungan

B. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi ekuivalen sesuai lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung. Hanya saja impedansi ekuivalen yang dimaksud adalah yang tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bias gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa menggunakan persamaan (2) dan (3) adalah sebagai berikut:

1. Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

- a. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*.

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V}{\frac{Z_{1\text{eki}}}{20.000}} = \frac{V}{\frac{\sqrt{3}}{Z_{1\text{eki}} \frac{20.000}{\sqrt{3}}}} = \frac{V}{0,0041 + j 1,8469} = 6251,976 \text{ A}$$

- b. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa sepanjang *Recloser* hingga ujung Penyulang

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V}{\frac{Z_{1\text{eki}}}{20.000}} = \frac{V}{\frac{\sqrt{3}}{Z_{1\text{eki}} \frac{20.000}{\sqrt{3}}}} = \frac{V}{0,4333 + j 2,5030} = 4467,770 \text{ A}$$

2. Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

- a. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang Gardu Induk hingga *Recloser*.

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V}{Z_{1\text{eki}} + Z_{2\text{eki}}} = \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1\text{eki}}}$$

$$= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,0041 + j 1,8469)}$$

$$= 3125,998 \text{ A}$$

- b. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 2 fasa sepanjang *Recloser* hingga ujung Penyulang

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V}{Z_{1\text{eki}} + Z_{2\text{eki}}}$$

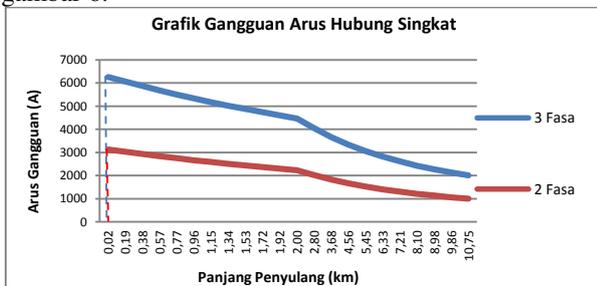
$$= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1\text{eki}}}$$

$$= \frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2 \times (0,4333 + j 2,5030)}$$

$$= 2233,885 \text{ A}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa pada titik lokasi gangguan penyulang 20 kV Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling yang lain seperti ditunjukkan pada grafik Tabel 3 berikut ini:

Dari hasil perhitungan dapat dibuat grafik kurva arus gangguan hubung singkat yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Kurva arus gangguan hubung singkat

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Selain itu dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar pada kedua penyulang transformator daya III Gardu Induk Sengkaling adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa, apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa.

C. Perhitungan Setelan *Recloser* dan Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Pada perhitungan setelan rele arus lebih OCR dimulai dari *Recloser* yang ada proteksinya selanjutnya ke rele arus lebih sisi penyulang kemudian sisi masukan 20 kV sebagai [5]:

1. Penyetelan Arus dan TMS di *Recloser*

Perhitungan penyetelan dilakukan dengan karakteristik *standart invers*.

1. Nilai setelan arus di *Recloser*

Setelan Arus pada *Recloser*

- Arus *Setting* Primer
 $I_s = 1,05 \times I_n$
 $I_s = 1,05 \times 93,56 \text{ A}$
 $= 98,24 \text{ A}$

- Arus *Setting* Sekunder
 $I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$
 $I_p = 98,24 \times \frac{1}{1000/1}$
 $= 0,0982 \text{ A}$

2. Nilai setelan TMS di *Recloser*

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_F}{I_s} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

- t = 0,3 detik
- I_F = arus gangguan = 4467,77 A
- I_s = 98,24 A
- α = 0,02
- β = 0,14

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{4467,77}{98,24} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,17 \text{ (tanpa satuan)}$$

2. Penyetelan Arus dan TMS di Sisi Penyulang

Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan dengan menggunakan karakteristik rele campuran, yaitu antara rele *standart invers* dan rele *instant*.

1. Nilai setelan arus di sisi penyulang

- a. Menggunakan karakteristik *standart inverse*

- Arus *Setting* Primer

$$I_s = 1,05 \times I_{\text{maks}}$$

$$I_s = 1,05 \times 101 \text{ A}$$

$$= 106,05 \text{ A}$$

- Arus *Setting* Sekunder

$$I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_p = 106,05 \times \frac{1}{400/5}$$

$$= 1,3256 \text{ A}$$

- b. Nilai setelan arus di sisi penyulang menggunakan karakteristik *instant*

$$I_n \text{ trafo} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}}$$

$$= \frac{30000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$= 866,03 \text{ A}$$

$$I_{\text{instan}} = 2,4 \times I_n \text{ trafo}$$

$$= 2,4 \times 866,03 \text{ A}$$

$$= 2078,472 \text{ A}$$

$$I_{\text{instansekunder}} = \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}}$$

$$= \frac{2078,472 \text{ A}}{106,05 \text{ A}}$$

$$= 19,65 \text{ A}$$

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{instansekunder}} \times I_{\text{set primer}}$$

$$= 19,65 \text{ A} \times 106,05 \text{ A}$$

$$= 2084 \text{ A}$$

Penyetelan waktu: 40 milidetik.

2. Nilai setelan waktu di sisi penyulang

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_F}{I_s} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

- t = ($t_{\text{thREC}} + \Delta t$) = (0,3+0,4) detik = 0,7 detik
- I_F = arus gangguan = 4467,77 A
- I_s = 106,5 A
- α = 0,02
- β = 0,14

Maka :

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{4467,77}{106,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,3879 \text{ (tanpa satuan)}$$

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Dimana:

TMS = 0,3879

I_{Fault} = Arus gangguan di 40 % di depan

Recloser

= 2006,14 A

I_{SET} = 106,05 A

$$t = \frac{0,14 \times 0,3579}{\left[\left(\frac{2006,14}{106,05} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 0,8967 \text{ detik.}$$

3. Penyetelan Arus dan TMS di Masukan 20 kV

Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan menggunakan karakter *standart invers*.

1. Nilai setelan arus di Sisi Masukan 20 kV

- Arus Setting Primer

$I_s = 1,05 \times I_n$

$I_s = 1,05 \times 400 \text{ A}$

= 420 A

- Arus Setting Sekunder

$I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$

$I_p = 420 \times \frac{1}{2000/5}$

= 1,05 A

2. Nilai setelan TMS di Sisi Masukan 20 kV

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_F}{I_S} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta}$$

Dimana :

$t = (t_{di\ out\ g} + \Delta t) = (0,7 + 0,4) \text{ detik} = 1,1 \text{ detik}$

I_F = Arus gangguan di 1 % di depan GI

= 6251,976 A

$I_s = 420 \text{ A}$

$\alpha = 0,02$

$\beta = 0,14$

$$TMS = \frac{1,1 \times \left[\left(\frac{6251,976}{420} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$TMS = 0,436 \text{ (tanpa satuan)}$

$0,14 \times TMS$

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Dimana:

TMS = 0,4359

I_{Fault} = Arus gangguan di 1 % di depan GI

= 6251,976 A

I_{SET} = 106,05 A

$0,14 \times 0,436$

$$t = \frac{0,14 \times 0,436}{\left[\left(\frac{6251,976}{106,05} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 1,0999 \text{ detik.}$$

Dari hasil perhitungan di atas, besar pengaturan rele arus lebih (OCR) dan *Recloser* ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Tabel perhitungan penyetelan *recloser* dan rele arus lebih (OCR).

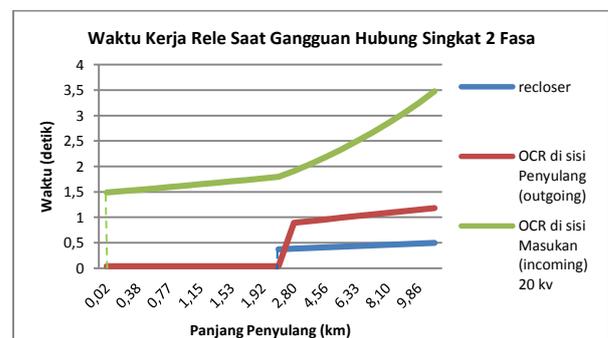
Penyetelan	<i>Recloser</i>	Rele Arus Lebih	
		Penyulang (outgoing)	Masukan (incoming) 20 kV
I_s (A)	98,24	$I > : 106,05$ $I >> : 2084$	420
TMS	0,17	0,3879	0,436

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan pemeriksaan waktu kerja rele arus lebih pada setiap titik gangguan dapat dilihat pada gambar 7 untuk gangguan arus hubung singkat 3 fasa dan gambar 8 gangguan arus hubung singkat 2 fasa.



Gambar 7. Kurva waktu kerja rele saat gangguan 3 fasa



Gambar 8 Kurva waktu kerja rele saat gangguan 2 fasa

Dari gambar 7 dan gambar 8 dapat dilihat bahwa waktu kerja antara *recloser* dengan rele arus lebih di sisi penyulang terjadi kesalahan koordinasi atau ketidak sesuaian koordinasi. Dimana, rele pada sisi penyulang sudah bekerja dengan karakteristik rele *instant* ($t = 40$ milidetik) pada daerah kerja *recloser* yang memiliki waktu kerja 0,3 detik. Hal ini dapat mengakibatkan rele arus lebih di sisi penyulang yang merupakan pengamanan cadangan bekerja terlebih dahulu di dibandingkan *recloser* yang merupakan pengamanan utama.

Untuk mendapatkan koordinasi yang sesuai antara *recloser*, rele arus lebih di sisi penyulang dan di sisi masukan maka harus dilakukan penyetelan ulang terhadap peralatan pengamanan. Penyetelan ulang akan dilakukan pada pengamanan rele arus lebih di sisi penyulang dengan merubah penyetelah rele yang semula menggunakan dua karakteristik yaitu karakteristik *instant* dan *invers* menjadi menggunakan satu karakteristik yaitu karakteristik *invers*.

D. Penyetelan Ulang Setelan Rele Arus Lebih di Sisi Penyulang

Perhitungan untuk penyetelan *recloser*, rele arus Perhitungan penyetelan rele arus lebih dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap penyetelan arus dan penyetelan TMS. Pada rele arus lebih di sisi penyulang yang semula menggunakan karakteristik rele campuran, yaitu antara rele *standart invers* dan rele *instant* dirubah hanya menggunakan karakteristik rele *invers*.

1. Nilai setelan arus di sisi penyulang
 - a. Menggunakan karakteristik *standart inverse*

- Arus Primer
 $I_s = 1,05 \times I_{maks}$
 $I_s = 1,05 \times 101 \text{ A}$
 $= 106,05 \text{ A}$
- Arus Sekunder
 $I_p = I_s \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$
 $I_p = 106,05 \times \frac{1}{400/5}$
 $= 1,3256 \text{ A}$

2. Nilai setelan waktu di sisi penyulang

$$TMS = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{4467,77}{106,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = 0,3879 \text{ (tanpa satuan)}$$

$$0,14 \times TMS$$

$$t = \frac{\left[\left(\frac{I_{Fault}}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14 \times 0,3879}$$

$$t = \frac{\left[\left(\frac{6251,976}{106,05} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14 \times 0,3879}$$

$$= 0,6399 \text{ detik.}$$

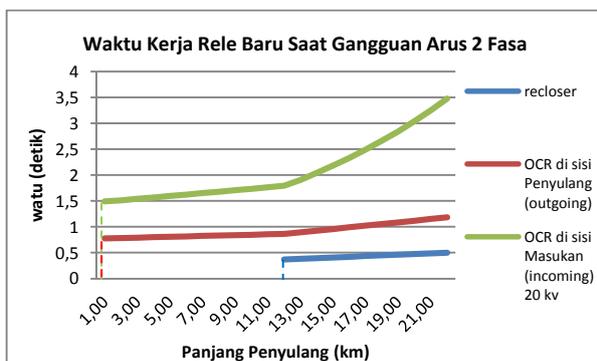
Tabel 5. Tabel perhitungan penyetelan *recloser* dan rele arus lebih (OCR) baru.

Penyetelan	Recloser	Rele Arus Lebih	
		Penyulang	Masukan
Is (A)	98,24	I > : 106,05	420
TMS	0,17	0,3879	0,436

Dari tabel 5 dapat kita hitung waktu kerja dari *recloser* dan OCR sisi penyulang dan masukan yang ditunjukkan pada gambar 10 untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dan gambar 11 untuk gangguan 2 fasa.



Gambar 10. Waktu Kerja Baru saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 11. Waktu Kerja Baru saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan penyetelan ulang rele arus lebih di sisi penyulang dapat memperbaiki koordinasi antara *recloser* dan OCR. Dimana koordinasi yang telah diperbaiki ini sudah sesuai dengan standar PLN dengan waktu tunda antar pengamanan 0,4-0,5 detik.

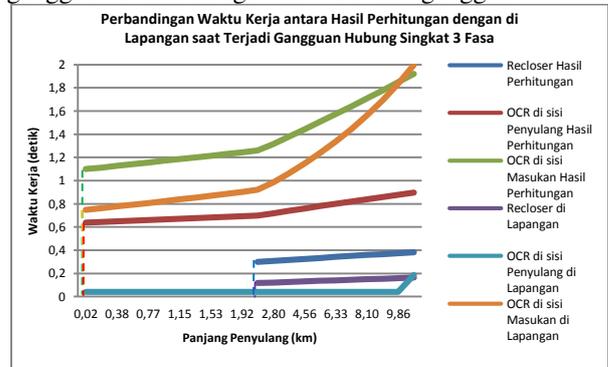
E. Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Keadaan di Lapangan

Dari hasil perhitungan penyetelan baru rele arus lebih dan *recloser* pada tabel 5 dapat dilakukan perbandingan antara penyetelan terpasang dan penyetelan sesuai dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Penyetelan yang di lapangan dengan penyetelan hasil perhitungan.

Pengaman	Penyetelan yang diterapkan di Lapangan	Penyetelan Hasil Perhitungan
Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV CT : 2000/5	I > : 1000 A TMS : 0,2 (SI)	I > : 420 A TMS : 0,436 (SI)
Rele Arus Lebih Sisi Penyulang CT : 400/5	I > : 320 A TMS : 0,05 (SI) I >> : 2000A t : instan	I > : 106,05A TMS : 0,3879(SI)
Recloser CT : 1000/1	I > : 250 A TMS : 0,05	I > : 98,24A TMS : 0,17

Dari tabel 7 dapat diketahui pula perbandingan koordinasi waktu kerja antara *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan sisi masukan 20 kV antara hasil perhitungan dengan di lapangan. Hasil perbandingan waktu kerja ditunjukkan pada gambar 12 untuk gangguan 3 fasa dan gambar 13 untuk gangguan 2 fasa.



Gambar 12 Kurva Perbandingan Waktu Kerja Saat Terjadi Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 13 Kurva Perbandingan Waktu Kerja Saat Terjadi Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya arus gangguan hubung singkat bergantung pada jarak titik gangguan dari sumber hingga ke ujung jaringan. Untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa terbesar adalah 6.251,976 A dan yang terkecil adalah 2.006,14, sedangkan untuk arus gangguan hubung singkat dua fasa terbesar adalah 3.125,988 A dan yang terkecil adalah 1.003,07 A. Arus gangguan hubung singkat dua fasa nilainya lebih kecil dari arus gangguan hubung singkat tiga fasa ($I_{hs2\phi} < I_{hs3\phi}$).
2. Penyetelan *recloser* dan rele arus lebih pada sisi penyulang dan masukan 20 kV yang didapat dari hasil perhitungan adalah sebagai berikut, untuk penyetelan pada *recloser* penyetelan arus pada bagian primer: 98,24 A dengan TMS 0,17. Sedangkan untuk rele arus lebih sisi penyulang, penyetelan arus pada bagian primer: 106,05 A dengan TMS sebesar 0,3879. Dan penyetelan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, penyetelan arus pada bagian primer: 420 A dengan TMS sebesar 0,436.
3. Koordinasi pengaman antara *recloser*, rele arus lebih sisi penyulang dan masukan 20 kV belum sesuai dengan koordinasi yang seharusnya. Maka, dilakukan perubahan pengaturan pengaman yaitu rele arus lebih. Perubahan dilakukan dengan merubah rele yang digunakan, yang semula menggunakan rele campuran (*instant* dan *invers*) dirubah menggunakan rele karakteristik *invers*. Pengaturan ulang rele arus lebih di sisi penyulang ini berhasil memperbaiki koordinasi antara *recloser*, rele arus lebih pada sisi keluaran dan sisi masukan 20 kV dengan waktu tunda antar pengaman sebesar 0,4 detik.

B. Saran

Dari hasil analisis koordinasi antara *recloser*, rele arus lebih pada penyulang dan masukan (*incoming*) 20 kV Gardu Induk Sengkaling yang telah dilakukan maka dapat diambil saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan perubahan pengaturan rele arus lebih di sisi penyulang agar mendapatkan koordinasi yang baik.
2. Untuk mendapatkan pengamanan yang lebih baik untuk mengatasi terjadi arus gangguan hubung singkat maka sebaiknya analisis dilakukan pula terhadap seluruh pengaman pada jaringan distribusi 20 kV, diantaranya *Fuse Cut Out* (FCO), *Sectionanalyzer* (SSO), *Load Break Switch* (LBS), dan pengaman lainnya.

REFERENSI

- [1] Gonen, Turan. 1988. *Modern Power System Analysis*. California: John Wiley & Sons Inc.
- [2] Kadarisman, Pribadi. 2003. Pengaman pada Jaringan Distribusi. Seminar.
- [3] Kadir, A., 2006. “*Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*”. Erlangga. Jakarta.
- [4] Sarimun N., Wahyudi. September 2011. *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua*. Depok: Garamond.
- [5] Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond.
- [6] Stevenson, Jr., William D. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [7] Stevenson, Jr. William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Cetakan kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.