

ANALISIS PENEMPATAN RECLOSER SEBAGAI PARAMETER PENENTU KEANDALAN SISTEM PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI

Arwan Fuadi¹, Ir. Prastyono Eko Pambudi.,MT², Ir. Gatot Santoso.,MT³
[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, IST AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No.28 Komplek Balapan Tromol Pos 45 Yogyakarta 55222
Telp. (0274)563029 E-mail : ist@akprind.ac.id

ABSTRACT

One type of network that is widely used in the distribution system is a network of radial type. But this network has a reliability index is low. One way to increase the reliability of the distribution network is by installing recloser. Recloser serves to disconnect and reconnect the power supply automatically in the event of disruption of a network. In order to work optimally the recloser, recloser placement on a network should not be placed at any location.

To put recloser in appropriate locations required an analysis, one of which is the method SAIFI and SAIDI SPLN 59: 1985. The higher the number SAIFI and SAIDI indicates the lower the level of reliability and service levels to customers. In this method of analysis parameters to get the reliability index value comparison SAIFI and SAIDI different at each location. From the analysis that recloser at feeder BNL 11 substation Bantul most optimal placed on section 3 because it has the SAIFI and SAIDI is the smallest is 3,3 times/year and 54,4 hours/years. Is a parameter for setting recloser ie relay OCR dan GFR used method SPLN 64: 1985 of the short circuit current. From the analysis that the value of the short circuit current 3 phase, 2 phase, and 1 phase to ground the smallest are in section 7 that in 1649,43 Amp, 1428,44 Amp, and 679,59 Amp.

Keywords: Recloser, SAIFI SAIDI, short circuit.

INTISARI

Salah satu tipe jaringan yang banyak digunakan pada sistem distribusi adalah jaringan tipe radial. Jaringan ini memiliki indeks keandalan yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan pada jaringan distribusi yaitu dengan memasang *recloser*. *Recloser* ini berfungsi untuk memutuskan dan menyambung kembali aliran listrik secara otomatis pada suatu jaringan saat terjadi gangguan. Agar *recloser* dapat bekerja optimal maka penempatan *recloser* pada suatu jaringan tidak boleh diletakkan pada sembarang titik.

Untuk menempatkan *recloser* pada titik yang tepat diperlukan sebuah analisis, salah satunya yaitu dengan metode SAIFI dan SAIDI SPLN 59: 1985. Semakin tinggi angka SAIFI dan SAIDI menunjukkan semakin rendahnya tingkat keandalan dan tingkat pelayanan ke pelanggan. Di dalam metode ini dianalisis parameter-parameter dari indeks keandalan untuk mendapatkan perbandingan nilai SAIFI dan SAIDI yang berbeda-beda pada tiap titik/*section*. Dari hasil analisis didapatkan bahwa *recloser* pada feeder BNL 11 Gardu Induk Bantul paling optimal diletakkan pada *section 3* karena memiliki nilai SAIFI dan SAIDI yang paling kecil yaitu 3,3 kali/tahun dan 54,4 jam/tahun. Sebagai parameter untuk setting *recloser* yaitu *relay* OCR dan GFR digunakan metode SPLN 64: 1985 mengenai arus hubung singkat. Dari hasil analisis didapatkan bahwa nilai arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa-tanah terkecil berada pada *section 7* yaitu 1649,43 Amp, 1428,44 Amp, dan 679,59 Amp.

Kata kunci : *Recloser*, SAIFI SAIDI, hubung singkat.

PENDAHULUAN

Daya listrik merupakan kebutuhan pokok manusia dalam kehidupan. Semakin banyaknya industri-industri serta perusahaan-perusahaan

yang berkembang menuntut PLN dalam penyediaan tenaga listrik harus handal, murah serta ekonomis. Jarak antara pembangkit sampai konsumen sangat jauh maka penyaluran daya listrik dilakukan melalui suatu saluran

transmisi/distribusi yang panjang, umumnya berupa saluran terbuka menyebabkan gangguan pada sistem kelistrikan tersebut berpeluang semakin besar terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Gangguan-gangguan tersebut jika dibiarkan akan menyebabkan terjadinya arus gangguan yang cukup besar dan bisa mengganggu pendistribusian daya listrik ke konsumen.

Semakin sering suatu jaringan distribusi mengalami gangguan maka kualitas penyaluran energi listrik juga akan semakin buruk. Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang luas dan jumlah gangguannya yang paling banyak terjadi dibandingkan dengan jaringan transmisi.

Tingkat keandalan jaringan distribusi pada umumnya diukur oleh dua parameter, yaitu: SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Duration Index). Semakin tinggi angka SAIFI dan SAIDI menunjukkan semakin rendahnya tingkat keandalan dan tingkat pelayanan ke pelanggan. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan jaringan distribusi berdasarkan indeks keandalan adalah dengan memasang *recloser*.

Recloser merupakan suatu peralatan pengaman yang dapat mendeteksi 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*.

Recloser hampir sama dengan *circuit breaker*, hanya *recloser* dapat disetting untuk bekerja membuka dan menutup beberapa kali secara otomatis. Apabila feeder mendapat gangguan *temporer* (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* membuka.

Gangguan umumnya disebabkan karena terjadi hubung singkat dalam satu bagian sistem. Bagian yang paling banyak mengalami gangguan adalah saluran udara. Gangguan hubung singkat menimbulkan arus hubung singkat yang besar dan harus diperhitungkan dalam merencanakan instalasi listrik dari pusat listrik, khususnya dalam menentukan spesifikasi teknis pemutus tenaga.

METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui penempatan recloser sebagai parameter penentu keandalan sistem proteksi pada sistem distribusi, perlu dilakukan penelitian dengan beberapa data sebagai variable yang akan dihitung. Dalam pengambilan

data dilakukan metode survei dan tinjauan pustaka sebagai pendukung terhadap data penelitian tersebut. Sehingga diharapkan dapat memberikan gambaran yang sesuai dan tepat dengan kondisi sebenarnya.

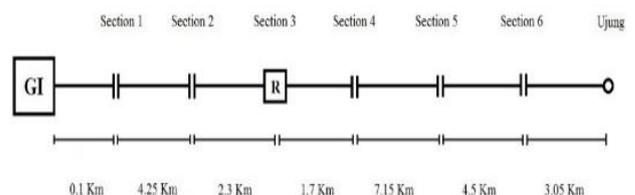


Gambar 1 Diagram alir penelitian

Penelitian dilakukan pada *feeder* BNL 11 di Gardu Induk Bantul PT. PLN (persero) Yogyakarta.

Data feeder 20kV

- Nama *feeder* BNL 11
- Panjang saluran utama: 18 KM
- saluran utama menggunakan penghantar AAAC 240 mm².



Gambar 2 Single line diagram

feeder BNL 11

(Sumber: PLN (Persero) APJ Yogyakarta)

Tabel 1 Data jaringan feeder BNL 11 Gardu Induk Bantul

(Sumber: PLN (Persero) APJ Yogyakarta)

Lokasi	Panjang Jaringan (km)	Trafo Distribusi	Jumlah Pelanggan
Section 1	0.1	0	0
Section 2	4.25	69	8440
Section 3	2.3	35	4259
Section 4	1.7	8	998
Section 5	7.15	107	10414
Section 6	4.5	58	6020
ujung	3.05	23	2278
TOTAL	23.05	300	32.409

Data Trafo Tenaga

- Data hubung singkat sisi atas (150 kV) sebesar 4.702 MVA.

Tabel 2 Trafo tenaga Gardu Induk Bantul (Sumber: Gardu Induk Bantul Yogyakarta)

TRAFO	II
Merk	PAUWELS
Serial	3011120090
Year of manufacture	2013
Kapasitas	60 MVA
Impedansi	12%
Teg. Primer	150 Kv
Teg. Sekunder	20 Kv
Frekuensi	50 Hz

Teknik Analisa Data

Dalam penelitian ini teknik analisa data yang digunakan adalah dengan menggunakan metode SPLN 59: 1985 untuk menganalisa keandalan penempatan recloser dan SPLN 64: 1985 untuk menganalisa besar arus hubung singkat di tiap section pada feeder.

Perhitungan SAIFI

Dengan menggunakan data-data jaringan diatas maka dilakukan perhitungan SAIFI seperti berikut sesuai SPLN 59: 1985:

Tabel 3 Nilai SAIFI pada section 1

Jenis Komponen	Komponen (unit, km)	Angka Keluar	pu sistem yang keluar	Frekuensi Pemadaman
	X_i	λ_i	C_i	f_i
A	B	C	D	E=BxCxD
PMT	1	0.004	1	0.004
SUTM 1	0.1	0.2	1	0.02

SUTM 2	22.95	0.2	1	4.59
Recloser	1	0.005	1	0.005
Trafo Distribusi	300	0.005	0.003	0.0045
Rel TR	300	0.001	0.003	0.0009
Jumlah SAIFI				4.6

Perhitungan SAIDI

Dengan menggunakan data-data jaringan diatas maka dilakukan perhitungan SAIDI seperti berikut sesuai SPLN 59: 1985:

Jenis Komponen	Trafo Distribusi	Frekuensi Pemadaman	Waktu	Lama Pemadaman
		F_i	t_{ij}	d
A	B	C		E
PMT	0	0.004	A = 0.5 I = 10	0.002 0.04
SUTM 1	0	0.02	A = 0.5 B = 0.16 F = 3	0.01 0 0.06
0.1				
SUTM 2	300	4.59	A = 0.5 B = 0.16 F = 3	2.295 110.16 13.77
22.95				
Recloser	300	0.005	A = 0.5 B = 0.16 I = 10	0.00025 0.24 0.05
Trafo Distribusi	300	0.0045	K = 10	0.045
Rel TR	300	0.0009	M = 10	0.009
Jumlah SAIDI				126.6

Tabel 4 Nilai SAIDI pada section 1

Perhitungan diatas dilakukan dari section awal sampai section akhir dengan pemindahan letak recloser.

Perhitungan Hubung Singkat

Perhitungan impedansi

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah terlebih dahulu dilakukan perhitungan impedansi sumber, impedansi trafo, dan impedansi jaringan.

Impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di bus 20 kV, maka dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV:

$$X_S = \frac{kV^2}{MVA_{HS}} = \frac{150^2}{4702} = 4,785\Omega \quad (1)$$

Kemudian impedansi yang terletak disisi 150 kV dikonversi ke sisi 20 kV:

$$X_1 = X_2 = \frac{20^2}{150^2} \times 4,785 \Omega = j 0,085 \Omega$$

Impedansi trafo

Perhitungan reaktansi trafo urutan positif dan negatif:

$$X_1 = X_2 = 12\% \times \frac{20^2}{60} = j 0,8 \Omega$$

Pada transformator daya II Gardu Induk Bantul ini mempunyai hubungan YNyn0 yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_0 berkisar antara 9 sampai dengan 14 dan dalam perhitungan ini diambil nilai X_0 adalah 10. Maka nilai X_0 adalah:

$$X_0 = 10 \times X_1 = 10 \times 0,8 = j 8 \Omega$$

Impedansi jaringan

Data impedansi penghantar feeder BNL 11:

$$Z_1 = Z_2 = 0,1344 + j 0,3158$$

$$Z_0 = 0,2824 + j 1,6033$$

Kemudian dilakukan perhitungan nilai impedansi pada tiap jarak LBS section 1 sampai ujung feeder:

Tabel 5 Hasil impedansi tiap LBS

Lokasi	Jarak (km)	Impedansi + / - (Ω)	Impedansi 0 (Ω)
LBS section 1	0,1	0,0134 + j 0,0316	0,0282 + j 0,1603
LBS section 2	4,35	0,5846 + j 1,3737	1,2284 + j 6,9743
LBS section 3	6,65	0,8937 + j 2,1	1,8779 + j 10,6619
LBS section 4	8,35	1,1222 + j 2,6369	2,358 + j 13,3875
LBS section 5	10,45	1,4044 + j 3,3001	2,9511 + j 16,7544
LBS section 6	14,95	2,0092 + j 4,7212	4,2218 + j 23,9693
LBS section 7	18	2,4192 + j 5,6844	5,0832 + j 28,8594

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{HS} = \left| \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \right| \quad (2)$$

$$I_{HS} = \frac{V_f}{\sqrt{R_{1saluran}^2 + j(X_{1sumber} + X_{1trafo} + X_{1saluran})^2}}$$

Dimana: V_f = Tegangan fasa-netral

$$Z_1 = Z_2 = \text{Impedansi saluran + sumber + trafo}$$

$$Z_f = \text{Impedansi gangguan (0 } \Omega)$$

Dilakukan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa sesuai dengan lokasi – lokasi LBS section antara lain:

a. Lokasi LBS section 1

$$I_{HS} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,0134)^2 + j(0,085 + 0,8 + 0,0316)^2}}$$

$$= \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{0,9167} = 12596,27 \text{ A}$$

Perhitungan arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{HS} = \left| \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \right| \quad (3)$$

$$I_{HS} = \frac{V_f}{2 \times \sqrt{R_{1saluran}^2 + j(X_{1sumber} + X_{1trafo} + X_{1saluran})^2}}$$

Dimana: V_f = Tegangan fasa-fasa

$$Z_1 = Z_2 = \text{Impedansi saluran + sumber + trafo}$$

$$Z_f = \text{Impedansi gangguan (0 } \Omega)$$

Dilakukan perhitungan arus hubung singkat 2 fasa sesuai dengan lokasi – lokasi LBS section antara lain:

a. Lokasi LBS section 1

$$I_{HS} = \frac{20000}{2 \times \sqrt{(0,0134)^2 + j(0,085 + 0,8 + 0,0316)^2}}$$

$$= \frac{20000}{1,8334} = 10908,69 \text{ A}$$

Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa-tanah

$$I_{HS} = \left| \frac{3 \cdot V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f} \right| \quad (4)$$

$$Z_1 = R_1 + j (X_{1sumber} + X_{1trafo} + X_{1saluran})$$

$$Z_2 = Z_1$$

$$Z_0 = R_{saluran} + j (X_{0sumber} + X_{0trafo} + X_{0saluran})$$

Dimana: V_f = Tegangan fasa-netral

$$Z_1=Z_2 = \text{Impedansi saluran} + \text{sumber} + \text{trafo}$$

$$Z_f = \text{Impedansi gangguan (0 } \Omega \text{)}$$

Dilakukan perhitungan arus hubung singkat 1 fasa - tanah sesuai dengan lokasi – lokasi LBS *section* antara lain:

a. Lokasi LBS *section* 1

$$Z_1 = 0,0134 + j (0,085 + 0,8 + 0,0316)$$

$$= 0,0134 + j 0,9166$$

$$Z_2 = Z_1 = 0,0134 + j 0,9166$$

$$Z_0 = 0,0282 + j (0 + 8 + 0,1603)$$

$$= 0,0282 + j 8,1603$$

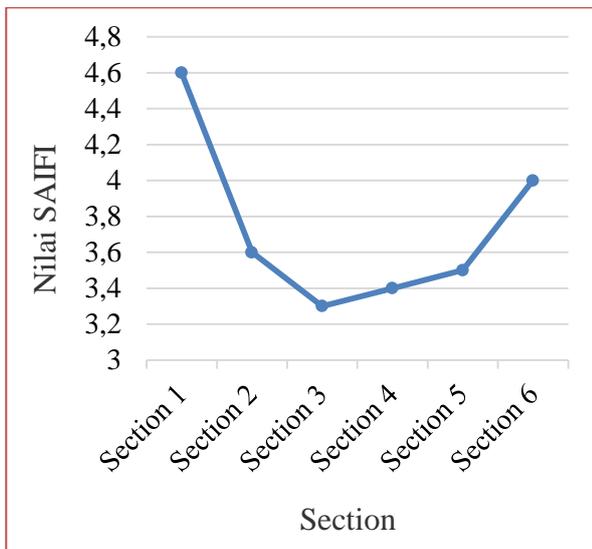
$$I_{HS} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,055)^2 + j(9,9935)^2}}$$

$$= \frac{34641,0159}{9,9936} = 3466,32 \text{ A}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

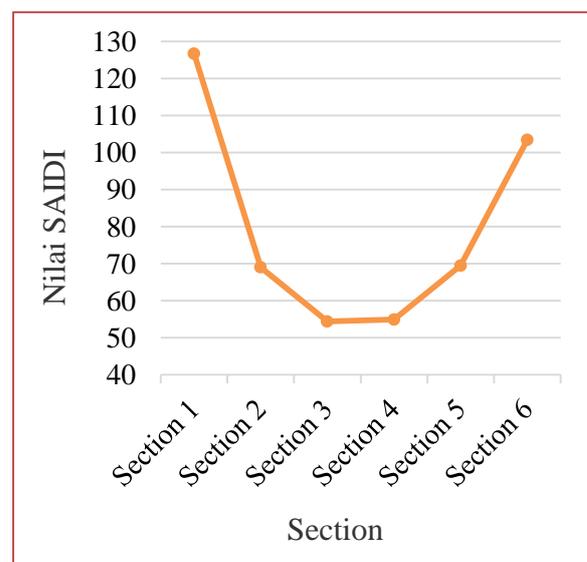
Setelah dilakukan perhitungan untuk mendapatkan indeks keandalan sebagai penentu penempatan *recloser* dengan melakukan manuver posisi *recloser* pada tiap *section* dari *section* awal jaringan hingga ujung jaringan, dari hasil perhitungan akan didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI keseluruhan dan bisa digunakan sebagai pertimbangan penempatan *recloser* yang optimal.

Nilai SAIFI dan SAIDI



Gambar 3 Grafik SAIFI Feeder BNL 11 sesuai penempatan *recloser*

Dengan dilakukannya penempatan *recloser* yang tepat maka terjadi penurunan indeks keandalan yang cukup signifikan. Dapat dilihat pada tabel perhitungan SAIFI bahwa 3 komponen yang berpengaruh dalam pergeseran *recloser* adalah SUTM 1, SUTM 2, dan *recloser* karena tiap dilakukan pergeseran *recloser* maka nilai jumlah komponen SUTM dan pu sistem yang keluar untuk 3 komponen tadi akan berubah. Sehingga pergeseran *recloser* memiliki dampak yang besar dalam penurunan indeks keandalan. Dari grafik SAIFI diatas dapat dilihat pada saat *recloser* ditempatkan pada *section* 1 mempunyai nilai SAIFI sebesar 4,6 kali/tahun, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi *recloser* pada saat ditempatkan pada *section* 2 yaitu 3,6 kali/tahun. Begitu juga dengan penempatan *recloser* pada *section* 3 yang mempunyai nilai 3,3 kali/tahun lebih kecil dibandingkan pada *section* 2. Akan tetapi pada penempatan di *section* 4 mempunyai nilai SAIFI yang mengalami kenaikan (tidak menurun lagi) yaitu 3,4 kali/tahun. Begitu juga dengan *section* 5 yang mempunyai nilai semakin tinggi yaitu 3,5 kali/tahun dan *section* 6 dengan nilai SAIFI 4 kali/tahun. Dengan indeks keandalan SAIFI tersebut, maka *recloser* akan lebih optimal jika ditempatkan pada *section* 3 dengan nilai SAIFI paling kecil yaitu 3,3 kali/tahun. Dengan keputusan ini, maka *recloser* akan mengamankan 104 trafo dengan 12,699 pelanggan dalam jaringan sepanjang 6.65 km dan didapatkan nilai indeks kehandalan dengan SAIFI sebesar 3,3 kali/tahun.



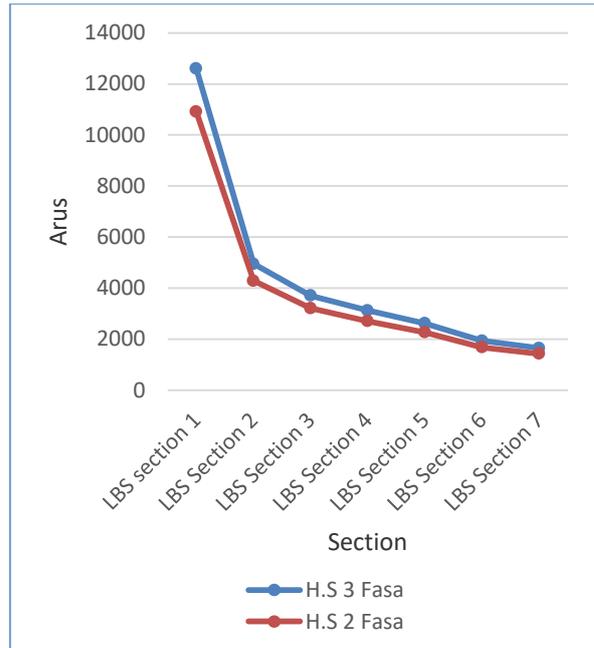
Gambar 4 Grafik SAIDI Feeder BNL 11 sesuai penempatan *recloser*

Dengan dilakukannya penempatan *recloser* yang tepat maka terjadi penurunan indeks keandalan yang cukup signifikan. Dapat dilihat pada tabel perhitungann SAIDI bahwa 3 komponen yang berpengaruh dalam pergeseran *recloser* adalah SUTM 1, SUTM 2, dan *recloser* karena tiap dilakukan pergeseran *recloser* maka nilai jumlah trafo distribusi pada jenis komponen SUTM untuk 3 komponen tadi akan berubah. Sehingga pergeseran *recloser* memiliki dampak yang besar dalam penurunan indeks keandalan. Dari grafik SAIDI diatas dapat dilihat pada saat *recloser* ditempatkan pada *section 1* mempunyai nilai SAIDI sebesar 126,7 jam/tahun jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi *recloser* pada saat ditempatkan pada *section 2* yaitu 69 jam/tahun. Begitu juga dengan penempatan *recloser* pada *section 3* yang mempunyai nilai 54,4 jam/tahun lebih kecil dibandingkan pada *section 2*. Akan tetapi pada penempatan di *section 4* mempunyai nilai SAIDI yang mengalami kenaikan (tidak menurun lagi) yaitu 54,9 jam/tahun. Begitu juga dengan *section 5* yang mempunyai nilai semakin tinggi yaitu 69,5 jam/tahun dan *section 6* dengan nilai SAIDI 103,4 jam/tahun. Dengan indeks keandalan SAIDI tersebut, maka *recloser* akan lebih optimal jika ditempatkan pada *section 3* dengan nilai SAIDI paling kecil yaitu 54,4 jam/tahun. Dengan keputusan ini, maka *recloser* akan mengamankan 104 trafo dengan 12,699 pelanggan dalam jaringan sepanjang 6.65 km dan didapatkan nilai indeks kehandalan dengan SAIDI sebesar 54,4 jam/tahun.

Hasil perhitungan hubung singkat

Dalam mempertimbangkan setting pengaman khususnya *relay* OCR dan GFR perlu dilakukan perhitungan besar arus hubung singkat meliputi 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah di *feeder* khususnya nilai minimal.

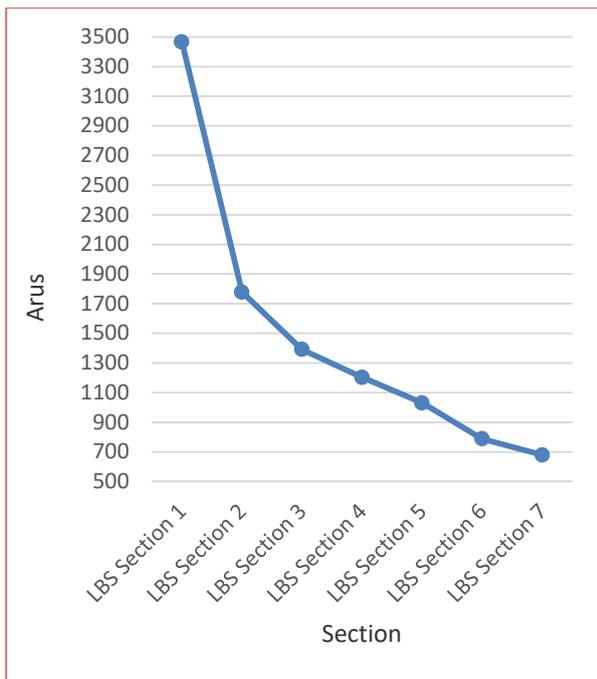
Hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa



Gambar 5 Grafik hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa

Dalam melakukan setting OCR harus diperhitungkan besarnya nilai hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa khususnya nilai gangguan terkecil sehingga dimanapun gangguan muncul tetap bisa dibaca dan diatasi oleh pengaman. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin jauh lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat yang terjadi semakin kecil. Besar arus hubung singkat 2 fasa selalu lebih kecil dari 3 fasa. Terlihat pada lokasi LBS *section 1* arus gangguan yang terjadi untuk 3 fasa 12596,27 A dan 2 fasa 10908,69 A, LBS *section 2* untuk 3 fasa 4949,2 A dan 2 fasa 4286,14 A, LBS *section 3* untuk 3 fasa 3705,95 A dan 2 fasa 3209,44 A, LBS *section 4* untuk 3 fasa 3123,93 A dan 2 fasa 2705,4 A, LBS *section 5* untuk 3 fasa 2615,75 A dan 2 fasa 2265,31 A, LBS *section 6* untuk 3 fasa 1938,94 A dan 2 fasa 1679,17 A, LBS *section 7* untuk 3 fasa 1649,43 A dan 2 fasa 1428,44 A. Dengan demikian nilai gangguan arus hubung singkat yang terkecil terjadi pada LBS *section 7*.

Hubung singkat 1 fasa-tanah



Gambar 6 Grafik hubung singkat 1 fasa – tanah

Dalam melakukan setting GFR harus diperhitungkan besarnya nilai hubung singkat 1 fasa ke tanah khususnya nilai gangguan terkecil sehingga dimanapun gangguan muncul tetap bisa dibaca dan diatasi oleh pengaman. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin jauh lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat yang terjadi semakin kecil. Terlihat pada lokasi LBS section 1 arus gangguan yang terjadi adalah 3466,32 A, LBS section 2 1777,67 A, LBS section 3 1391,03 A, LBS section 4 1202,75 A, LBS section 5 1030,32 A, LBS section 6 787,99 A, LBS section 7 679,59 A. Dengan demikian nilai gangguan arus hubung singkat yang terkecil terjadi pada LBS section 7.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada feeder BNL 11, recloser akan bekerja optimal sesuai dengan fungsinya apabila ditempatkan pada section 3. Dikarenakan pada lokasi section 3 mempunyai indeks keandalan nilai SAIFI yang paling kecil dibandingkan dengan section lainnya yaitu dengan nilai 3,3 kali/tahun, dan nilai SAIDI yang paling kecil dibandingkan dengan section lainnya yaitu dengan nilai 54,4 jam/tahun. Dengan keputusan ini, maka recloser akan mengamankan 104 trafo dengan 12,699 pelanggan dalam jaringan sepanjang 6.65 km.
2. Dalam mempertimbangkan setting recloser, perlu dilakukan perhitungan besar arus hubung singkat khususnya nilai gangguan terkecil. Untuk setting relay OCR dilakukan perhitungan besar arus hubung singkat 3 fasa

dengan hasil nilai gangguan terkecil yaitu 1649,43 Amp dan arus hubung singkat 2 fasa dengan hasil nilai gangguan terkecil yaitu 1428,44 Amp pada feeder BNL 11 Gardu Induk Bantul.

3. Untuk setting relay GFR dilakukan perhitungan besar arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dengan hasil nilai gangguan terkecil yaitu 679,59 Amp pada feeder BNL 11 Gardu Induk Bantul.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alawiy M.T, 2006. "Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relai Elektromagnetis", Malang : Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang.
- [2] Das D., 2006, "Electrical Power System", New Age International., Daryaganj, Delhi, IND.
- [3] Kadir A., 1998, "Transformator", Jakarta: Gramedia
- [4] Ma'sum Q.M, 2007, "Analisa Kerja Recloser Tipe WVVE Merk COOPER di Wilayah PT PLN (Persero) APJ Surakarta" Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
- [5] Marsudi D., 2006, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Marsudi D., 2011, "Pembangkitan Energi Listrik", : Erlangga.
- [7] Muhaimin A.A., 2014, "Pembagian Jaringan Distribusi dan Sistem Proteksinya", Artikel, UGMAGATRIKA, Yogyakarta
- [8] Nugroho S.P.F., 2010, "Analisis Penempatan Kembali Recloser B2-134 Pada Penyulang Kebasen 02 PT. PLN (Persero) APJ Tegal", Skripsi, UGM, Yogyakarta.
- [9] Prasetyo G.H, 2014, "Optimasi Penempatan Recloser pada Penyulang Mayang Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Jember Menggunakan Simplex Method", Artikel Ilmiah, Universitas Jember (UNEJ).
- [10] PT PLN Persero, 1985, "SPLN 59: Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV", Jakarta.
- [11] PT PLN Persero, 1985, "SPLN 64: Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pengaman Lebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah", Jakarta.
- [12] Purba P.S., 2012, "Proteksi Sistem Tenaga Listrik", Tugas Akhir, Universitas Negeri Medan.
- [13] Sanana F., 2013, "Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada Perencanaan Jaringan Distribusi Spindel Di GI Ciawi Trafo 1 Bogor", Skripsi, Universitas Indonesia.
- [14] Saputra R.A., 2009, "Studi Analisa Koordinasi Sectionalizer Recloser Menggunakan Metode RIA Untuk Peningkatan Keandalan Pada Penyulang

Suprama II Di GI Waru”, Skripsi, ITS, Surabaya.

- [15] Silaban A., 2010, “*Studi Tentang Penggunaan Recloser Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 KV*”, Skripsi, Universitas Sumatera Utara.
- [16] Soekarto J., 1985, “*Filosofi Pengaman*”, PLN, Jakarta.
- [17] Sumarno R.N., 2009, “*Optimasi Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Dengan Alogaritma Genetika*”, Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang.