

Evaluasi Sistem Proteksi dan Koordinasi Relai Arus lebih Gedung Mall XYZ Menggunakan ETAP 19.0.1

Fuad Djauhari¹, Idris Kusuma², Endang Retno Nugroho^{3,*}, Ahmad Lutfi Niam⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Nasional, Jakarta 12520

*Korespondensi penulis: retno.nugroho@civitas.unas.ac.id

(Received: 10-10-2022; Revised: 23-11-2022; Accepted: 28-11-2022)

Abstract. *Large buildings require optimal electrical protection. Short-circuit events are the most common occurrences. If there is a short-circuit fault on one of the feeders, the circuit breaker whose position is upstream from the fault center must work ahead of the circuit breaker whose position is upstream from the short-circuit fault center. The problem that occurs in the XYZ Mall Building is the opposite. When there is a short circuit current, it will cut off the main connector. As a result, some of the building's electricity will also go out. The purpose of this study is to regulate the coordination of relay protection repeatedly in this building. The study will evaluate the existing electrical Single Line Diagram of the XYZ Mall Building and perform simulations with the help of ETAP 19.0.1 software. The simulation results get the value of the protection system that has been adjusted where the curves of each relay do not intersect with each other so that the coordination of each relay is safe, with the standard time delay setting of 0.2 to 0.4 seconds. To overcome the problem in the XYZ Mall building, the relay that is not suitable must be set manually according to the simulation results to prevent tripping some of the buildings in the event of a short circuit fault.*

Keywords: *short circuit, overcurrent relay, circuit breaker, current protection.*

Abstrak. Bangunan besar membutuhkan proteksi listrik yang optimal. Kejadian hubung singkat merupakan kejadian yang paling umum terjadi. Bila terjadi gangguan hubung singkat pada salah satu penyulang, maka *circuit breaker* yang posisinya di hulu dari pusat gangguan harus bekerja mendahului *circuit breaker* yang posisinya lebih hulu dari pusat gangguan hubung singkat. Permasalahan yang terjadi di Gedung XYZ Mall adalah sebaliknya. Arus hubung singkat yang terjadi justru memutus penyambung utama. Dampaknya sebagian listrik gedung akan ikut padam. Tujuan penelitian ini untuk mengatur koordinasi relai proteksi secara berkala pada gedung ini. Pada penelitian dilakukan evaluasi terhadap SLD (*Single Line Diagram*) listrik Gedung XYZ Mall dan melakukan simulasi dengan bantuan perangkat lunak ETAP 19.0.1. Dari hasil simulasi diperoleh nilai sistem proteksi yang telah disesuaikan, yaitu kurva dari setiap relai tidak saling bersinggungan sehingga koordinasi setiap relai sudah aman, dengan *setting time delay* sesuai standar 0,2 sampai dengan 0,4 detik. Untuk mengatasi masalah di dalam gedung XYZ Mall, maka relai yang belum sesuai dengan hasil simulasi dapat diatur nilainya secara manual untuk mencegah kejadian trip sebagian gedung apabila terjadi gangguan hubung singkat.

Kata kunci: hubung singkat, relai arus lebih, pemutus arus, proteksi arus.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis dengan konsumsi listrik yang besar, terutama untuk kebutuhan AC pada gedung-gedung [1]. Bangunan tersebut dapat berupa hotel, apartemen, perkantoran, pusat perbelanjaan, dan lain-lain. Kenyamanan dalam melayani konsumen perlu diperhatikan tanpa mengurangi konsumsi energi. Peraturan pemerintah sudah jelas mengatur kewajiban penghematan energi, namun karena penghematan energi tidak kondusif bagi kenyamanan konsumen, maka dianggap sulit untuk dilaksanakan.

Pada setiap bangunan harus memiliki nilai intensitas energi untuk memantau efisiensi listriknya [2].

Di gedung mal XYZ, beberapa sistem kelistrikan mengalami masalah pemadaman karena koordinasi relai pelindung yang kurang optimal. Penyebabnya adalah arus lebih atau korsleting menyebabkan relai pelindung membuka pemutus arus di sisi hulu. Oleh karena itu, koordinasi relai proteksi perlu dioptimalkan. Relai proteksi yang umum digunakan adalah relai arus lebih dan relai gangguan tanah [3]. Jika arus yang mengalir melebihi *setpoint* [3], [4], relai arus lebih dan relai gangguan tanah akan menunjukkan pemutus arus untuk membuka.

Relai arus lebih bekerja saat gangguan antar fasa atau fasa ke netral, sedangkan relai gangguan tanah bekerja apabila terjadi gangguan fasa ke tanah[5]. Arus lebih umumnya timbul akibat terjadi hubungan singkat[4], [6], [7]. Permasalahan koordinasi relai proteksi dan rugi-rugi daya sudah sering terjadi[3]. Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut, misalnya dengan menggunakan metode *load flow analysis*[7]–[10].

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan koordinasi ulang sistem proteksi arus listrik yang ada di Gedung XYZ Mall menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1. Dengan simulasi yang dilakukan dapat dilakukan implementasi berupa pengaturan ulang perangkat relai dengan nilai yang didapatkan dari hasil simulasi[11], [12]. Keterbaruan dari penelitian ini adalah formasi parameter *setting* relai proteksi yang berasal dari luaran simulasi perangkat lunak.

METODOLOGI

Gangguan Arus Hubung Singkat

Peralatan listrik sering terganggu akibat terjadinya hubungan singkat pada fasa yang mengalami arus lebih. Arus hubung singkat ini dapat dibedakan dalam 2 model yaitu model seimbang maupun model tidak seimbang. Hubungan singkat seimbang terjadi dengan nilai yang sama besar antara fasa satu dengan yang lainnya. Pada hubung singkat seimbang ini, besar arus tiap fasa adalah sama dan terpisah sebesar 120° . Hubungan singkat tidak seimbang merupakan gangguan hubung singkat yang mengakibatkan magnitudo pada setiap fasanya tidaklah sama. Contoh hubung singkat ini yaitu hubung singkat dua fasa, hubung singkat dua fasa ke tanah dan hubung singkat satu fasa ke tanah. Hubungan singkat tidak seimbang membutuhkan komponen seimbang untuk mempresentasikan keadaan tidak seimbang menjadi keadaan seimbang. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi gangguan tersebut dilakukan analisis hubung singkat sebagai tahap awal untuk menanggulangi sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan. Perhitungan arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut :

Arus gangguan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan umum [13]:

$$I = \frac{V}{Z} \quad (1)$$

Keterangan :

I : Arus hubung singkat (Amp)

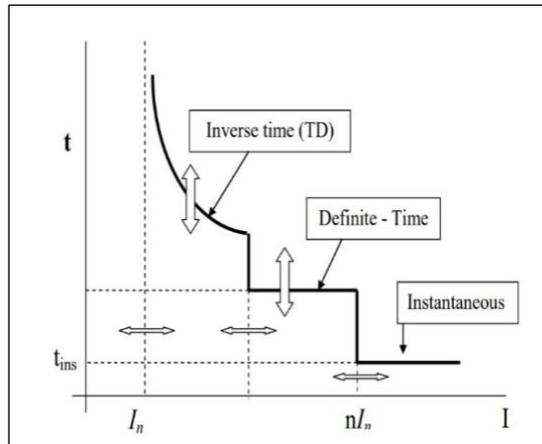
V : Tegangan Sumber (volt)

Z : Impedansi jaringan (ohm)

Relai Arus Lebih Waktu *Inverse*

Relai arus lebih waktu terbalik ini memiliki karakteristik operasi dimana waktu operasi berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Dapat diartikan bahwa semakin tinggi arus gangguan maka relai bekerja sangat cepat, dan sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi relai semakin lama. Kurva operasi relai arus lebih terbalik dijelaskan dalam kurva waktu-arus (TCC).

Standar untuk karakteristik invers ini dijelaskan dalam IEC 60255-3 dan *British Standard 142*, standar ini menjelaskan beberapa jenis proteksi waktu terbalik yang dibedakan berdasarkan gradien kurva, yaitu invers standar, dan ultra-invers. Sifat kurva invers ini disebut juga sebagai *inverse definit minimum time* (IDMT), karena dengan bertambahnya arus maka waktu operasi relai semakin cepat menurun, seolah-olah mendekati waktu minimum tertentu [3]. Relai dengan karakteristik kurva waktu pasti terbalik (IDMT) memiliki jenis kurva waktu tunda yang berbeda, yaitu kurva sesaat, waktu tetap, dan waktu terbalik. Kurva ditunjukkan pada gambar 1.



GAMBAR 1. Tipe kurva penundaan waktu relai IDMT.

Pada relai ini terdiri dari dua parameter bagian penyettingan yaitu pada *setting* arus *pickup* dan *seting time dial*. Adapun untuk menentukan nilai tap yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2)$$

dimana:

I_{set} = Arus *setting* aktual relai (Ampere)

Berdasarkan *British Standard 142*, batas penyetelan I_{set} diberikan dengan persamaan (3).

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA \quad (3)$$

dimana:

FLA = Full Load Ampere (Ampere)

I_{set} = Arus *setting* aktual relai (Ampere)

Sedangkan untuk *setting time dial* digunakan penentuan waktu kerja relai. Karakteristik waktu operasi relai *inverse* dapat dilihat pada persamaan (4).

$$t = \left[\frac{k}{\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} \right] \times \frac{TD}{\beta} \quad (4)$$

dimana:

t = Waktu operasi (detik)

I = Arus hubung singkat maksimum (Ampere)

I_{set} = Arus *setting* aktual relai (Ampere)

TD = Time Dial (detik)

α, β, k = koefisien *inverse*

Nilai dari α, β , dan k merupakan konstanta masing-masing karakteristik relai *inverse*, secara detail diberikan pada tabel 1.

Tabel 1 Koefisien *inverse time dial* [16]

No	Tipe Kurva	Koefisien		
		<i>k</i>	<i>α</i>	<i>b</i>
1	<i>Standart Inverse</i>	0,14	0,02	2,97
2	<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
3	<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0,808
4	<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

Relai Arus Lebih Waktu Instan

Relai arus lebih sesaat beroperasi tanpa penundaan, tetapi beroperasi dalam waktu tercepat 0,1 detik dan biasanya dalam waktu tercepat 0,08 detik. Karakteristik fungsional relai jenis ini didasarkan pada ukuran hubung singkat yang dipilih. Berbeda dengan relai arus lebih berjangka waktu, relai arus lebih sesaat trip secara bersamaan, meskipun arus hubung singkat bervariasi selama arus hubung singkat berada dalam rentang reset sesaat. Setidaknya arus hubung singkat 2 fasa digunakan untuk menentukan pengaturan penerimaan sesaat. Oleh karena itu, pengaturan ditentukan menurut persamaan (5), dan jumlah sadapan dihitung menggunakan persamaan (6). Sedangkan *setting time delay* dapat ditentukan berdasarkan IEEE 242 di mana waktu kerja relai sampai *circuit breaker* membuka adalah 0.2-0.4 detik [14], [15].

$$1.6 \times FLA < Iset < 0.8 \times Isc \quad (5)$$

dimana:

- FLA* = Full Load Ampere (Ampere)
- Isc* = Arus hubung singkat (Ampere)
- Iset* = Arus *setting* aktual relai (Ampere)

$$Tap = \frac{Iset}{CT \text{ primary}} \quad (6)$$

dimana:

- Iset* = Arus *setting* aktual relai (Ampere)

Relai Gangguan Tanah

Ground Fault Relay adalah proteksi terhadap hubung singkat di dalam tanah. Pada dasarnya relai gangguan bumi bekerja dengan prinsip yang sama dengan relai arus lebih, tetapi penggunaannya berbeda. Jika relai arus lebih mendeteksi hubung singkat antar fasa, relai gangguan tanah mendeteksi hubung singkat antara fasa dan bumi. *Setting* relai gangguan bumi dengan menggunakan persamaan (7).

$$5\% - 10\% \times Isc \text{ LG} < Iset < 50\% \times Isc \text{ LG} \quad (7)$$

dimana:

- Isc* = Arus hubung singkat (Ampere)
- LG* = Impedansi Grounding (Ohm)
- Iset* = Arus *setting* aktual relai (Ampere)

Data Relai Pada Gedung XYZ Mall

Data spesifikasi relai OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*) pada PUTM (Panel Utama Tegangan Menengah) dan PUTR (Panel Utama Tegangan Rendah) ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2. Data relai OCR (*Over Current Relay*) in dan out PUTM

No	Panel	Merk	Model	Arus	Karakteristik	CT
1	Relai OCR In & Out PUTM 1-5	Delab	DP-34	5 A	Standard Inverse	100/5A
2	Relai GFR In & Out PUTM 1-5	Delab	DP-34	5 A	Standard Inverse	100/5A
3	Relai OCR PUTR 1-5	Mun Hean	REA-200	5 A	Standard Inverse	4000/5A
4	Relai GFR PUTR 1-5	Mun Hean	REA-200	5 A	Standard Inverse	4000/5A

Sementara itu, relai yang terpasang pada panel tegangan menengah memiliki spesifikasi yang diberikan pada tabel 3. Besarnya *Time Overcurrent Pickup (Inverse) Pickup range* antara 0.05 sampai dengan 5 dikali rasio CT. Satuannya dihitung dalam detik dengan step relai besarnya 0.01.

TABEL 3. Spesifikasi relai pada PUTM

Parameter	Nilai
FLA Trafo 1	72,17 A
<i>I_{sc}</i> Min Main Bus1	14,089 kA
<i>I_{sc}</i> Max Main Bus1	16,268 kA
CT	100/5
Relai	Delab

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi hubung singkat pada ETAP sebagai analisis arus hubung singkat yang terjadi pada setiap busbar sistem kelistrikan perlu dilakukan untuk menemukan *setting* nilai relai arus lebih.

Hasil Hubung Singkat Maksimum

Hubung singkat terbesar terjadi pada saat pembangkitan berada pada nilai maksimumnya. Terjadinya hubung singkat 3 fasa digunakan sebagai nilai hubung singkat. Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat, nilai arus hubung singkat ditunjukkan pada tabel 4.

TABEL 4. Hasil simulasi hubung singkat maksimum pada ETAP 19.0.1

No	ID Busbar	Tegangan (kV)	<i>I_{sc}</i> 3 Fasa (kA)
1	Bus PLN 1	20	16,37
2	Main Bus 1	20	16,262
3	Bus Trafo 1	20	16,249
4	Bus Trafo 2	20	16,249
5	Bus Trafo 3	20	16,249
6	Bus Trafo 4	20	16,249
7	Bus Trafo 5	20	16,249
8	Bus Out Trafo 1	0,4	60,014
9	Bus Out Trafo 2	0,4	59,438
10	Bus Out Trafo 3	0,4	58,404
11	Bus Out Trafo 4	0,4	59,669
12	Bus Out Trafo 5	0,4	42,808
13	Bus PUTR 1	0,4	60,014
14	Bus PUTR 2	0,4	59,438
15	Bus PUTR 3	0,4	58,404
16	Bus PUTR 4	0,4	59,669
17	Bus PUTR 5	0,4	42,808

Hasil Hubung Singkat Minimum

Gangguan hubung singkat minimum terjadi ketika pembangkitan ada pada nilai minimum. Nilai arus hubung singkat yang digunakan adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke fasa atau antar fasa. Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat, nilai arus hubung singkat dapat dilihat pada tabel 5.

Hasil Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Nilai arus hubung singkat yang digunakan adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat, nilai arus hubung singkat dapat dilihat pada tabel 6.

Hasil Koordinasi Relai Arus Lebih

Relai arus lebih berfungsi dalam mengamankan gangguan arus lebih yang berupa beban lebih dan hubung singkat. Dalam fungsinya sebagai pengaman beban lebih perlu

dilakukan *setting* relai arus lebih waktu terbalik (*inverse*) dengan parameter *time overcurrent pickup (lowset)* dalam satuan ampere dan *time dial* dalam satuan detik. Sedangkan dalam fungsinya sebagai pengaman hubung singkat perlu dilakukan *setting* relai arus lebih waktu instan dengan parameter *instantaneous pickup (highset)* dalam satuan ampere dan *time delay* dalam satuan detik. *Setting* arus dan waktu pada masing-masing relai dilakukan agar setiap relai dapat bekerja sesuai dengan urutan dan tidak terjadi *overlap* di mana relai tidak akan bekerja secara bersamaan antara relai satu dengan relai lainnya.

TABEL 5. Hasil simulasi hubung singkat minimum

No	ID Busbar	Tegangan (kV)	I_{sc} ke Fasa (kA)
1	Bus PLN 1	20	14,177
2	Main Bus 1	20	14,083
3	Bus Trafo 1	20	14,072
4	Bus Trafo 2	20	14,072
5	Bus Trafo 3	20	14,072
6	Bus Trafo 4	20	14,072
7	Bus Trafo 5	20	14,072
8	Bus Out Trafo 1	0,4	51,645
9	Bus Out Trafo 2	0,4	51,474
10	Bus Out Trafo 3	0,4	50,578
11	Bus Out Trafo 4	0,4	51,674
12	Bus Out Trafo 5	0,4	37,072
13	Bus PUTR 1	0,4	51,973
14	Bus PUTR 2	0,4	51,475
15	Bus PUTR 3	0,4	50,579
16	Bus PUTR 4	0,4	51,675
17	Bus PUTR 5	0,4	37,072

TABEL 6. Hasil simulasi hubung singkat fasa ke tanah

No	ID Busbar	Tegangan (kV)	I_{sc} I ke Fasa (kA)
1	Bus PLN 1	20	16,207
2	Main Bus 1	20	16,044
3	Bus Trafo 1	20	16,016
4	Bus Trafo 2	20	16,016
5	Bus Trafo 3	20	16,016
6	Bus Trafo 4	20	16,016
7	Bus Trafo 5	20	16,016
8	Bus Out Trafo 1	0,4	58,803
9	Bus Out Trafo 2	0,4	58,433
10	Bus Out Trafo 3	0,4	57,761
11	Bus Out Trafo 4	0,4	58,582
12	Bus Out Trafo 5	0,4	43,580
13	Bus PUTR 1	0,4	58,803
14	Bus PUTR 2	0,4	58,433
15	Bus PUTR 3	0,4	57,761
16	Bus PUTR 4	0,4	58,582
17	Bus PUTR 5	0,4	43,580

Koordinasi relai arus lebih 1 yaitu dari sumber PLN menuju beban yang ada di PUTR 1. Saluran ini mempunyai level tegangan 20 kV dan 0.4 kV. Dari pemodelan *single line diagram* koordinasi relai arus lebih 1 di ETAP 19.0.1 dapat dilihat pada gambar 2. Berdasarkan persamaan (3), untuk mencari nilai *setting pickup Iset* primer dapat dihitung dengan yaitu:

$$1.05 \times \text{FLA Primer Trafo1} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Primer Trafo1}$$

$$1.05 \times 72,17 < I_{set} < 1.4 \times 72.17$$

$$75.7 < I_{set} < 101$$

Nilai aktual $I_{set} = 0.98 \times 100 = 98 \text{ A}$

Berdasarkan persamaan (2) dan persamaan (3), untuk mencari nilai *setting pickup Iset* sekunder dapat dicari dengan:

$$\frac{1.05 \times FLA}{CT \text{ primary}} < \text{tap} < \frac{1.4 \times FLA}{CT \text{ primary}}$$

$$\frac{1.05 \times 72.17}{100} \ln < \text{tap} < \frac{1.4 \times 72.17}{100} \ln$$

$$0.75 \ln < \text{tap} < 1.01 \ln$$

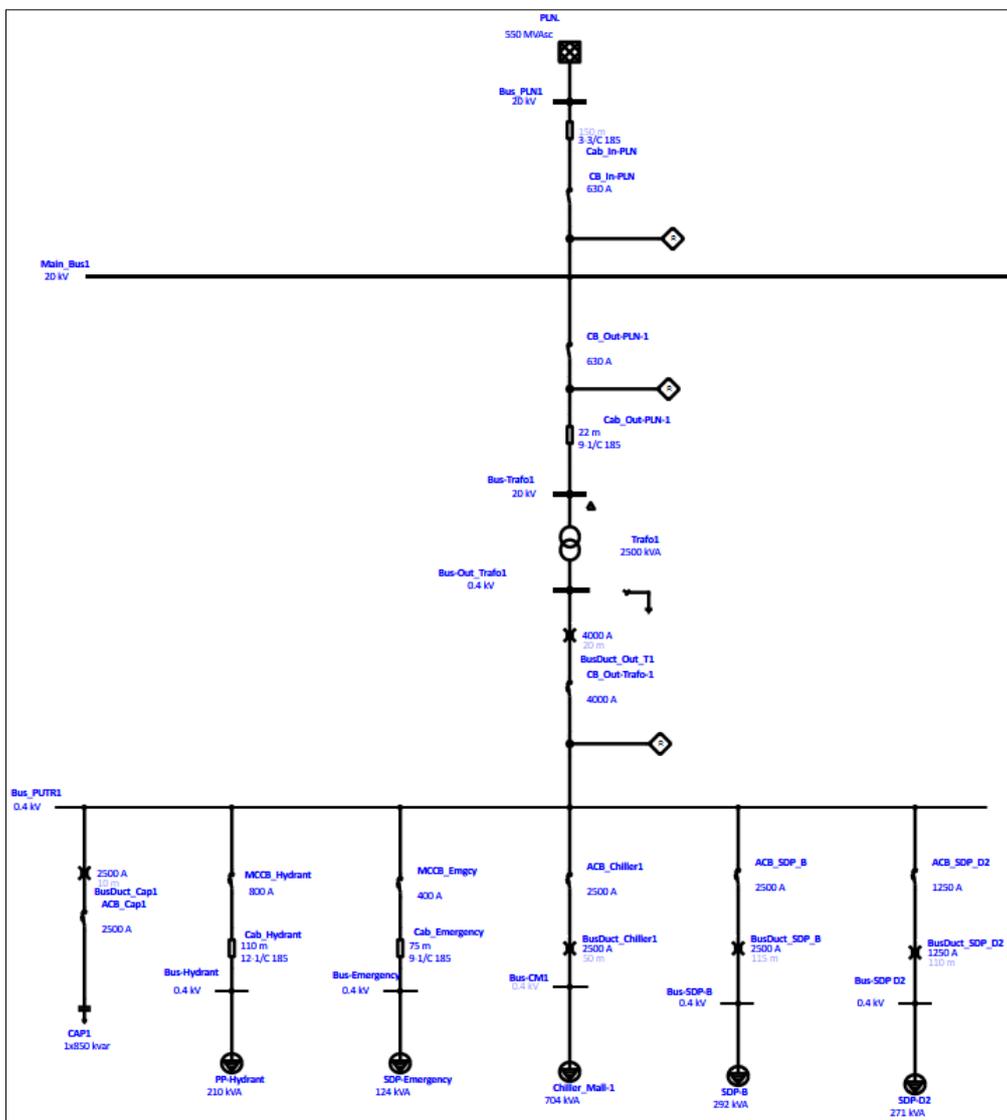
Jadi besarnya nilai Tap adalah 0.98 ln.

Untuk mencari besarnya *Time Dial* dapat menggunakan persamaan (4). Dalam hal ini dipilih waktu sebesar 1.1 detik, maka dengan perhitungan:

$$TD = \left[\frac{t \times 2,97 \left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0.14} \right]$$

$$TD = \left[\frac{1,1 \times 2,97 \left(\frac{16268}{98} \right)^{0,02} - 1}{0.14} \right]$$

akan didapatkan nilai TD sebesar 0.25.



GAMBAR 2. Koordinasi relai arus lebih PUTR 1

Bila diketahui jarak *pickup* antara 1-40 x CT detik dengan step 0,1, maka untuk mencari besarnya nilai *Instantaneous Pickup* dapat dipakai persamaan (5) yaitu:

$$1.6 \times FLA \text{ Primer Trafo1} < I_{SC} < 0.8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1.6 \times 72.17 < I_{SC} < 0.8 \times 14089$$

$$115.4 < I_{SC} < 11271$$

jadi nilai aktual $I_{SC} = 10.5 \times 100 = 1050 \text{ A}$.

Berdasarkan persamaan (6) dalam mencari nilai *setting pickup Iset sekunder* yaitu:

$$\frac{1.6 \times FLA}{CT \text{ primary}} < tap < \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min}}}{CT \text{ primary}}$$

$$\frac{1.6 \times 72.17}{100} \ln < tap < \frac{0.8 \times 14089}{100} \ln$$

$$1.15 \ln < tap < 112.7 \ln$$

$$Tap = 10.5 \ln.$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada setiap relai dan *low voltage circuit breaker*, maka dibuat Tabel 7 hasil perhitungan pada koordinasi relai arus lebih dengan *Time delay* sebesar 0.49 detik.

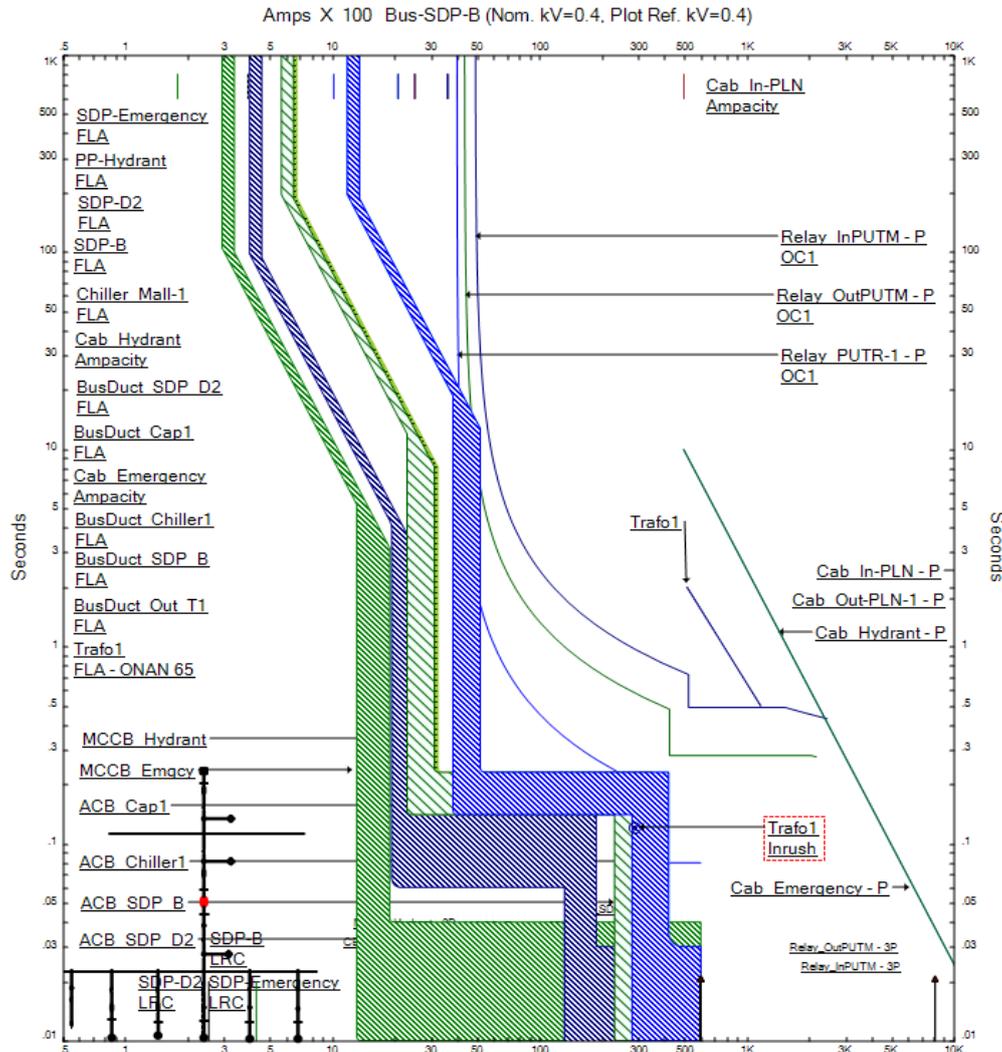
Tabel 7. Hasil *setting* relai arus lebih 1

No	ID Relai	CT Ratio (A)	Setting Relai Arus Lebih		
1	Relai In-PUTM	100/5	<i>Overcurrent</i>	Tap (Ampere)	0.98
				Iset (Ampere)	98
				Time dial (s)	0.25
			<i>Instantaneous</i>	Tap (Ampere)	10.5
				Iset (Ampere)	1050
				Time delay (s)	0.49
2	Relai Out-PUTM 1	100 / 5	<i>Overcurrent</i>	Tap (Ampere)	0.87
				Iset (Ampere)	87
				Time dial (s)	0.16
			<i>Instantaneous</i>	Tap (Ampere)	8.5
				Iset (Ampere)	850
				Time delay (s)	0.28
3	Relai PUTR 1	4000 / 5	<i>Overcurrent</i>	Tap (Ampere)	1
				Iset (Ampere)	4000
				Time dial (s)	0,06
			<i>Instantaneous</i>	Tap (Ampere)	9
				Iset (Ampere)	36000
				Time delay (s)	0.08
4	MCCB PP Hydrant	400	<i>Long time</i>	Tap (Ampere)	0.95
			<i>Short time</i>	Tap (Ampere)	6
			Time delay (s)	0,1	
5	MCCB SDP Emergency	280	<i>Long time</i>	Tap (Ampere)	1
			<i>Short time</i>	Tap (Ampere)	6
			Time delay (s)	0.1	
6	ACB Chiller Mall 1	1250	<i>Long time</i>	Tap (Ampere)	0.9
			<i>Short time</i>	Tap (Ampere)	4
			Time delay (s)	0.2	
7	ACB SDP B	625	<i>Long time</i>	Tap (Ampere)	0.9
			<i>Short time</i>	Tap (Ampere)	5
			Time delay (s)	0.2	
8	ACB SDP D2	600	<i>Long time</i>	Tap (Ampere)	0.9
			<i>Short time</i>	Tap (Ampere)	5
			Time delay (s)	0.2	

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 6 maka dibuat plot kurva koordinasi pengaman pada *software* ETAP 19.0.1. Hasil dari plot kurva koordinasi relai arus lebih dapat dilihat pada gambar 3.

Dari hasil plot kurva koordinasi relai arus lebih pada gambar 3 dapat dianalisis bahwa untuk *setting* relai arus lebih sudah memenuhi kondisi baik dan aman, di mana nilai

pick-up dari ketiga relai dalam batas tap perhitungan. Selain itu pada plot kurva tersebut posisi setiap relai terletak di sebelah kanan titik *inrush* trafo, titik *inrush* trafo menunjukkan kondisi saat trafo sedang *energizing*. Kurva relai juga berada di sebelah kiri garis *damage curve* trafo, garis *damage curve* trafo menunjukkan kondisi saat trafo sudah mengalami kerusakan. Selain relai terdapat proteksi arus lebih yang lain yaitu *low voltage circuit breaker* yang mengamankan daerah bus pada panel-panel distribusi pada PUTR (Panel Utama Tegangan Rendah). Relai arus lebih pada *low voltage circuit breaker* ini akan bekerja terlebih dahulu pada saat terjadi gangguan di daerah panel distribusi.



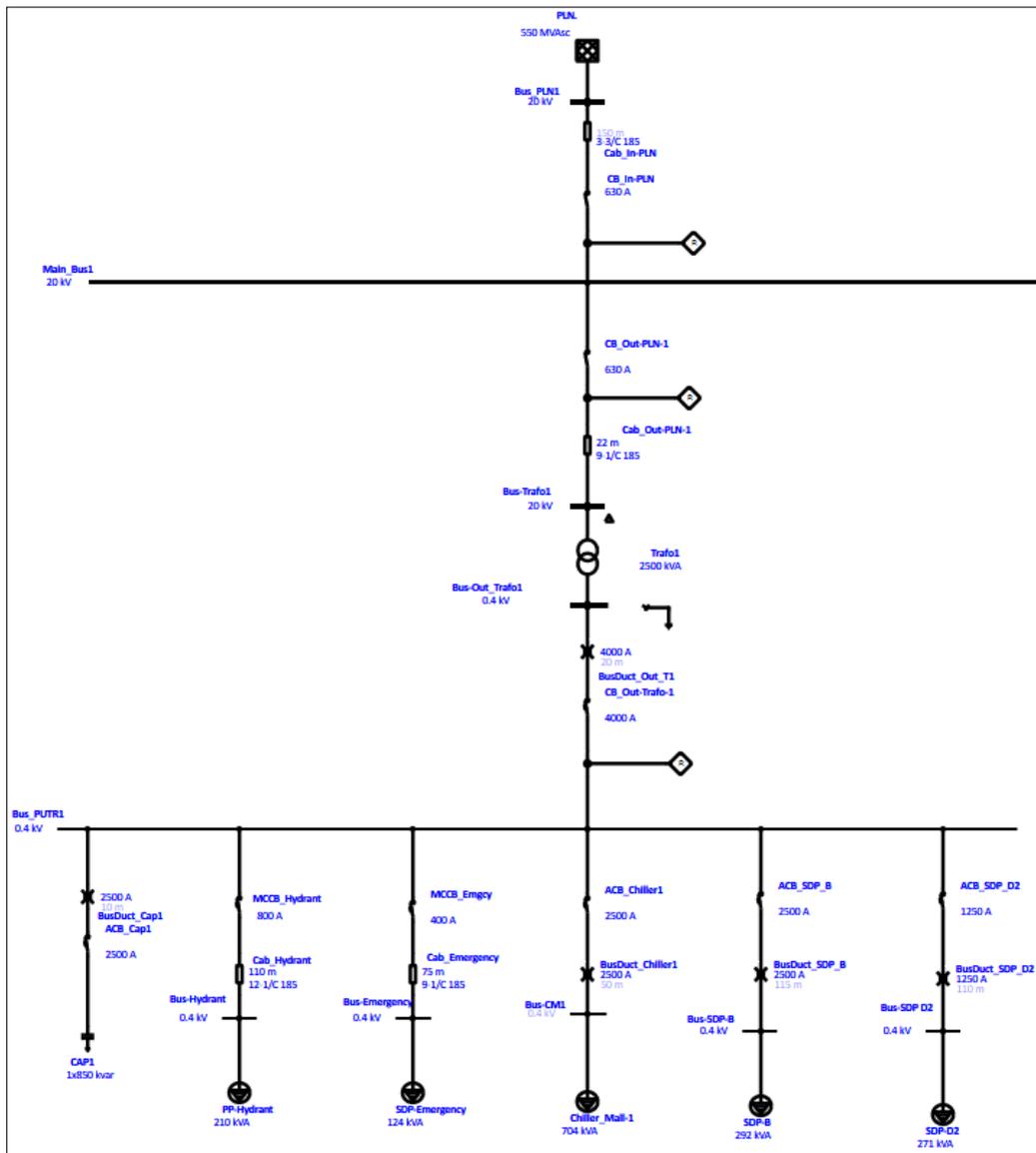
GAMBAR 3. Plot kurva koordinasi relai arus lebih PUTR 1.

Hasil Koordinasi Relai Gangguan Tanah

Relai arus lebih gangguan ke tanah digunakan dalam pengamanan gangguan hubung singkat antara fasa ke tanah. Parameter yang mempengaruhi *setting* koordinasi arus lebih gangguan ke tanah dipengaruhi oleh arus *pick-up* dan *time delay*.

Koordinasi relai gangguan tanah 1 yaitu dari sumber PLN menuju beban yang ada di PUTR 1. Saluran ini mempunyai level tegangan 20 kV dan 0.4 kV. Dari pemodelan *single line diagram* koordinasi relai gangguan tanah 1 di ETAP 19.0.1 dapat dilihat pada gambar 4.

Berdasarkan persamaan (4) dalam mencari nilai *setting pick-up* Iset primer didapatkan nilai tab sebesar 20 In dengan *time delay* 0,8 detik. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada setiap relai dan *low voltage circuit breaker*, maka dibuat Tabel 8 hasil perhitungan pada koordinasi relai gangguan tanah 1.

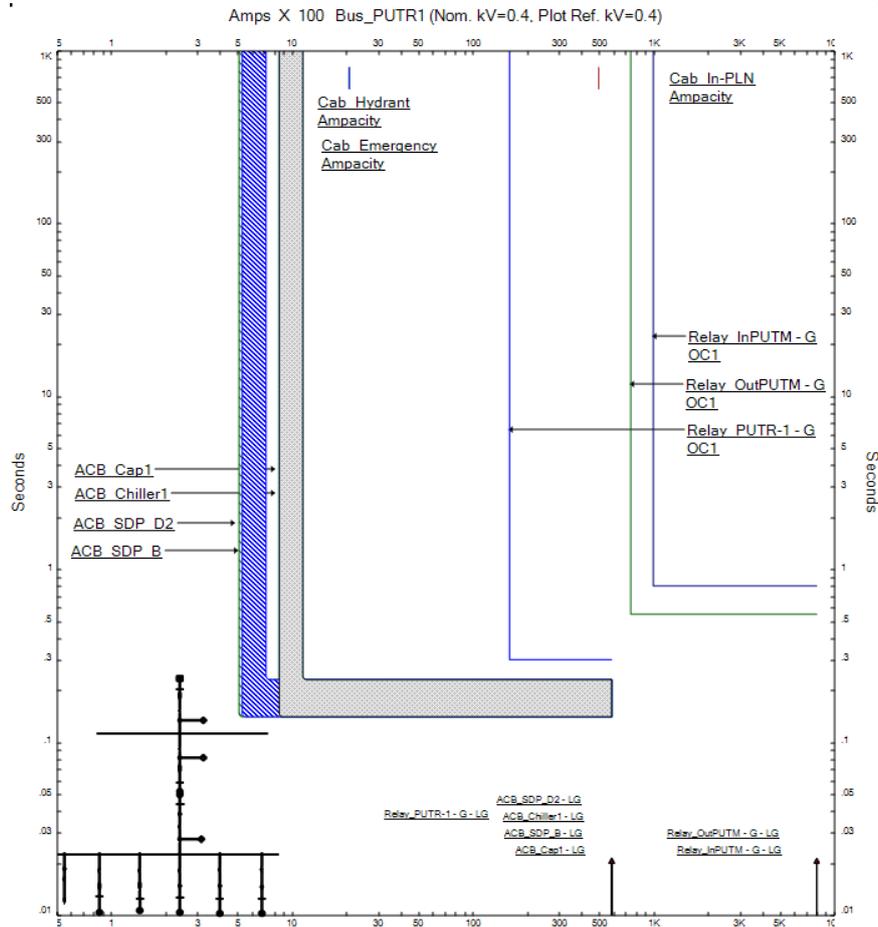


GAMBAR 4. Koordinasi relai gangguan tanah PUTR 1.

TABEL 8. Hasil setting relai gangguan tanah 1

No	ID Relai	CT Ratio (A)	Setting Relai Gangguan Tanah	
1	Relai In-PUTM	100/5	Tap (Ampere)	20
			Iset (Ampere)	2000
			Time dial (s)	0.8
2	Relai Out-PUTM	100/5	Tap (Ampere)	15
			Iset (Ampere)	1500
			Time dial (s)	0.55
3	Relai PUTR 1	4000/5	Tap (Ampere)	16000
			Iset (Ampere)	4
			Time dial (s)	0.3
4	ACB Chiller Mall 1	2500	Tap (Ampere)	0.4
			Iset (Ampere)	1000
			Time delay (s)	0.2
5	ACB SDP B	1600	Tap (Ampere)	0.5
			Iset (Ampere)	800
			Time delay (s)	0.2
6	ACB SDP D2	1200	Tap (Ampere)	0.5
			Iset (Ampere)	600
			Time delay (s)	0.2

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 7 maka dibuat plot kurva koordinasi pengaman pada *software* ETAP 19.0.1. Hasil dari plot koordinasi relai pengaman gangguan tanah dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Plot kurva koordinasi relai gangguan tanah PUTR 1.

Dari hasil plot kurva koordinasi relai gangguan tanah pada gambar 5 dapat dianalisis bahwa *setting* relai gangguan tanah sudah memenuhi kondisi baik dan aman, di mana nilai *pickup* dari ketiga relai dan ACB (*Air Circuit Breaker*) dipilih sesuai dengan batasan dan *range* relai. Sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah dapat di atasi dengan baik.

KESIMPULAN

Setting koordinasi relai arus lebih pada penelitian ini sudah aman dan baik karena kurva plot arus terhadap waktu pada setiap relai tidak saling tumpang tindih, relai arus lebih sudah berada dalam batas titik *inrush*, *damage curve* trafo dan arus beban penuh. Pada plot hasil analisis kurva pengaman dari masing masing *circuit breaker* distribusi terdapat plot bersinggungan dikarenakan plot kurva secara bersamaan dengan semua *circuit breaker* pada *outgoing* Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR). *Setting* koordinasi relai gangguan tanah dipengaruhi oleh nilai arus hubung singkat fasa ke tanah karena pada sistem pentanahan menggunakan *solid grounding*. Pada hasil plot kurva relai gangguan tanah tidak saling tumpang tindih sehingga koordinasi setiap relai sudah aman, dengan *setting time delay* sesuai standar 0.2 sampai dengan 0.4 detik. Dengan nilai *setting ini* telah didapatkan serta hasil simulasi dan plot relai telah membuktikan bahwa koordinasi pada masing-masing relai sudah bekerja sesuai dengan standar yang ada dan dapat mengamankan peralatan secepat mungkin. Sehingga bias dijadikan bahan pertimbangan sebagai referensi dalam melakukan *setting* relai pada Gedung XYZ Mall.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada TangCity Mall yang telah memberikan tempat untuk melakukan penelitian sehingga data-data dapat kami peroleh dengan baik. Tak lupa kami ucapkan kepada Universitas Nasional yang telah memberikan fasilitas penelitian.

REFERENSI

- [1] Balai Besar Teknologi Konversi Energi B2TKE-BPPT, "Benchmarking Specific Energy Consumption Di Bangunan Komersial," 2020, [Online]. Available: www.b2tke.bppt.go.id.
- [2] R. Ruliyanta, R. A. Suwodjo Kusumoputro, R. Nugroho, and E. R. Nugroho, "A Novel Green Building Energy Consumption Intensity: Study in Inalum Green Building," pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/tensymp54529.2022.9864532.
- [3] S. Soewono and E. Noprianti, "Analysis of Over Current Relay and Ground Fault Relay Protection System in Sub-Station Sp-2 Tanah Miring Using Relay...," *IJISCS (International J.,* pp. 89–97, 2020, [Online]. Available: <http://ojs.stmikpringsewu.ac.id/index.php/ijiscs/article/view/903>.
- [4] M. A. Ullah, A. Qaiser, Q. Saeed, A. R. Abbasi, I. Ahmed, and A. Q. Soomro, "Load flow, voltage stability & short circuit analyses and remedies for a 1240 MW combined cycle power plant using ETAP," *ICIEECT 2017 - Int. Conf. Innov. Electr. Eng. Comput. Technol. 2017, Proc.*, no. April, 2017, doi: 10.1109/ICIEECT.2017.79165+68.
- [5] R. Ruliyanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat," *J. Ilm. Giga*, vol. 23, no. 1, p. 27, 2020, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [6] A. S. Tukiman, Khairul Handono, "Analisis arus hubung singkat pada sistem catu daya listrik iradiator gamma," vol. 1, pp. 1–9, 2017.
- [7] S. S. Shrawane *et al.*, "Simulation and Load Flow Analysis of Interconnection System," *IEEE Access*, vol. 8, no. 1, pp. 114–121, 2018, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [8] M. D. El Hakim *et al.*, "Optimum location for PV implementation based on load-flow analysis using Newton-raphson method for lombok electrical network," *2nd IEEE Int. Conf. Innov. Res. Dev. ICIRD 2019*, pp. 0–4, 2019, doi: 10.1109/ICIRD47319.2019.9074728.
- [9] Ruliyanta, A. Keraf, I. Kusuma, and R. . Suwodjo Kusumoputro, "Load Flow Analysis Capacitor Bank dengan Metode Kompensasi Individu dan Kompensasi Global," *J. Ilm. GIGA*, vol. 24, no. 1, pp. 22–23, 2021.
- [10] A. M. Eltamaly, A. N. A. Elghaffar, and A. Ahmed, "Optimum Power Flow Analysis By Newton Raphson," *Ann. Fac. Eng. Hunedoara – Int. J. Eng. Tome XVI [2018]*, no. December, 2018.
- [11] T. Koerniawan and A. W. Hasanah, "Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT-PLN Jakarta," *Kilat*, vol. 8, no. 2, pp. 180–189, 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.547.
- [12] I. Handayani, "Analisis Aliran Daya Dan Gangguan Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa V Di Pt Semen Tonasa Menggunakan Etap," *Jur. Tek. Fak. Tek. Univ. Hasanuddin*, pp. 8–138, 2012.
- [13] Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power system analysis*. McGraw-Hill.
- [14] N. Nursalim, A. S. Sampeallo, and A. P. . Willi, "Analisis Koordinasi Dan Setting Over Current Relay (Ocr) Pada Pemakaian Daya Sendiri Pltu Sms Energy Menggunakan Software Etap 12.6.0," *J. Media Elektro*, vol. VIII, no. 2, pp. 100–109, 2019, doi: 10.35508/jme.v0i0.1884.
- [15] F. O. Suryaadmaja, S. Handoko, and B. Winardi, "Evaluasi Koordinasi Setting Relay Proteksi OCR Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV PT Apac Inti Corpora Semarang dengan ETAP 12.6. 0," *Transient*, vol. 5, no. 3, pp. 279–286, 2017.
- [16] Agung Prasetyo, , Rusda, Masing, Analisis Kinerja Relai Arus Lebih pada PLTU Embalut PT. Cahaya Fajar Kaltim Unit 1×60 MW dengan Simulasi, *SINERGI 2019, Volume 17 (2): 123-138*.