

STUDI KOORDINASI RELAI ARUS LEBIH PADA SISTEM PROTEKSI GENERATOR DAN TRANSFORMATOR PLTA BAKARU

Abd Rahim
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
abdulrahim199911@gmail.com

Indar Chaerah Gunadin
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
indar@eng.unhas.ac.id

Yustinus Upa Sombolayuk
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
sombolayuk@unhas.ac.id

Abstrak- Saat ini kebutuhan masyarakat akan ketersediaan listrik sangatlah penting. Oleh karena itu, negara berkewajiban untuk memenuhi ketersediaan listrik bagi masyarakat dengan cara membangun pembangkit yang handal agar dapat memasok kebutuhan listrik dengan baik. Seiring berjalannya waktu, peningkatan beban sistem tentunya akan mempengaruhi tingkat keandalan perangkat proteksi. Oleh karena itu, peralatan proteksi harus diperbarui di beberapa titik untuk memiliki sistem proteksi dengan keandalan tinggi. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan settingan dan koordinasi relai arus lebih yang tepat pada sistem kelistrikan khususnya generator dan transformator PLTA Bakar. Berdasarkan hasil dari plot kurva relai arus lebih pada generator dan transformator masih terdapat kekurangan yaitu mengalami overlap, untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan adanya resetting. Setelah dilakukan resetting, plot kurva relai arus lebih pada generator dan transformator sudah tidak mengalami overlap. Hasil simulasi menggunakan software setelah dilakukan resetting menunjukkan bahwa koordinasi antara relai arus lebih pada generator dan transformator utama serta beban pemakaian sendiri PLTA Bakar sudah bekerja dengan baik, dimana ketika terjadi gangguan di dalam zona transformator utama maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai yang paling dekat dengan gangguan disebut relai pertama.

Kata Kunci—PLTA, Sistem proteksi, Keandalan, Koordinasi, Rele arus lebih.

I. PENDAHULUAN

Catu daya harus kontinu pada jaringan listrik perusahaan pembangkit listrik. Hal ini diperlukan agar aliran listrik ke konsumen tidak terganggu dan konsumen dapat mengalirkan listrik sesuai kebutuhan. [1]

Keandalan sistem kelistrikan ditunjukkan ketika terjadi gangguan yang dapat mengganggu penyaluran energi listrik ke konsumen. Dalam suatu sistem kelistrikan tidak mungkin bebas dari gangguan. Gangguan dapat terjadi pada pembangkitan, transmisi dan distribusi tenaga listrik. Contohnya adalah kerusakan pada generator. Generator merupakan komponen yang sangat penting dalam pembangkitan energi listrik. Jika terjadi gangguan pada genset maka akan mengganggu proses produksi energi listrik dan dapat merusak genset itu sendiri. Selain gangguan pada generator, transformator daya juga mengalami salah satu gangguan tersebut. [2]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah metode pembangkit listrik yang menggunakan turbin air untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, kemudian menggunakan tinggi dan kecepatan aliran air untuk mengubah energi listrik menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Potensi harus menggambarkan ukuran pembangkit listrik yang akan dikembangkan dengan site plan yang konkrit. Berdasarkan sifat dan proses/mekanisme pembangkit listrik tenaga air, proses pembangkitan tenaga listrik didasarkan pada 2 (dua) komponen utama. Kedua komponen tersebut adalah: Pergerakan air dan ketinggian jatuh. [3]

B. Generator

Generator sinkron (sering disebut sebagai alternator) adalah motor AC yang menghasilkan tegangan AC dan bekerja dengan mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Perubahan energi ini disebabkan oleh gerakan relatif antara medan magnet dan belitan generator. Gerakan relatif muncul karena pergerakan medan magnet ke arah kumparan jangkar atau sebaliknya, medan magnet kumparan jangkar berubah (melalui mana tegangan disuplai ke generator). Jenis alternator ini disebut alternator sinkron karena medan yang dihasilkannya berputar dengan kecepatan yang sama dengan rotor alternator. Alternator menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan umumnya digunakan untuk menghasilkan daya AC satu atau tiga fasa. [4]

C. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Fungsi proteksi adalah untuk melindungi alat atau mesin yang digunakan dalam sistem kelistrikan, terutama terhadap arus gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan pada alat tersebut. Sistem proteksi juga harus mampu menjaga keandalan sistem dan kualitas penyaluran tenaga listrik pada bagian yang tidak terputus. [5]

Prinsip dasar sistem proteksi adalah memproteksi sistem kelistrikan terhadap gangguan yang terjadi pada sistem dengan cara mengisolasi gangguan tersebut secara cepat dan akurat dari sistem lain. Karakteristik sistem proteksi adalah cepat, sensitif, selektif, dan andal. [6]

$$t = TMS \times \frac{K}{\left(\frac{If}{Is}\right)^E - 1} \quad (2.4)$$

D. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Alasan tidak berfungsinya sistem kelistrikan adalah karena arus yang mengalir melalui lokasi gangguan lebih besar dari kapasitas penginderaan arus maksimum yang diperbolehkan, yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan akibat pemanasan.

Hubung Singkat 3 Fasa

Adanya hubung singkat simetris tiga fasa meningkatkan arus generator. Isolasi akan terbakar karena kelebihan arus, yang dapat merusak motor. Besarnya arus gangguan ini tidak hanya dipengaruhi oleh besar kecilnya reaktansi-reaktansi generator, tetapi juga oleh impedansi sistem kelistrikan yang dapat dihitung dengan rumus berikut. :

$$I_{hs} = E_a / (Z_1 + Z_f) \quad (2.1)$$

Hubung Singkat 2 Fasa

Arus hubung singkat antar fase tanpa pembumian dapat dihitung menggunakan rumus:

$$I_{hs} = (\sqrt{3} E_a) / (Z_1 + Z_2) \quad (2.2)$$

Hubung Singkat Satu Fasa Dengan Tanah

Gangguan ini disebabkan oleh fasa sistem kelistrikan yang korsleting ke tanah . Dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$I_{hs} = 3E_a / (Z_1 + Z_2 + Z_0) \quad (2.3)$$

Keterangan:

I_{hs} = Arus gangguan

E_a = Tegangan fasa netral

Z₀ = Impedansi urutan nol

Z₁ = Impedansi urutan positif

Z₂ = Impedansi urutan negatif

Z_f = Impedansi gangguan

Relai Arus Lebih

Relai arus lebih adalah seperangkat relai pengaman yang dapat merespons lonjakan arus yang melebihi level arus yang telah ditentukan sebelumnya dalam rangkaian yang dilindungi. Relai arus lebih adalah relai tindakan yang menargetkan arus lebih dan mengoperasikan relai itu ketika arus melebihi ambang batas. Ambang batas adalah arus yang diatur di bawah mana relai tidak boleh beroperasi dan di atasnya harus beroperasi. [7]

Prinsip kerja relai arus lebih ini bekerja dengan arus lebih, relai merespon ketika arus melebihi nilai yang ditetapkan (I_s) [8]

Konstanta Karakteristik Setting waktu relai sesuai standar PLN 2005 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Konstanta Karakteristik Setting waktu Standar PLN 2005

No	Deskripsi	K	E	C
1	<i>Definite time</i>			0-100
2	<i>Standar inverse</i>	0,14	0,02	0
3	<i>Very inverse</i>	13,5	1	0
4	<i>Extremely inverse</i>	80	2	0

Maka setting waktu kerja pada relai arus lebih dapat menggunakan rumus pada persamaan 2.4 berikut:

t = waktu operasi

T_{ms} = setting waktu agar relai beroperasi

E dan K = konstanta (pada tabel 2.1)

I_f (fault) = arus gangguan

I_s = arus setting

E. Proteksi Generator

Untuk menjelaskan bentuk dan keadaan gangguan yang ada pada generator, maka perlu diketahui bahwa generator pada pembangkit mempunyai fungsi menghasilkan energi listrik. Untuk melakukan fungsinya akan sangat mungkin terjadi gangguan dari luar ataupun dari bagian dalam generator. Kemungkinan kesalahan pada generator dapat disebabkan oleh hubung singkat antar fasa, hubung singkat fasa ke ground, hubung singkat terbalik satu fasa, hubung singkat dari kumparan rotor ke pembumian, kelebihan beban, panas berlebih pada kumparan, medan penguat, atau dapat terjadi karena hanya satu fasa bekerja di genset [9]

F. Penggunaan Software ETAP

Software ETAP (Electric Transient and Analysis Program) adalah *software* untuk mendukung penyelesaian masalah sistem kelistrikan. ETAP adalah alat analisis paling komprehensif untuk desain dan pengujian instalasi listrik. Perangkat ini dapat bekerja secara offline dan online. Kondisi offline dapat digunakan untuk berbagai simulasi kelistrikan. Ketika istilah jaringan digunakan untuk manajemen data real-time atau kontrol sistem secara real-time. Menggunakan modul simulasi offline standar, ETAP dapat menggunakan data penggunaan waktu nyata untuk pemantauan lanjutan, simulasi waktu nyata, pengoptimalan, sistem manajemen energi, dan pengisian cepat. [10]

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2022 hingga Desember 2022 di PLTA Bakaru Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Karena PLTA Bakaru merupakan pembangkit yang diharapkan mampu menyediakan listrik untuk sistem interkoneksi 150 kV di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat dengan sangat handal. .

B. Metode Penelitian

Metode penelitian yang di lakukan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur

Metode penelitian melibatkan telaah penulis terhadap referensi yang ada dengan menggunakan buku, jurnal, internet dan sumber pustaka lainnya, serta informasi lain yang dapat membantu dalam penulisan laporan penelitian ini.

2. Pengambilan Data

Data tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai penunjang dari penelitian yang akan dilakukan.

3. Pemodelan

Pemodelan PLTA Bakaru sebagai diagram satu garis dengan *software* ETAP 19.0.1. Pemodelan ini digunakan untuk mendapatkan *load flow* dan besarnya arus hubung gangguan.

4. Simulasi

Simulasi yang dilakukan berupa aliran daya dan hubung singkat

5. Analisis Data

Analisis ini dilakukan dengan melakukan perhitungan *low set*, *setting time overcurrent pickup*, dan *plot time current curve*.

6. Kesimpulan

Setelah menganalisis data, bisa ditarik konklusi yg adalah jawaban berdasarkan permasalahan.

C. Metode Pengambilan Data

Data penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari PLTA Bakaru. Adapun data yang akan dikumpulkan adalah data generator, data transformator, data setting rele arus lebih, data hasil pengujian rele arus lebih, data beban terkirim dan pemakaian sendiri, serta data single line diagram PLTA Bakaru.

D. Metode Analisis Data

Pada penelitian ini analisis data dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif. Sehingga untuk menentukan indikator data seperti impedansi, arus hubung singkat, arus nominal. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai yang sesuai atau tidak dengan hasil pengujian di lapangan, jika hasilnya sesuai maka selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP. Apabila hasil yang didapatkan belum sesuai maka dilakukan perhitungan ulang dengan parameter yang berbeda.

E. Kerangka Konsep Penelitian

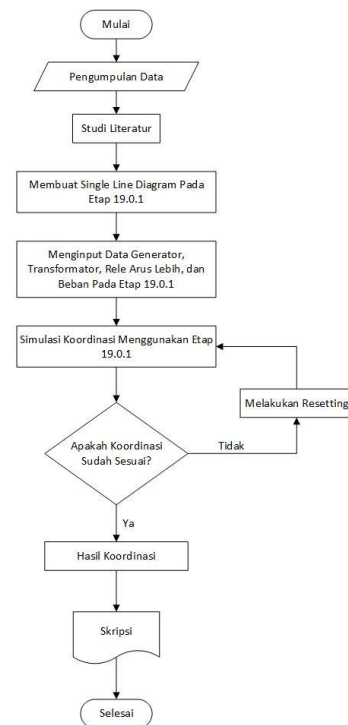
Kerangka konsep menjelaskan hubungan antar variabel sebab, variabel antara sampai pada variabel akibat yang diteliti. Oleh karena itu, penelitian ini membahas variabel arus lebih yang dapat timbul pada sistim daya listrik yang dapat menyebabkan bekerjanya pemutus daya (*Circuit Breaker*) sehingga aliran daya listrik menjadi terputus. Hubungan variabel-variabel tersebut dinyatakan dalam Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Kerangka Konsep Peneliitian

No	Variabel Sebab	Variabel Antara		Variabel Akibat
1	V (Tegangan) I (Arus)	Hubung Singkat (Z Mendekati Nol) Dalam Trafo	Waktu Kerja Relai (s)	Arus Relai Meningkat Besar (CB Trip)
2	V (Tegangan) I (Arus)	Hubung Singkat (Z Mendekati Nol) Pada Beban PS	Waktu Kerja Relai (s)	Arus Relai Meningkat Besar (CB Trip)

F. Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ini digambarkan dalam diagram alur (*Flowchart*) pada gambar 3.1 berikut:

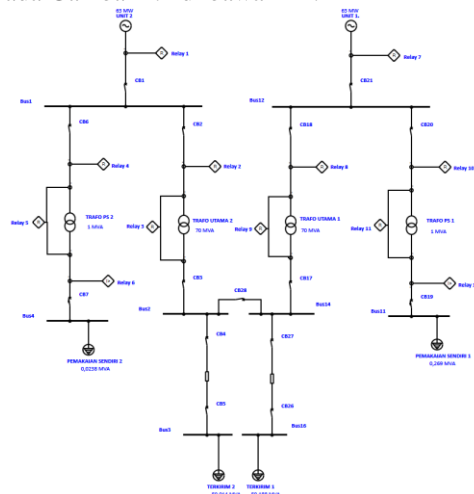


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Single Line Diagram

Langkah pertama adalah mengumpulkan data yang mencakup trafo, generator, bus, beban yang didukung, dan konfigurasi relai yang ada. Untuk memodelkan diagram satu garis PLTA Bakaru yang mewakili suatu zona tertentu, dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4.1 Pemodelan Single Line Diagram PLTA Bakaru

B. Pemilihan Zona Koordinasi

Menganalisis sistem proteksi energi PLTA Bakaru, khususnya generator dan trafo, perlu dipilih zona-zona yang bekerja. Cakupan digunakan untuk referensi dalam pengaturan koordinasi keamanan lainnya.

1. Koordinasi zona 1, yaitu Proteksi dari trafo utama ke generator. Pemilihan zona ini dimaksudkan untuk

merepresentasikan proteksi trafo step up 150 kV agar proses transmisi energi listrik dapat tersalurkan dengan baik.

2. Koordinasi zona 2, yaitu. perlindungan terhadap konsumsi sendiri di atas rel. Zona ini merupakan jalur dari pembangkit ke beban PLTA Bakaru terdekat. Pilihan khas ini dimaksudkan untuk mewakili perlindungan trafo step-down 0,38kV. .

C. Koordinasi Relai Arus Lebih Gangguan Fasa

Saat mengoordinasikan relai arus lebih gangguan fasa, pengaturan arus dan waktu dibuat untuk setiap relai sehingga satu relai dan relai lainnya beroperasi sebagaimana mestinya. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi interferensi dari interferensi dari perangkat lain. Berdasarkan hasil survei, diasumsikan tidak ada relai yang beroperasi secara bersamaan atau tumpang tindih.

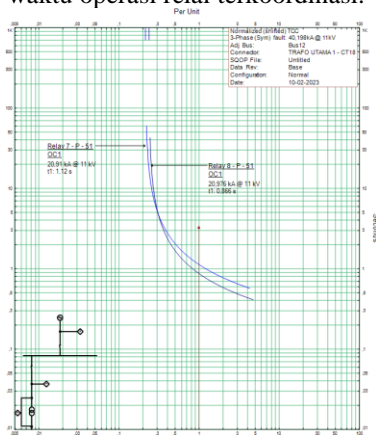
Koordinasi Relai Arus Lebih Zona 1

Perlu dicatat bahwa konfigurasi relai akan memengaruhi siklus tugasnya jika terjadi kesalahan. Untuk menggambarkan kurva operasi relai arus lebih diperlukan informasi tentang setting relai yang dipasang pada sistem kelistrikan. Informasi yang ada tentang sakelar pengaman dalam koordinasi Zona 1 ditunjukkan pada Tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Data Relai Existing Zona 1

No	Relai ID dan Model	CT Ratio	Setting
1	Rele 7 dan 1 GE Multilin/G60 IEC Curve A	5000/5	Pickup 0,9
			Amp Range 4,5 - 4500
			Time Dial 0,25
2	Rele 8 dan 2 GE Multilin/T60 IEC Curve A	5000/5	Pickup 1
			Amp Range 5 - 5000
			Time Dial 0,18
3	Rele 9 dan 3 GE Multilin/T60 Differential	CT 1 = 5000/5 CT 2 = 400/5	Operation Time 0,02 s

Informasi di atas kemudian dimasukkan ke editor relai untuk menghasilkan hasil grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dengan menggunakan hasil diagram, kita dapat menganalisis waktu operasi relai terkoordinasi.



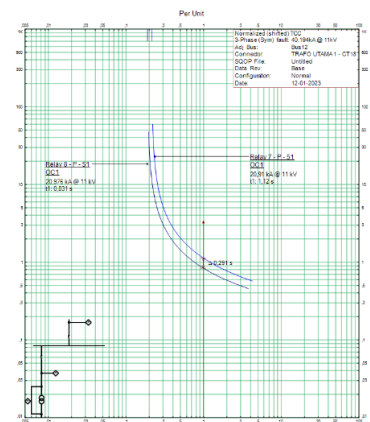
Gambar 4.2 Hasil Plot setelah relai existing zona 1 unit 1

Pada gambar 4.2 dapat dianalisis masih terdapat kekurangan, relai 7 merupakan backup dari relai 8 ketika terjadi gangguan di sekitar transformator utama pada unit 1.

Dapat dilihat pada gambar 4.2 di atas relai 7 dan relai 8 saling tumpang tindih sehingga dapat mengganggu koordinasi relai tersebut dan jika terjadi gangguan maka akan ada kondisi dimana kedua relai tersebut bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu, perlu diatur ulang agar sistem dapat berjalan dengan lancar. Pemilihan nilai dan pemilihan waktu harus diperhatikan untuk melindungi peralatan dengan baik dari interferensi.

Sistem Resetting Koordinasi Relai Pengaman Zona 1

Setelah melakukan perhitungan ulang. Bahwa pada gambar 4.3, dari hasil resetting dapat dilihat bahwa kurva tidak lagi saling tumpang tindih, hasil tersebut menunjukkan bahwa koordinasi relai sudah dapat bekerja dengan baik. Pada gambar 4.3 ketika terjadi gangguan di dalam transformator maka relai 8 akan bekerja sebagai proteksi utama (*main protection*), apabila relai 8 gagal bekerja maka relai 7 akan berperan sebagai proteksi penyanggah (*backup protection*).



Gambar 4.3 Hasil Plot Relai Resetting zona 1 unit 1

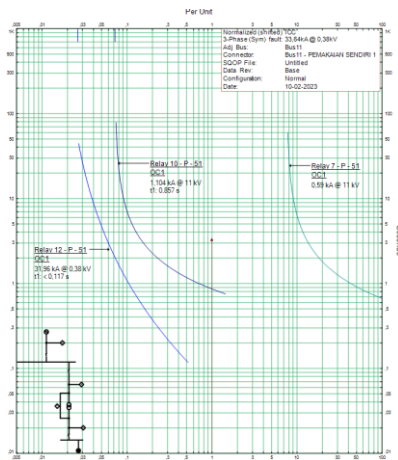
Koordinasi Rele Arus Lebih Zona 2

Perlu dicatat bahwa konfigurasi relai akan memengaruhi siklus tugasnya jika terjadi kesalahan. Zona 2 memiliki trafo step-down 0,38 kV. Saluran ini adalah jalur ke beban internal PLTA Bakaru dengan tegangan 0,38 kV. Untuk menggambarkan kurva operasi relai arus lebih diperlukan informasi tentang setting relai yang dipasang pada sistem kelistrikan. Informasi koordinasi relai pengaman zona 2 ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Relai Existing Zona 2

No	Relai ID & Model	CT Rasio	Setting
1	Relai 10 dan 4 GE Multilin / T60 IEC Curve A	200/5	Pickup 0,4
			Amp range 2 - 80
			Time dial 0,33
2	Relai 12 dan 6 GE Multilin / T60 IAC Extremely Inverse	6000/5	Pickup 0,14
			Amp range 0,7 - 840
			Time dial 2,8

Data pada Tabel 4.2 dimasukkan ke dalam perangkat lunak Etap untuk menghasilkan hasil kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Hasil diagram koordinasi keamanan zona 2 existing ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dengan menggunakan hasil diagram, kita dapat menganalisis waktu operasi relai terkoordinasi.

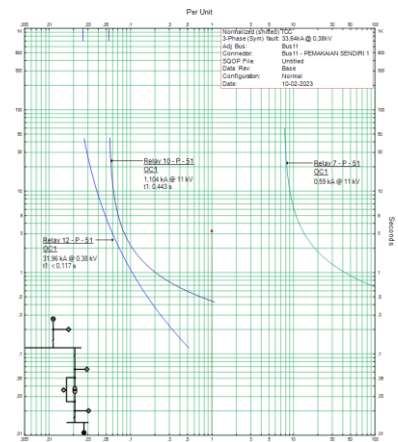


Gambar 4.4 Hasil Plot Relai *existing* zona 2 unit 1

Pada gambar 4.4 dapat dianalisis masih terdapat kekurangan, relai 7 dan 10 merupakan backup dari relai 12 ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri. Dapat dilihat pada gambar 4.4 diatas relai 7 dan relai 10 terjadi *overlap* sehingga dapat mengganggu koordinasi relai tersebut dan jika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri maka akan ada kondisi dimana kedua relai tersebut bekerja serentak. Maka dari itu, perlu diatur ulang agar sistem dapat berjalan dengan lancar. Pemilihan nilai dan pemilihan waktu harus diperhatikan untuk melindungi peralatan dengan baik dari interferensi.

Sistem Resetting Koordinasi Relai Pengaman Zona 2

Setelah melakukan perhitungan ulang, bahwa pada gambar 4.5 kurva tidak lagi saling tumpang tindih, hasil tersebut menunjukkan bahwa koordinasi relai sudah dapat bekerja dengan baik. Ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri maka yang pertama kali berkerja yaitu relai yang paling dekat dengan gangguan. Dimana pada unit 1 relai 12 akan bekerja sebagai proteksi utama (*main protection*), apabila relai 12 gagal bekerja maka relai 10 akan berperan sebagai proteksi penyanggah (*backup protection*). Sedangkan pada unit 2 relai 6 akan bekerja sebagai proteksi utama (*main protection*), apabila relai 6 gagal bekerja maka relai 4 akan berperan sebagai proteksi penyanggah (*backup protection*).

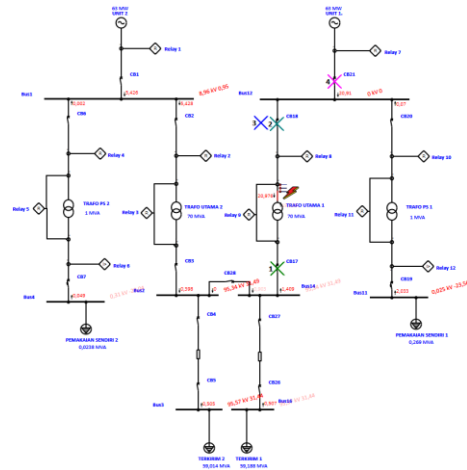


Gambar 4.5 Hasil Plot Relai *Resetting* zona 2 unit 1

D. Hasil Simulasi Koordinasi Relai Arus Lebih Hasil Koordinasi Zona 1 pada Unit 1

• **Gangguan pada Transformator**

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.6 bahwa ketika terjadi gangguan di dalam transformator, maka koordinasi rele yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 9, relai 8, dan relai 7. Relai 9 akan memerintahkan CB17 dan CB18 untuk *open*, ketika relai 9 gagal beroperasi maka akan di *backup* oleh relai 8 dimana relai 8 akan memerintahkan CB18 untuk *open*. Namun, ketika rele 8 juga gagal dalam beroperasi maka akan dibackup oleh relai 7 dimana akan memerintahkan CB21 untuk *open*.



Gambar 4.6 Hasil Koordinasi Zona 1 unit 1(Gangguan pada Trafo)

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Etap, sebelum dilakukan *resetting* pada gambar 4.7 ketika terjadi gangguan di dalam transformator utama pada unit 1 dimana arus hubung singkat yang masuk pada relai 8 yaitu 20,976 kA dengan waktu kerja relai yaitu 866 ms atau 0,866 s. Ketika relai 8 gagal maka akan di *backup* oleh relai 7, arus gangguan pada relai 7 yaitu 20,91 kA dengan waktu kerja relai 1122 ms atau 1,122 s. Setelah dilakukan *resetting* pada gambar 4.8, waktu kerja relai 8 menjadi 831 ms atau 0,831 s.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between TRAFU UTAMA 1 & CT18. Adjacent bus: Bus12

Data Rev: Base Config: Normal Date: 05-12-2022

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20.0	Relay 9		20.0		Phase - 87
80.0	CB17		60.0		Tripped by Relay 9 Phase - 87
100.0	CB18		80.0		Tripped by Relay 9 Phase - 87
866	Relay 8	20,976	866		Phase - OC1 - 51
946	CB19		30.0		Tripped by Relay 8 Phase - OC1 - 51
1122	Relay 7	20,91	1122		Phase - OC1 - 51
1202	CB21		80.0		Tripped by Relay 7 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.7 Waktu Kerja Relai Zona 1 Unit 1 Sebelum *Resetting* (Gangguan pada Trafo)

Time (ms)	ID	# (A)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
20.0	Relay 9	20.0	20.0		Phase - 87
80.0	CB17	60.0			Tripped by Relay 9 Phase - 87
100.0	CB18	80.0			Tripped by Relay 9 Phase - 87
831	Relay 8	20.976	831		Phase - OC1 - 51
911	CB18	80.0			Tripped by Relay 8 Phase - OC1 - 51
1122	Relay 7	20.91	1122		Phase - OC1 - 51
1202	CB21	80.0			Tripped by Relay 7 Phase - OC1 - 51

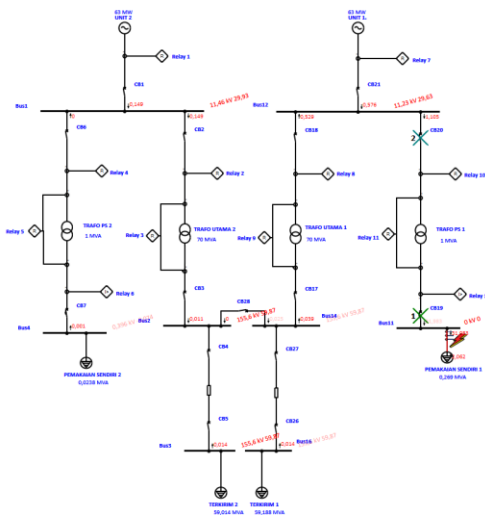
Gambar 4.8 Waktu Kerja Relai Zona 1 Unit 1 Setelah *Resetting* (Gangguan pada Trafo)

Time (ms)	ID	# (A)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
117	Relay 12	31.983	117		Phase - OC1 - 51
127	CB19	10.0			Tripped by Relay 12 Phase - OC1 - 51
857	Relay 10	1.105	857		Phase - OC1 - 51
937	CB20	80.0			Tripped by Relay 10 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.10 Waktu Kerja Rele Zona 2 unit 1 Sebelum *Resetting*

Hasil Koordinasi Zona 2 pada unit 1

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.9 bahwa ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri, maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 12 dan relai 10. Relai 12 akan memerintahkan CB19 untuk *open*, ketika relai 12 gagal beroperasi maka akan di *backup* oleh relai 10 dimana relai 10 akan memerintahkan CB20 untuk *open*.



Gambar 4.9 Hasil Koordinasi Zona 2 Unit 1 (Gangguan pada PS)

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Etap, Sebelum dilakukan *resetting* pada gambar 4.10 Ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri pada unit 1 dimana arus hubung singkat yang masuk pada relai 12 yaitu 31,983 kA dengan waktu kerja relai yaitu 117 ms atau 0,117 s. Ketika relai 12 gagal maka akan di backup oleh relai 10, arus gangguan yang masuk pada relai 10 yaitu 1,105 kA dengan waktu kerja relai 857 ms atau 0,857 s. Setelah dilakukan *resetting* pada gambar 4.11 waktu kerja relai 10 menjadi 443 ms atau 0,443 s.

Time (ms)	ID	# (A)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
117	Relay 12	31.983	< 117		Phase - OC1 - 51
127	CB19	10.0			Tripped by Relay 12 Phase - OC1 - 51
443	Relay 10	1.105	443		Phase - OC1 - 51
523	CB20	80.0			Tripped by Relay 10 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.11 Waktu Kerja Rele Zona 2 unit 1 Setelah *Resetting*

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

- 1 Hasil dari plotting kurva pertama berdasarkan settingan relai dengan pickup 0,9 dan time dial 0,25 s pada generator serta pickup 1 dan time dial 0,18 s pada transformator utama bahwa masih terdapat kekurangan, yaitu kurva pada relai arus lebih yang terdapat pada generator dan transformator utama pada unit 1 dan 2 mengalami overlap. Sehingga akan ada kondisi relai arus lebih pada generator dapat lebih dulu bekerja dari relai arus lebih pada transformator. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan adanya *resetting*. Setelah dilakukan *resetting* diperoleh settingan relai pickup 0,8 dan time dial 0,20 s pada transformator utama. Hasil dari plotting kurva kedua berdasarkan settingan relai dengan pickup 0,9 dan time dial 0,25 s pada generator serta pickup 0,4 dan time dial 0,33 s pada transformator PS juga masih terdapat kekurangan, dimana kurva relai arus lebih pada generator dan transformator pemakaian sendiri mengalami *overlap* sehingga untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan adanya *resetting*. Setelah dilakukan *resetting* diperoleh settingan relai pickup 0,3 dan time dial 0,19 s pada transformator PS.
- 2 Hasil simulasi menggunakan Etap 19.0.1 sebelum dilakukan *resetting*:
 - Simulasi pertama, ketika terjadi gangguan di

dalam zona transformator utama unit 1 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 9 (20 ms), relai 8 (866 ms), dan relai 7 (1122 ms).

- Simulasi kedua, ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri unit 1 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 12 (117 ms) dan relai 10 (857 ms).
- Simulasi ketiga, ketika terjadi gangguan di dalam zona transformator utama unit 2 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 3 (20 ms), relai 2 (868 ms), dan relai 1 (1122 ms).
- Simulasi keempat, ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri unit 2 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 6 (117 ms) dan relai 4 (857 ms).

Hasil simulasi menggunakan Etap 19.0.1 setelah dilakukan resetting:

- Simulasi pertama, ketika terjadi gangguan di dalam zona transformator utama unit 1 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 9 (20 ms), relai 8 (831 ms), dan relai 7 (1122 ms).
- Simulasi kedua, ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri unit 1 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 12 (<117 ms) dan relai 10 (443 ms).
- Simulasi ketiga, ketika terjadi gangguan di dalam zona transformator utama unit 2 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 3 (20 ms), relai 2 (832 ms), dan relai 1 (1122 ms).
- Simulasi keempat, ketika terjadi gangguan pada beban pemakaian sendiri unit 2 maka koordinasi relai yang bekerja terlebih dahulu yaitu relai 6 (<117 ms) dan relai 4 (443 ms).

REFERENSI

- [1] Rahardani, S. S. (2015). *Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada PLTA PT PJB Unit Pembangunan Cirata*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Yandri, Daniel, & Elvira. 2017. *Evaluasi Sistem Proteksi Generator PLTMG Balai Pungut PT.PLN (Persero) Sektor Pembangunan Pekanbaru*. Pekanbaru: Universitas Lancang Kuning
- [3] Marsudi, D. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: PT Erlangga.
- [4] Anthony, Zuriman. 2018. *Mesin Listrik Dasar*. Padang : ITP Press.
- [5] Fitrizawati, Nurhadiyono, S., & Efendi, N. 2018. Analisis Setting Relay Proteksi Pengaman Arus Lebih Pada Generator (Studi Kasus di PLTU 2x300 MW Cilacap). *Intuisi Teknologi Dan Seni*, 10(1),

49-57.

- [6] Tanyadji, Sonny dan Sarma Thaha. 2015. *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Makassar : Innawa.
- [7] Uma, Uma U. dan I.K. Onwuka. 2014. *Overcurrent Relay Setting Model for Effective Substation Relay Coordination*. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). Vol 04. Hal 26-31.
- [8] Timotius D.Ngedi, Temi. 2016. *Penggunaan Over Current Relay Dalam System Tenaga Listrik*. Kupang : Universitas Nusa Cendana.
- [9] Bachtiar, H. 2006. *Sistem Proteksi Pembangunan Energi Listrik*. Bandung.
- [10] Sukisno, Toto. 2020. "Pengantar Proteksi Sistem Tenaga Listrik Berbasis Software ETAP". https://www.researchgate.net/publication/342548685_Pengantar_Proteksi_Sistem_Tenaga_Listrik_Berbasis_Software_ETAP. Di akses pada 15 November 2021 pukul 01.30.