



Analisis dan Koordinasi Relay Proteksi terhadap Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan ETAP

Mhd Fajar Dwiandra Tanjung

Universitas Negeri Medan

Rifqi Dwi Kurniawan

Universitas Negeri Medan

Willis Martin Sitorus

Universitas Negeri Medan

Arwadi Sinuraya

Universitas Negeri Medan

Desman Jonto Sinaga

Universitas Negeri Medan

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: fajardwiandra15@gmail.com

Abstract. *This study analyzes the coordination of protection relays against short-circuit faults in a 20 kV distribution system using **ETAP** software. The research includes system modeling, short-circuit analysis, relay setting determination, and **Time Current Characteristic (TCC)** simulation. The results show that relay coordination meets **IEC 60255** standards with a 0.3–0.5 second time margin, and fault currents are within safe limits according to **IEC 60909**. The protection system operates quickly, selectively, and reliably in fault isolation.*

Keywords: *Relay Coordination, Short Circuit, OCR, ETAP, TCC.*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis koordinasi relay proteksi terhadap gangguan hubung singkat pada sistem distribusi 20 kV menggunakan perangkat lunak **ETAP**. Tahapan penelitian meliputi pemodelan sistem, analisis hubung singkat, penentuan setting relay, dan simulasi **Time Current Characteristic (TCC)**. Hasil simulasi menunjukkan bahwa koordinasi antar relay telah memenuhi standar **IEC 60255** dengan selisih waktu 0,3–0,5 detik dan arus gangguan berada dalam batas aman sesuai **IEC 60909**. Sistem proteksi bekerja cepat, selektif, dan andal dalam mengisolasi gangguan.

Kata kunci: Koordinasi Relay, Gangguan Hubung Singkat, OCR, ETAP, TCC.

LATAR BELAKANG

Sistem tenaga listrik modern memerlukan perlindungan yang andal, cepat, dan selektif untuk menjaga kontinuitas layanan dan keselamatan peralatan. Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi merupakan salah satu permasalahan serius yang dapat menimbulkan konsekuensi besar, mulai dari kerusakan peralatan listrik, gangguan kontinuitas pelayanan, hingga membahayakan keselamatan manusia dan lingkungan.

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan yang sering terjadi dan menyebabkan arus berlebih antara lain adalah gangguan hubung singkat (short circuit), gangguan beban lebih (overload), dan gangguan tegangan lebih (overvoltage). Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kerusakan isolasi peralatan elektronik, pengaruh eksternal, cuaca buruk, atau sambaran petir. Ketika terjadi gangguan hubung singkat, arus yang mengalir dapat mencapai nilai yang jauh melebihi arus nominal, sehingga dapat merusak peralatan dalam waktu singkat.

Untuk mengatasinya, diperlukan sistem proteksi yang dirancang dengan baik. Sistem proteksi berfungsi untuk mendeteksi gangguan dengan cepat, mengisolasi daerah yang terganggu, dan mencegah gangguan menyebar ke bagian sistem lainnya. Salah satu komponen kunci dalam sistem proteksi adalah Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) yang bekerja berkoordinasi dengan peralatan proteksi lainnya seperti recloser dan fuse cutout.

Koordinasi relay proteksi yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa sistem proteksi bekerja secara selektif. Selektivitas berarti bahwa hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan lokasi gangguan yang akan bekerja, sementara peralatan proteksi lain tetap dalam kondisi standby. Hal ini dapat meminimalkan area pemadaman dan mengurangi dampak gangguan terhadap konsumen yang tidak terkena dampak gangguan.

Untuk merancang dan menganalisis sistem proteksi yang kompleks, diperlukan tools yang powerful dan akurat. ETAP (Electrical Transient Analysis Program) adalah sebuah software yang mampu melakukan simulasi dan analisis sistem kelistrikan secara detail. Software ETAP dapat bekerja secara offline maupun online untuk pengelolaan data real time, dan mampu melakukan berbagai analisis termasuk analisis hubung singkat, analisis aliran daya (load flow), koordinasi peralatan proteksi, dan lainnya.

KAJIAN TEORITIS

1. Sistem Tenaga Listrik dan Sistem Distribusi

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga sistem utama: sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Sistem pembangkit menghasilkan energi listrik dari berbagai sumber energi termasuk batu bara (PLTU), air (PLTA), gas alam (PLTG), dan sumber energi terbarukan lainnya [1]. Sistem transmisi bertanggung jawab untuk mentransmisikan energi listrik dari pembangkit ke sistem distribusi dengan tegangan tinggi (umumnya 70 kV, 154 kV, atau lebih tinggi). Sistem distribusi adalah penyalur tenaga listrik dari sumber ke konsumen akhir dengan tegangan menengah (umumnya 20 kV) dan tegangan rendah (380V/220V) [2].

Jaringan distribusi 20 kV merupakan backbone dari sistem distribusi modern yang menyalurkan energi listrik ke berbagai wilayah. Jaringan ini terdiri dari gardu induk, saluran transmisi/distribusi, transformator daya, dan berbagai peralatan proteksi. Struktur jaringan distribusi umumnya berbentuk radial, dimana energi disalurkan dari satu atau beberapa sumber utama (gardu induk) menuju ke konsumen melalui berbagai penyulang (feeder).

2. Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

A. Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan gangguan yang terjadi karena berkurangnya kekuatan isolasi dasar antara saluran fasa atau antara saluran fasa dan bumi. Gangguan ini mengakibatkan lonjakan arus lebih yang dapat mencapai nilai berkali-kali lipat dari arus nominal [2][3]. Arus hubung singkat yang besar dapat menyebabkan:

- 1) Pemanasan pada konduktor dan peralatan

- 2) Kerusakan isolasi
- 3) Mechanical stress pada struktur peralatan
- 4) Turun tegangan yang signifikan pada sistem
- 5) Gangguan pada operasi peralatan lain

Jenis-jenis gangguan hubung singkat:

- 1) Hubung singkat 3 fasa: Gangguan simetris yang melibatkan ketiga fasa
- 2) Hubung singkat 2 fasa: Gangguan asimetris yang melibatkan dua fasa
- 3) Hubung singkat 1 fasa ke tanah: Gangguan asimetris yang melibatkan satu fasa terhadap tanah

B. Gangguan Beban Lebih

Merupakan gangguan yang terjadi karena adanya arus yang mengalir melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang. Gangguan ini dapat disebabkan oleh penambahan beban yang tidak terencana atau kegagalan mekanisme kontrol beban [5].

C. Gangguan Tegangan Lebih

Merupakan gangguan yang terjadi apabila ada kenaikan tegangan fluktuatif yang tidak wajar dalam sistem, seperti gangguan petir yang mengakibatkan kenaikan tegangan berlebih. Gangguan ini dapat merusak isolasi peralatan [6].

3. Sistem Proteksi Listrik

Sistem proteksi adalah seperangkat alat pengaman yang terdiri dari komponen utama dan komponen lainnya untuk menjalankan fungsi tertentu sesuai dengan prinsip proteksi. Sistem proteksi dirancang untuk melindungi dari gangguan dan menghilangkan kondisi abnormal pada sistem tenaga. Perlindungan berfungsi ketika terjadi kegagalan di area yang ingin dilindungi dengan cara mendeteksi gangguan dan menginstruksikan pemutus (circuit breaker/PMT) untuk memutus jaringan dan mengisolasi area yang terganggu [3][7].

Persyaratan Sistem Proteksi

Sistem proteksi yang baik harus memenuhi empat persyaratan utama:

A. Kepekaan (*Sensitivity*)

Kepekaan adalah kemampuan relay untuk mendeteksi gangguan pada area yang dilindungi. Relay harus dapat bekerja untuk arus gangguan minimum yang mungkin terjadi pada area proteksi tersebut. Sensitivitas diukur dengan margin sensitif yang merupakan perbandingan antara arus gangguan minimum dan arus pickup relay.

B. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan berarti bahwa relay harus bekerja dengan pasti ketika terjadi gangguan pada area yang dilindungi, dan tidak boleh bekerja saat terjadi kondisi normal atau gangguan di luar area proteksi. Keandalan mencakup probabilitas bahwa relay akan bekerja saat diperlukan dan tidak akan salah operasi.

C. Selektivitas (*Selectivity*)

Selektivitas berarti bahwa ketika terjadi gangguan, hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan lokasi gangguan yang akan bekerja, sementara peralatan

proteksi lain tetap dalam kondisi standby. Selektivitas dapat dicapai melalui koordinasi yang tepat antara relay dengan mempertimbangkan waktu kerja dan tingkat arus yang berbeda-beda.

D. Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah kemampuan sistem proteksi untuk mengisolasi gangguan dalam waktu sesingkat mungkin. Semakin cepat gangguan diisolasi, semakin kecil kerusakan yang akan terjadi dan semakin terbatas area yang mengalami pemadaman. Waktu kerja relay yang cepat dapat mengurangi dampak termal pada peralatan.

4. Over Current Relay (OCR)

Over Current Relay (OCR) atau relai arus lebih adalah relay yang bekerja saat mengalami arus lebih (overcurrent). Cara kerjanya adalah dengan membaca arus input yang mengalir melalui relay dan membandingkannya dengan nilai setpoint yang telah ditentukan [7][8]. Jika nilai arus melebihi batas setpoint, relay akan memberi sinyal kepada pemutus (PMT) untuk memutus jaringan.

Operasi relay tersedia dalam dua kondisi:

a. Arus Pickup (I_p) [8]

- 1) Nilai arus terkecil yang dapat mengaktifkan relay dan menutup kontakannya. Istilah lain untuk arus pickup adalah "arus kerja". Setting arus pickup harus:
- 2) Lebih besar dari arus beban nominal agar tidak bekerja pada kondisi normal
- 3) Lebih kecil dari arus gangguan minimum yang ingin dideteksi agar dapat mendeteksi gangguan

b. Arus Dropout (I_d)

Nilai arus tertinggi dimana relay trip dikenal sebagai arus putus untuk memungkinkan pembukaan kembali kontak. Arus dropout biasanya berkisar 90-95% dari arus pickup [10].

A. Jenis OCR Berdasarkan Karakteristik Waktu

Relay arus lebih dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristik waktu kerjanya:

1. Relai Waktu Nyata (Instantaneous Relay)

Relai yang langsung aktif (tanpa menunggu) jika arus yang mengalir melaluinya melebihi nilai yang telah ditentukan. Relay kemudian akan mulai berfungsi dalam beberapa milidetik (10 hingga 20 ms) [1]. Relai ini biasanya digunakan bersama dengan jenis relay arus lebih tambahan untuk memberikan proteksi cadangan. Karakteristik matematis dari instantaneous relay adalah:

$$t = 0 \text{ (untuk } I > I_{pickup}\text{)}$$

2. Relai Waktu Tertentu (Definite Time Relay)

Ketika terjadi arus gangguan di atas setpoint, relay ini akan menginstruksikan PMT setelah waktu tertentu yang telah ditentukan. Durasi operasi relay dari pickup hingga relay bekerja ditambahkan ke waktu tertentu dan tidak tergantung pada besarnya arus yang memicu relay. Karakteristik matematis dari definite time relay adalah:

$$t = t_{fixed} \text{ (untuk } I > I_{pickup}\text{)}$$

3. Relai Arus Lebih Terbalik (Inverse Time Relay)

Waktu operasi relay ini tergantung secara terbalik pada besarnya arus gangguan. Semakin tinggi arusnya, semakin pendek waktu tundanya. Karakteristik ini sangat berguna untuk koordinasi proteksi karena dapat membedakan antara gangguan dekat dan gangguan jauh.

Berdasarkan fitur waktu terbalik, inverse time relay dapat dikategorikan:

a. Standar Inverse (SI)

Karakteristik standar inverse mengikuti persamaan:

$$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{0.02} - 1} \times TMS$$

b. Sangat Terbalik (VI - Very Inverse)

$$t = \frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^1 - 1} \times TMS$$

c. Sangat Sangat Terbalik (EI - Extremely Inverse)

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^2 - 1} \times TMS$$

Dimana:

- t = Waktu kerja relay (detik)
- I = Arus yang mengalir (Ampere)
- I_{pickup} = Arus pickup (Ampere)
- TMS = Time Multiplier Setting (0.05 - 1.0)

B. Perhitungan Arus Pickup

Arus pickup adalah penyetelan yang digunakan pada relay untuk memberikan perintah pada pemutus (circuit breaker). Penentuan arus pickup atau batas minimum arus yang diperuntukkan untuk mengaktifkan relay harus mempertimbangkan [1]:

1) Setting Minimum

Nilai arus pickup harus lebih besar dari arus beban normal untuk mencegah relay bekerja pada kondisi operasi normal:

$$I_{pickup} \geq I_{beban_normal} + \text{margin}$$

Biasanya margin ditetapkan sebesar 1.05 hingga 1.2 kali dari arus beban normal.

2) Setting Maksimum

Nilai arus pickup harus lebih kecil dari arus gangguan minimum yang ingin dideteksi:

$$I_{pickup} < I_{gangguan_minimum}$$

Formula umum untuk menghitung arus pickup relay arus lebih (OCR):

$$I_{pickup} = I_{nominal} \times \left(\frac{\frac{CT_{sek}}{CT_{prim}} \times 1.2}{CT_{sek}} \right)$$

Setelah mendapatkan nilai arus pickup primer, nilai tersebut harus dikonversi ke nilai sekunder dengan mempertimbangkan rasio Current Transformer (CT):

$$\text{Ratio CT} = I_{\text{nominal}} \times 1,2$$

5. Koordinasi Proteksi

A. Konsep Koordinasi Proteksi

Koordinasi proteksi adalah pengaturan parameter-parameter peralatan proteksi (arus pickup, waktu kerja, kurva) sedemikian rupa sehingga ketika terjadi gangguan, hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan yang bekerja, sementara peralatan proteksi yang lebih jauh (backup) tetap dalam kondisi standby [2][8].

Manfaat koordinasi proteksi yang baik:

- 1) Meminimalkan area pemadaman
- 2) Mengurangi kerusakan peralatan
- 3) Meningkatkan kontinuitas layanan
- 4) Meningkatkan selektivitas sistem proteksi

B. Metode Koordinasi Proteksi

- 1) Metode Arus Pickup

Mengatur arus pickup peralatan primary lebih kecil dari arus pickup peralatan backup. Metode ini hanya efektif untuk gangguan dekat.

- 2) Metode Waktu Kerja

Mengatur waktu kerja relay sedemikian rupa sehingga relay yang lebih dekat dengan gangguan bekerja lebih cepat, sementara relay yang lebih jauh bekerja lebih lambat. Perbedaan waktu (time grading margin) umumnya ditetapkan sebesar 0.3-0.5 detik sesuai standar IEC 60255.

- 3) Metode Kurva Karakteristik

Menggunakan kurva karakteristik yang berbeda untuk relay primary dan backup sehingga kurva tidak saling berpotongan (tidak intersect) dan relay backup bekerja dengan jelas setelah relay primary.

C. Time Current Characteristic (TCC) Curve

TCC Curve adalah representasi grafis dari waktu kerja relay terhadap arus yang mengalir. Sumbu horizontal menunjukkan arus (skala logaritmik) dan sumbu vertikal menunjukkan waktu kerja (skala logaritmik).

Karakteristik TCC curve:

- 1) Menunjukkan hubungan non-linear antara arus dan waktu
- 2) Memudahkan visualisasi koordinasi proteksi
- 3) Dapat menunjukkan apakah kurva relay primary dan backup benar-benar terpisah (selektif)

Standar koordinasi menurut IEC 60255:

- 1) Margin waktu antara relay primary dan backup minimal 0.3-0.5 detik
- 2) Kurva tidak boleh saling berpotongan (intersect)
- 3) Untuk arus gangguan minimum, margin waktu harus tersedia

6. Time Multiplier Setting (TMS)

Time Multiplier Setting (TMS) adalah parameter pada relay yang digunakan untuk mengatur waktu kerja relay dengan mengalikan kurva karakteristik standar. TMS memiliki range nilai 0.05 hingga 1.0. Semakin tinggi nilai TMS, semakin lambat relay bekerja.

Rumus untuk menghitung TMS:

$$TMS = t \times \frac{PSM^\alpha - 1}{\beta}$$

Dimana:

- t = Waktu operasi yang diinginkan ($t_{\text{hilir}}(0,1)$, $t_{\text{feeder}}(0,2)$, $t_{\text{hulu}}(0,3)$) (s)
- PSM = arus gangguan / arus pickup (setting)(I)
- $\alpha = 0,02$
- $\beta = 0,14$

untuk mencari psm digunakan persamaan berikut:

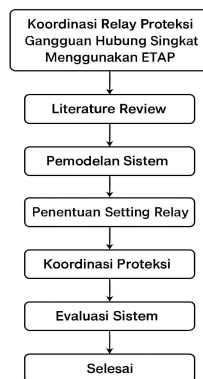
$$PSM = \frac{I_{\text{sec}}}{\text{pickup standart invers}}$$

$$I_{\text{sec}} = I_{\text{fault}} \times \frac{CT_{\text{sec}}}{CT_{\text{prim}}}$$

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak ETAP dengan metode kuantitatif. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai teori sistem proteksi, prinsip kerja Over Current Relay (OCR), dan standar IEC yang relevan. Selanjutnya dilakukan pemodelan sistem distribusi 20 kV di ETAP, mencakup sumber, transformator, saluran, beban, dan relay proteksi.

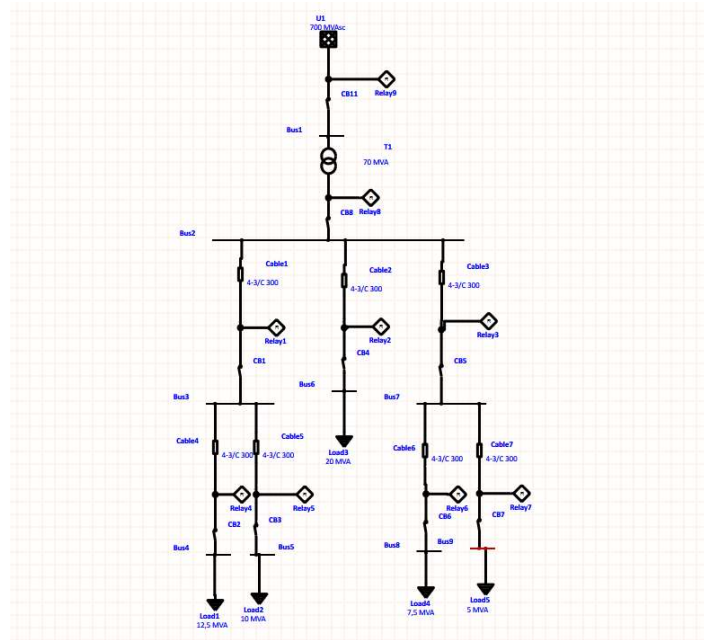
Kemudian dilakukan analisis hubung singkat untuk memperoleh nilai arus gangguan pada setiap bus sebagai dasar penentuan setting relay (arus pickup dan Time Multiplier Setting). Setelah itu dilakukan simulasi kurva Time Current Characteristic (TCC) guna memastikan koordinasi dan selektivitas antar relay sesuai standar IEC 60255. Tahap terakhir adalah evaluasi kinerja sistem proteksi berdasarkan aspek keandalan, kepekaan, kecepatan, dan selektivitas untuk memastikan sistem bekerja optimal terhadap gangguan hubung singkat.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Gambaran Umum Sistem



Gambar 2. Skema Rangkaian ETAP

2. Spesifikasi Komponen Sistem

Adapun data spesifikasi komponen komponen yang digunakan dalam project ini yaitu:

Tabel 1. Data Sumber Daya

komponen	tegangan	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	daya semu (MVA)	rating short circuit (MVASC)
power grid	33 kv	54,299	5,377	54,571	700

Tabel 2. Data Transformator

komponen	kapasitas (MVA)	input (KV)	output (KV)	%z	x/r
trafo	70	33	20	12,5	45

Tabel 3. Data Kabel Saluran

komponen	saluran bus	sumber	frekuensi (HZ)	tegangan (KV)	panjang (M)
kabel 1	bus 2-3	xlpe	50	20	750
kabel 2	bus 2-6	xlpe	50	20	500
kabel 3	bus 2-7	xlpe	50	20	750
kabel 4	bus 3-4	xlpe	50	20	1000
kabel 5	bus 3-5	xlpe	50	20	1000

kabel 6	bus 7-8	xlpe	50	20	1000
kabel 7	bus 7-9	xlpe	50	20	1000

Tabel 4. Data Beban Terpasang

komponen	kapasitas (MVA)	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	faktor daya
load 1	12,5	12,5	0	1
load 2	10	10	0	1
load 3	20	20	0	1
load 4	7,5	7,5	0	1
load 5	5	5	0	1

Tabel 5. Data Short Circuit

Komponen	Tegangan (kV)	3 Phase Fault (KA)	L-G Fault (KA)	L-L Fault (KA)	L-L-G Fault (KA)
Bus 1	33	12.247	12.247	10.606	12.247
Bus 2	20	9.608	11.416	8.321	10.994
Bus 3	20	9.477	11.143	8.208	10.680
Bus 4	20	9.307	10.796	8.060	10.319
Bus 5	20	9.307	10.796	8.060	10.319
Bus 6	20	9.521	11.233	8.245	10.782
Bus 7	20	9.477	11.143	8.208	10.680
Bus 8	20	9.307	10.796	8.060	10.319
Bus 9	20	9.307	10.796	8.060	10.319

Tabel 6. Data Transformator

Komponen	Primary	Secunder	Ration
CT 1	800	5	800:5
CT 2	400	5	400:5
CT 3	300	5	300:5
CT 4	700	5	700:5
CT 5	400	5	400:5
CT 6	300	5	300:5
CT 7	200	5	200:5
CT 8	1.900	5	1.900:5
CT 9	1.100	5	1.100:5

Tabel 7. Data Over Current Relay

Komponen	Kurva	Pick Up	Pick Up (A)	Time Dial
OCR 1	Iec Standard Inverse	0,966	4,83	0,122
OCR 2	Iec Standard Inverse	0,9822	4,911	0,126
OCR 3	Iec Standard Inverse	1,074	5,37	0,141
OCR 4	Iec Standard Inverse	1,0734	5,367	0,07
OCR 5	Iec Standard Inverse	1,14	5,7	0,073
OCR 6	Iec Standard Inverse	1,14	5,7	0,07
OCR 7	Iec Standard Inverse	0,8592	4,296	0,084
OCR 8	Iec Standard Inverse	0,994	4,97	0,143
OCR 9	Iec Standard Inverse	1,08	5,4	0,176

3. Analisis Hubung Singkat

Analisis hubung singkat dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk mengetahui besarnya arus gangguan pada setiap bus sistem distribusi 20 kV. Nilai arus hubung singkat (short circuit current) menjadi dasar dalam menentukan setting proteksi yang sesuai pada setiap titik jaringan agar sistem tetap aman dan selektif.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai arus gangguan tiga fasa tertinggi terjadi pada Bus 1 sebesar 12,247 kA, sedangkan nilai terendah terjadi pada Bus 8 dan Bus 9 sebesar 9,307 kA. Perbedaan nilai arus gangguan ini disebabkan oleh meningkatnya impedansi total saluran seiring bertambahnya jarak dari sumber utama (power grid).

Secara umum, hubungan antara jarak terhadap sumber dan arus gangguan bersifat berbanding terbalik: semakin jauh lokasi gangguan dari sumber, semakin kecil arus gangguan yang mengalir. Fenomena ini menunjukkan bahwa konfigurasi sistem radial yang digunakan telah sesuai dengan karakteristik distribusi tegangan menengah di Indonesia.

Tabel 8. Hasil analisis hubung singkat ditunjukkan berikut:

Bus	Tegangan (kV)	3Φ Fault (kA)	L-G Fault (kA)	L-L Fault (kA)	L-L-G Fault (kA)
1	33	12.247	10.606	12.247	12.247
2	20	9.608	11.416	8.321	10.994
3	20	9.477	11.143	8.208	10.680
4	20	9.307	10.796	8.060	10.319
5	20	9.307	10.796	8.060	10.319

6	20	9.521	11.233	8.245	10.782
7	20	9.477	11.143	8.208	10.680
8	20	9.307	10.796	8.060	10.319
9	20	9.307	10.796	8.060	10.319

Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh nilai arus gangguan masih berada dalam batas aman sesuai standar IEC 60909, di mana arus hubung singkat maksimum untuk sistem distribusi 20 kV tidak boleh melebihi 25 kA. Artinya, sistem distribusi yang dianalisis berada dalam kondisi aman terhadap kemungkinan kerusakan akibat arus gangguan besar.

4. Penentuan Setting Relay Proteksi

Tahap berikutnya adalah menentukan setting Over Current Relay (OCR) berdasarkan hasil analisis hubung singkat. Parameter utama yang ditentukan yaitu arus pickup (I_p) dan Time Multiplier Setting (TMS). Nilai ini ditentukan agar relay bekerja cepat pada kondisi gangguan tanpa mengganggu operasi normal sistem.

Untuk menentukan nilai TMS hal yang pertama kita butuhkan adalah pickup, kami akan mencontohkan relay 1 untuk dijadikan referensi menghitung pick up

$$\text{Pickup} = I \text{ Nominal} \times \left(\frac{CT \text{ Sekunder}}{CT \text{ Primer}} \right) \times 1,2 \div CT \text{ Sekunder}$$

$$\text{Pickup} = 644,1 \times \left(\frac{5}{800} \right) \times 1,2 \div 5$$

$$\text{Pickup} = 0,966$$

Setelah di dapat nilai pick up maka untuk mencari tms dibutuhkan beberapa parameter lain seperti arus gangguan hubung singkat ($I \text{ Fault}$) dan juga waktu atau t yang di inginkan. Setelah itu perlu dilakukan perhitungan untuk mencari $I \text{ Secunder}$ sebelum mencari nilai TMS.

$$I \text{ Sec} = I \text{ Fault} \times \left(\frac{CT \text{ sekunder}}{CT \text{ primer}} \right)$$

$$I \text{ Sec} = 9477 \times \left(\frac{5}{800} \right)$$

$$I \text{ Sec} = 59,23125$$

Berikutnya sebelum mencari TMS, perlu dilakukan perhitungan untuk mencari Plug Setting Multiplier dengan cara:

$$\text{PSM} = \frac{I \text{ Sec}}{\text{Pick up}}$$

$$\text{PSM} = \frac{59,23125}{0,966}$$

$$\text{PSM} = 61,3159938$$

Setelah didapat nilai PSM maka kita dapat menggunakan rumus TMS untuk kurva IEC standard inverse dengan menggunakan persamaan:

$$TMS = t \times \frac{PSM^\alpha - \beta}{\beta}$$

$$\begin{aligned}TMS &= 0,2 \times \frac{61,3159938^{0,02} - 1}{0,14} \\TMS &= 0,2 \times \frac{1,0858041 - 1}{0,14} \\TMS &= 0,2 \times \frac{0,0858041}{0,14} \\TMS &= 0,2 \times 0,612886429 \\TMS &= 0,122577286 = 0,122\end{aligned}$$

Nilai *time dial* ditentukan berdasarkan koordinasi waktu antar relay agar tercapai grading margin sebesar 0,3–0,5 detik sesuai standar IEC 60255. Relay yang berada dekat dengan sumber (OCR-1 dan OCR-2) disetel dengan waktu kerja lebih cepat dibanding relay di sisi beban (OCR-7, OCR-8, OCR-9).

5. Analisis Kurva TCC (Time Current Characteristic)

Hasil plotting kurva TCC pada ETAP menunjukkan bahwa semua relay bekerja dengan selektivitas yang baik. Kurva operasi antar relay tidak saling berpotongan, menandakan koordinasi waktu kerja antar relay telah optimal.

Relay utama (primary protection) bekerja terlebih dahulu dengan waktu kerja yang lebih cepat, sementara relay cadangan (backup protection) hanya bekerja jika relay utama gagal beroperasi.

Sebagai contoh:

- OCR-3 (TMS = 0,141) memiliki waktu kerja 0,28 detik untuk arus gangguan 8 kali arus nominal. OCR-4 (TMS = 0,07) bekerja dengan waktu 0,62 detik untuk arus yang sama. Dengan demikian, *grading margin* waktu kerja antara kedua relay adalah 0,34 detik yang masih dalam batas aman.

Kurva TCC juga memperlihatkan bahwa semakin besar arus gangguan, waktu operasi relay semakin singkat (karakteristik invers). Misalnya, pada arus gangguan sebesar 10 kali arus nominal, waktu operasi relay menurun hingga 0,25 detik, sedangkan untuk arus 3 kali nominal, waktu kerja meningkat menjadi sekitar 1,3 detik. Pola ini menegaskan bahwa relay memiliki respons dinamis yang sesuai dengan karakteristik inverse time.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi pada perangkat lunak ETAP, sistem proteksi arus lebih (OCR) pada jaringan distribusi 20 kV bekerja dengan baik. Nilai arus hubung singkat tertinggi terjadi di Bus 1 sebesar 12,247 kA dan terendah di Bus 9 sebesar 9,307 kA, yang menunjukkan pengaruh jarak dan impedansi saluran terhadap besarnya arus gangguan. Koordinasi antar relay menghasilkan kurva TCC yang selektif dan tidak saling berpotongan, menandakan sistem proteksi memiliki keandalan, kepekaan, kecepatan, dan selektivitas yang baik. Nilai PSM diperoleh dari perbandingan antara arus gangguan dan arus pickup yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga hasil perhitungan menjadi valid.

Secara keseluruhan, sistem proteksi yang dirancang telah berfungsi dengan baik, aman terhadap gangguan, serta layak diterapkan pada sistem distribusi 20 kV.

2. Saran

Optimasi setting relay perlu dilakukan secara berkala dengan mempertimbangkan perubahan konfigurasi jaringan, kapasitas beban, serta penambahan peralatan baru agar koordinasi sistem proteksi tetap optimal. Pemodelan sistem di ETAP juga sebaiknya dilengkapi dengan data aktual lapangan seperti impedansi saluran dan karakteristik transformator agar hasil simulasi lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya. Selain itu, diperlukan pengujian langsung di lapangan (testing dan commissioning) untuk memverifikasi hasil simulasi ETAP dan memastikan bahwa relay bekerja sesuai waktu serta arus setting yang telah ditentukan. Untuk penelitian selanjutnya, analisis dapat dikembangkan dengan memasukkan koordinasi multi-layer menggunakan Ground Fault Relay (GFR), Recloser, dan Fuse Cutout agar sistem proteksi menjadi lebih komprehensif dan adaptif terhadap kondisi sistem distribusi modern.

DAFTAR REFERENSI

- [1] R. A. Nugraha, "Simulasi Pengoperasian Over Current Relay Jaringan Distribusi 20KV Menggunakan Software Etap Di PT Medco Energy Grati," *J. n.a Infotama*, vol. 20, no. 2, hlm. 653–659, Okt 2024, doi: 10.37676/jmi.v20i2.6574.
- [2] D. Marsudi, "OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK".
- [3] A. Azis dan I. K. Febrianti, "ANALISIS SISTEM PROTEKSI ARUS LEBIH PADA PENYULANG CENDANA GARDU INDUK BUNGERAN PALEMBANG," *JA*, vol. 4, no. 2, hlm. 332, Des 2019, doi: 10.31851/ampere.v4i2.3468.
- [4] N. Nursalim, A. S. Sampeallo, dan A. P. L. Willi, "ANALISIS KOORDINASI DAN SETTING OVER CURRENT RELAY (OCR) PADA PEMAKAIAN DAYA SENDIRI PLTU SMS ENERGY MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0," *jme*, hlm. 100–109, Okt 2019, doi: 10.35508/jme.v0i0.1884.
- [5] F. Akbar dan T. Wrahatnolo, "Dampak Gangguan Beban Lebih terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo, Surabaya".
- [6] S. A. Nugroho, "INVESTIGASI TEGANGAN LEBIH TRANSIEN AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA GARDU INDUK 150 KV," *JEE*, vol. 5, no. 1, Mei 2021, doi: 10.21831/jee.v5i1.39315.
- [7] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, dan M. H. Hidayat, "Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3," vol. 2, 2021.
- [8] B. D. Prabowo, A. Harjanto, dan N. R. Alham, "Relay RELAY COORDINATION OF OVER CURRENT PROTECTION RELAY (OCR) ON IEEE 7 BUS MODIFIED SYSTEMS BASED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)," *JME*, Mei 2023, doi: 10.35508/jme.v0i0.9831.
- [9] N. A. Darmanto dan S. Handoko, "ANALISA KOORDINASI OCR - RECLOSER PENYULANG KALIWUNGU 03," vol. 11, no. 1, 2006.
- [10] H. Prasetyo, A. Fadli, dan F. Renaldi, "Improved Over Current Relay (OCR) Coordination Using Time Multiple Setting (TMS)," *MATEC Web Conf.*, vol. 402, hlm. 02001, 2024, doi: 10.1051/mateconf/202440202001.