



## ANALISA SETTING KOORDINASI PROTEKSI OVER CURRENT RELAY TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN DISTRIBUSI

**Yosua Riandi Situmorang**

Universitas Negeri Medan

**Ray Yabes Putra Zebua**

Universitas Negeri Medan

**Alfitrah**

Universitas Negeri Medan

**Desman Jonto Sinaga**

Universitas Negeri Medan

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

Korespondensi penulis: [xdyosuasitumorang196@gmail.com](mailto:xdyosuasitumorang196@gmail.com)

**Abstract.** *This study discusses the analysis of Over Current Relay (OCR) protection coordination against short circuit faults in electric power distribution systems. The reliability of the protection system is highly dependent on the relay's ability to work quickly, precisely, and selectively in isolating faults without shutting down other areas that are still operating normally. In this study, system modeling is carried out using available network data, components, and OCR characteristics, then a fault simulation is carried out using ETAP software. Calculation of short circuit current and determination of relay setting parameters, namely current setting (Iset) and time multiplier setting (TMS), was carried out based on the inverse standard curve according to the IEC 60255 reference. The analysis results show that the relay on the downstream side works faster than the upstream relay with a coordination time difference of around 0.3–0.5 seconds. The resulting Time Current Characteristic (TCC) curve shows that the relay working sequence has fulfilled the selectivity principle, where the OCR closest to the fault point works first, while the upstream relay acts as a backup. Simulations also showed that the implemented OCR settings improved system reliability in responding to short-circuit faults and minimized the potential for widespread outages. Thus, proper OCR coordination has proven critical to maintaining the stability, safety, and continuity of power supply in the distribution network.*

**Keywords:** ETAP, overcurrent relay, protection system, relay coordination, Distribution system

**Abstrak.** Penelitian ini membahas analisis koordinasi relai arus lebih terhadap gangguan hubung singkat pada sistem distribusi tenaga listrik. Keandalan sistem proteksi sangat bergantung pada kemampuan relay untuk bekerja secara cepat, tepat, dan selektif dalam mengisolasi gangguan tanpa memadamkan area lain yang masih beroperasi normal. Pada studi ini dilakukan pemodelan sistem menggunakan data jaringan, komponen, serta karakteristik OCR yang tersedia, kemudian dilakukan simulasi gangguan menggunakan perangkat lunak ETAP. Perhitungan arus hubung singkat dan penentuan parameter setting relai, yaitu pengaturan arus dan pengaturan waktu pengali dilakukan berdasarkan kurva standart invers sesuai acuan IEC 60255. Hasil analisis menunjukkan bahwa relai pada sisi hilir bekerja lebih cepat dibanding relai hulu dengan selisih waktu koordinasi sekitar 0,3–0,5 detik. Kurva TCC yang dihasilkan memperlihatkan bahwa urutan kerja relai telah memenuhi prinsip selektivitas, di mana OCR terdekat dengan titik gangguan bekerja terlebih dahulu, sementara relay hulu berperan sebagai backup. Simulasi juga menunjukkan bahwa pengaturan OCR yang diterapkan telah mampu meningkatkan keandalan sistem dalam merespons gangguan hubung singkat serta meminimalkan potensi pemadaman meluas. Dengan demikian, koordinasi OCR yang tepat terbukti penting untuk menjaga stabilitas, keselamatan, dan kontinuitas penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi.

**Kata kunci:** koordinasi relay, overcurrent relay, proteksi sistem tenaga, ETAP, sistem distribusi.

## **LATAR BELAKANG**

Sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan penting dalam menjaga kontinuitas dan keandalan pasokan energi bagi konsumen. Namun, sistem distribusi ini rentan terhadap gangguan — terutama gangguan hubung singkat (*fault*) — yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan, potensi bahaya keselamatan, serta pemadaman listrik secara luas. Untuk meminimalkan dampak tersebut, diperlukan sistem proteksi yang andal dan efektif (Adam and Jul 2024).

Salah satu komponen proteksi utama adalah *Over Current Relay* (OCR), yang dirancang untuk mendeteksi arus lebih (*overcurrent*) akibat gangguan dan secara cepat mengisolasi bagian yang bermasalah. Agar proteksi bekerja dengan optimal, setting OCR harus disesuaikan dengan karakteristik sistem termasuk konfigurasi jaringan, beban, jenis saluran, serta potensi arus hubung singkat. Tanpa koordinasi yang tepat, relay bisa bekerja secara tidak selektif: entah terlambat memutus gangguan atau malah memutus area yang tidak terganggu (Mohamed and Idris 2022).

Dalam banyak kasus nyata, koordinasi relay kurang diperhitungkan dengan matang. Relay hulu (dekat sumber) bisa saja bekerja sebelum relay hilir (dekat beban), atau sebaliknya, sehingga menyebabkan pemadaman area luas atau kegagalan proteksi. Oleh karena itu, evaluasi koordinasi OCR menjadi aspek kritis dalam desain dan evaluasi sistem proteksi (Rojni et al. 2022).

Penelitian ini hadir di tengah kebutuhan praktis dan akademis untuk memastikan bahwa setting OCR dibuat sesuai standar — dengan selektivitas, respons cepat, dan keandalan. Melalui pemodelan sistem distribusi, perhitungan arus hubung singkat, serta penentuan dan simulasi setting OCR, penelitian ini bertujuan menunjukkan bahwa koordinasi yang benar dapat meningkatkan stabilitas dan keselamatan sistem distribusi. Dengan demikian, hasilnya diharapkan menjadi acuan bagi perancang sistem proteksi maupun operator jaringan listrik dalam menerapkan setting OCR yang optimal (Rojni et al. 2022).

## **KAJIAN TEORITIS**

### **1. Over Current Relay (OCR)**

Over Current Relay (OCR) adalah salah satu perangkat proteksi utama pada sistem tenaga listrik yang berfungsi mendeteksi arus lebih yang timbul akibat gangguan seperti hubung singkat atau beban lebih. Relay ini bekerja ketika arus yang mengalir melebihi nilai pickup yang telah ditentukan.

Berdasarkan karakteristik kerjanya, OCR dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

#### **a) OCR Invers (Inverse Time Overcurrent Relay)**

Waktu kerja relay bergantung pada besar arus gangguan. Semakin besar arus yang melewati relay, semakin cepat waktu trip-nya. Karakteristik ini mengikuti kurva standar seperti *standard inverse*, *very inverse*, hingga *extremely inverse*, yang banyak digunakan dalam sistem distribusi untuk mencapai selektivitas waktu.

#### **b) OCR Definite Time**

Relay tipe ini memiliki waktu operasi yang tetap, tidak bergantung pada besar arus gangguan, selama arus tersebut sudah melampaui nilai pickup. Jenis ini sering digunakan sebagai pelengkap untuk membatasi waktu operasi pada kondisi tertentu.

#### **c) OCR Instantaneous**

Relay bekerja tanpa waktu tunda ketika arus gangguan melebihi nilai setelannya. Biasanya dipakai untuk merespons gangguan dengan arus sangat besar pada jarak yang dekat, guna menghindari kerusakan besar pada peralatan.

### **2. Koordinasi Proteksi**

Koordinasi proteksi merupakan proses pengaturan kerja beberapa relay agar sistem proteksi bekerja secara selektif dan berurutan. Tujuannya adalah memastikan

bahwa relay yang paling dekat dengan lokasi gangguan (proteksi utama) bekerja lebih dahulu, sementara relay di sisi hulu berfungsi sebagai cadangan jika proteksi utama gagal bekerja. Prinsip koordinasi proteksi meliputi:

- a) Selektivitas  
Relay harus memutus gangguan hanya pada bagian yang terdampak, bukan seluruh sistem.
- b) Kecepatan Operasi  
Relay harus mampu bekerja secepat mungkin untuk membatasi kerusakan thermal maupun mekanis pada peralatan.
- c) Keandalan  
Semua relay harus bekerja konsisten sesuai setelan dan karakteristik pabrikannya.

Dalam penerapannya, koordinasi membutuhkan pengaturan parameter seperti *current setting (Iset)* dan *time multiplier setting (TMS)* agar kurva karakteristik relay hilir selalu berada di sebelah kiri–bawah kurva relay hulu pada diagram TCC. Batas minimum selisih waktu operasi, yang dikenal sebagai *coordination time interval (CTI)*, umumnya berada pada kisaran 0,3–0,5 detik (Bui et al. 2021).

### **3. Setting OCR**

#### **a. Setting Arus OCR**

Merupakan arus minimum yang menyebabkan relay mulai bekerja. Tujuan pengaturan setting arus OCR adalah untuk memastikan relay arus lebih mampu mendeteksi dan merespons arus gangguan secara akurat tanpa mengganggu kontinuitas operasi normal jaringan. Rumus menghitung arus setting OCR adalah sebagai berikut :

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1,1 \times I_b$$

Dimana :

$I_{set}$  = Arus seting (A)

$I_b$  = Arus beban

#### **b. Setting Waktu TMS**

Merupakan faktor pengali waktu pada kurva relay arus lebih (OCR). Nilai TMS menentukan berapa lama relay akan bekerja setelah pickup arus tercapai.. Rumus menghitung TMS adalah sebagai berikut :

$$T_{ms} = \frac{\Delta t \times \left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (\text{Hambali et al. n.d.})$$

Dimana :

$\Delta t$  = selisih waktu operasi relay

$I_{set}$  = Arus seting (A)

$I_f$  = Arus gangguan tiga fasa

### **4. Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan hubung singkat merupakan penyebab utama arus lebih dalam sistem tenaga listrik. Gangguan seperti tiga fasa, dua fasa, ataupun fasa-ke-tanah menyebabkan arus mengalir jauh melebihi nilai nominal, sehingga berpotensi merusak peralatan dan menurunkan tegangan sistem. Oleh sebab itu, analisis arus hubung singkat diperlukan untuk menentukan setting OCR, terutama untuk menetapkan nilai pickup dan instantaneous agar relay mampu merespons gangguan secara cepat dan tepat. (Putri and Muthalib n.d.)

## **METODE PENELITIAN**

### **1. Desain Penelitian**

Penelitian ini menerapkan desain penelitian kuantitatif berbasis simulasi dengan metode eksperimental. Perangkat lunak ETAP dimanfaatkan sebagai alat utama untuk memodelkan jaringan tenaga listrik, melakukan proses simulasi, dan mengevaluasi karakteristik kerja sistem proteksi. Pendekatan berbasis simulasi dipilih karena penelitian tidak menggunakan data lapangan secara langsung, melainkan memanfaatkan data skenario yang diatur secara terkontrol untuk mengamati respons dan kinerja proteksi pada sistem.

### **2. Data Parameter**

Berikut ini merupakan data-data parameter yang digunakan pada simulasi ETAP, antara lain:

**Tabel 1. Data Sumber (*Power Grid*)**

ID	Rating	Daya Nyata	Daya Semu	SC Rating (3 phase)
Power Grid	70 KV	1.43 MW	0.291 Mvar	800 MVAsc

**Tabel 2. Data Transformator**

ID	Rating Tegangan	Rating Daya
Trafo	70 KV / 20 KV	40 MVA

**Tabel 3. Data Saluran**

	Panjang	Ukuran	Tipe	Source	Frekuensi
kabel 1	6 km	150 mm	AL	SPLN	50
kabel 2	1 km	95 mm	AL	SPLN	50
kabel 3	1 km	95 mm	AL	SPLN	50

**Tabel 4. Circuit Breaker**

	Rating	Model
CB 1	72.5 KV	25HKSA1000
CB 2	25 KV	25HKSA1000
CB 3	25 KV	25HKSA1000
CB 4	25 KV	25HKSA1000

**Tabel 5. Relay OCR**

	Produsen	Model	Tipe Kurva
OCR 1	Alstom	P120	Standar Inverse
OCR 2	Alstom	P120	Standar Inverse
OCR 3	Alstom	P120	Standar Inverse
OCR 4	Alstom	P120	Standar Inverse

**Tabel 6. Data Beban**

	Rating	PF %
Lumped Load 1	500 KVA	95
Lumped Load 2	1000 KVA	95

### 3. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Penelitian ini tidak menggunakan data langsung dari lapangan, melainkan memanfaatkan dua sumber data utama, yaitu:

a. Data Input Simulasi

Terdiri atas nilai impedansi, kapasitas beban, rating transformator, parameter relay, serta konfigurasi jaringan. Seluruh data ini diperoleh dari referensi teknis, manual peralatan sistem tenaga, serta asumsi-asumsi yang mengacu pada standar IEC/IEEE.

b. Dokumentasi Hasil Simulasi

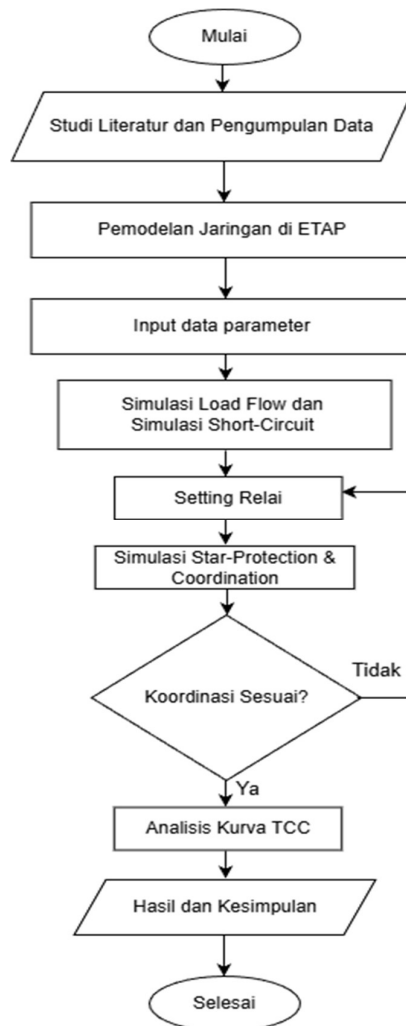
Meliputi:

1. keluaran analisis aliran daya yang mencakup arus nominal, profil tegangan, dan rugi-rugi daya;
2. hasil analisis hubung singkat, khususnya arus gangguan tiga fasa;
3. hasil analisis proteksi dan koordinasi berupa kurva TCC.

Instrumen penelitian yang digunakan adalah perangkat lunak ETAP versi 2021 sebagai media utama pemodelan dan analisis sistem.

### 4. Flowchart Penelitian

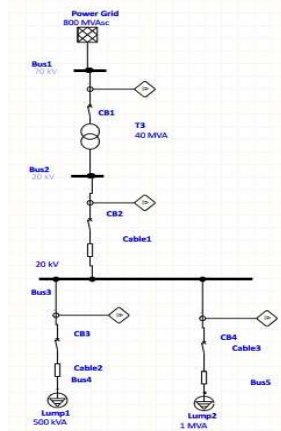
Berikut ini merupakan (flowchart) dari penelitian yang dilakukan:



**Gambar 1. Flowchart penelitian**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

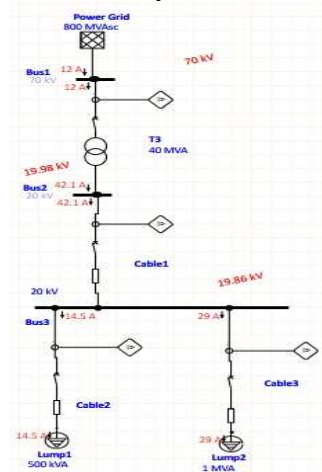
Penelitian ini dilakukan secara berbasis simulasi di Laboratorium Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara, pada periode November 2025 dengan menggunakan ETAP 2021 sebagai alat analisis utama. Karena tidak melibatkan pengukuran lapangan, data penelitian diperoleh melalui proses input parameter sistem tenaga secara eksperimental yang merujuk pada standar IEC/IEEE dan literatur proteksi tenaga listrik. Parameter yang dimasukkan mencakup rating sumber (grid), impedansi transformator, impedansi saluran, serta arus beban nominal pada setiap CT. Seluruh parameter tersebut kemudian menjadi dasar dalam melakukan analisis hubung singkat serta penyusunan koordinasi relay sesuai konfigurasi single line diagram (SLD) sistem.



Gambar 1. Rangkaian Single Line Diagram

## 1. Analisis Aliran Daya

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah melakukan *run load flow* pada sistem yang telah dimodelkan di ETAP 2021. Analisis aliran daya diperlukan untuk mengetahui kondisi operasi sistem dalam keadaan normal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh bus berada dalam batas tegangan yang diizinkan, dengan deviasi tegangan masih berada dalam kisaran toleransi standar operasi sistem distribusi. Arus nominal yang mengalir pada tiap penyulang dan trafo juga berada di bawah batas termal penghantar dan CT, sehingga sistem dinyatakan aman beroperasi dalam kondisi normal.



Gambar 2. Pengecekan Aliran Daya

Hasil load flow ini juga memperlihatkan terjadinya rugi-rugi daya (losses) pada saluran distribusi, meskipun nilainya masih dalam batas wajar untuk konfigurasi jaringan yang digunakan. Nilai arus nominal pada masing-masing OCR kemudian digunakan sebagai acuan dalam menetapkan *pickup current* (*Iset*) dengan mempertimbangkan faktor keamanan—umumnya sebesar 1,1 kali arus beban maksimum.

**Tabel 7. Data Arus Beban dan Arus Setting**

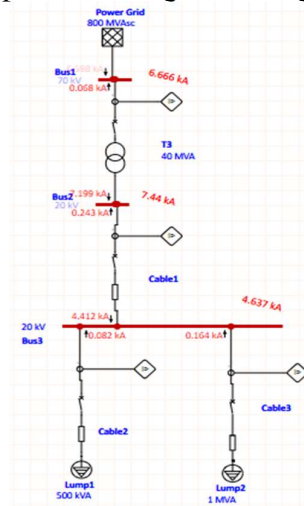
keterangan	Relay 1	Relay 2	Relay 3	Relay 4
Arus beban (Inom) (A)	12	42.1	14.5	29
Arus seting [ $I_{set} = 1.1 \times I_{nom}$ ] (A)	13.2	46.31	15.95	31.9

Dengan demikian, hasil analisis aliran daya memastikan bahwa sistem berada dalam kondisi stabil dan layak untuk dilanjutkan ke tahap perhitungan *short circuit* serta penyusunan koordinasi proteksi. Selain itu, parameter arus nominal dari load flow menjadi dasar utama dalam menentukan batas minimal setting OCR agar relay tidak bekerja pada kondisi beban normal namun tetap sensitif terhadap gangguan.

## 2. Simulasi Gangguan tiga Fasa

Tahap kedua pada penelitian ini adalah melakukan simulasi arus hubung singkat tiga fasa (three-phase short circuit fault) menggunakan ETAP 2021. Analisis ini bertujuan menentukan besarnya arus gangguan maksimum yang akan menjadi dasar utama dalam penetapan parameter proteksi, terutama pickup current dan time multiplier setting (TMS) pada relay dengan karakteristik standard inverse.

Simulasi dilakukan dengan menempatkan titik gangguan pada lokasi-lokasi strategis di jaringan, termasuk pada bus utama dan titik beban. Ketika simulasi dijalankan, ETAP menghitung arus gangguan berdasarkan impedansi sumber, transformator, saluran, serta konfigurasi sistem yang terdapat dalam single line diagram.



**Gambar 3. Hasil Simulasi Gangguan 3 Fasa**

Hasil analisis menunjukkan bahwa arus hubung singkat tiga fasa merupakan nilai arus gangguan terbesar pada sistem. Nilai ini menjadi acuan penting dalam pengaturan OCR, khususnya untuk menentukan:

- Arus setelan (*Iset*) agar relay tidak bekerja pada arus nominal namun tetap sensitif terhadap gangguan.

- b) TMS berdasarkan persamaan kurva standard inverse, di mana waktu operasi relay berbanding terbalik dengan besar arus gangguan.
- c) Instantaneous setting, apabila perlu, sebagai batas proteksi cepat untuk arus gangguan dengan magnitude sangat tinggi.

Dengan menggunakan kurva standard inverse, semakin besar arus hubung singkat yang terdeteksi, semakin cepat pula relay akan trip sesuai persamaan karakteristiknya. Simulasi ini memberikan dasar kuat untuk memastikan bahwa OCR dapat merespons gangguan tiga fasa secara tepat waktu dan tetap mempertahankan koordinasi dengan relay lainnya. Hasil arus hubung singkat ini kemudian digunakan pada tahap berikutnya untuk menghitung nilai Iset dan TMS serta membangun kurva koordinasi TCC yang menggambarkan selektivitas proteksi pada sistem.

### **3 Setting Over Current Relay (OCR)**

Penentuan setting OCR dilakukan berdasarkan hasil *load flow* dan simulasi arus gangguan tiga fasa. Parameter utama yang dihitung adalah *pickup current (Iset)* dan *time multiplier setting (TMS)* dengan menggunakan karakteristik standard inverse. Berikut perhitungan pada OCR 3 dan 4 :

#### **3.1 Setting OCR 3**

##### **a. Setting Arus OCR**

Ratio CT incoming = 150 / 5 A

Arus beban = 14,5 A

Arus hubung singkat 3 fasa = 4637 A

Dengan karakteristik standar inverse, didapatkan arus set pada sisi primer sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 1,1 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1,1 \times 14,5 \text{ A} = 15,95 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

##### **b. Setting Waktu TMS**

Arus hubung singkat 3 fasa = 4637 A

Delta t = 0.3 s

I set (primer) = 15,95 Ampere

Maka untuk menghitung nilai tmsnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{\text{ms}} &= \frac{\Delta t \times \left( \frac{I_{\text{f3}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ T_{\text{ms}} &= \frac{0,3 \times \left( \frac{4637 \text{ A}}{15,95 \text{ A}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \\ T_{\text{ms}} &= 0,257 \end{aligned}$$

#### **3.2 Setting OCR 4**

##### **a. Setting Arus OCR**

Ratio CT incoming = 150 / 5 A

Arus beban = 29 A

Arus hubung singkat 3 fasa = 4637 A

Dengan karakteristik standar inverse, didapatkan arus set pada sisi primer sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{\text{set (primer)}} &= 1,1 \times I_{\text{beban}} \\ &= 1,1 \times 29 \text{ A} = 31,9 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

##### **b. Setting Waktu TMS**

Arus hubung singkat 3 fasa = 4637 A

Delta t = 0.3 s



I set (primer) = 31,9 Ampere

Maka untuk menghitung nilai tmsnya adalah sebagai berikut:

$$T_{ms} = \frac{\Delta t \times \left( \frac{I_{f3}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$t_{ms} = \frac{0,3 \times \left( \frac{4637 A}{31,9 A} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T_{ms} = 0,224$$

Perhitungan dilakukan pada semua OCR agar sistem dapat berjalan dengan sempurna. Proses perhitungan menghasilkan nilai Iset dan TMS yang berbeda untuk setiap OCR, disesuaikan dengan lokasi relay dalam sistem. Relay hilir disetel lebih cepat, sedangkan relay hulu memiliki waktu operasi lebih lambat untuk menjaga selektivitas.

**Tabel 8. Data Settingan OCR**

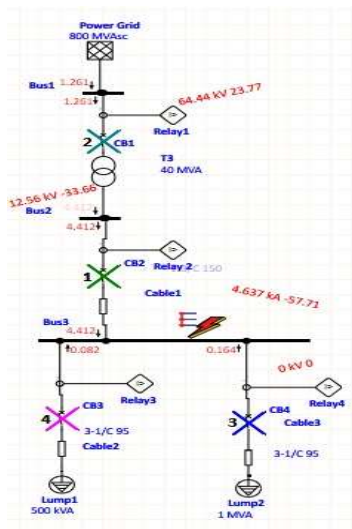
keterangan	Relay 1	Relay 2	Relay 3	Relay 4
Arus beban (Inom) (A)	12	42.1	14.5	29
Arus seting (Iset = 1.1 x Inom) (A)	13.2	46.31	15.95	31.9
Rating Current Transformer (CT)	150 / 5	150 / 5	150 / 5	150 / 5
Arus hubung singkat 3 fasa (A)	6666	7440	4637	4637
Waktu trip (t) >> Delta t = 0.3 s	0.9	0.6	0.3	0.3
Time Multiply Setting (TMS)	0.852248688	0.458247454	0.257427504	0.224382076
Jenis Kurva	Standar Inverse			

Dengan pendekatan ini, setiap OCR dapat bekerja sesuai urutan yang tepat saat terjadi gangguan, sehingga koordinasi proteksi pada sistem distribusi terpenuhi.

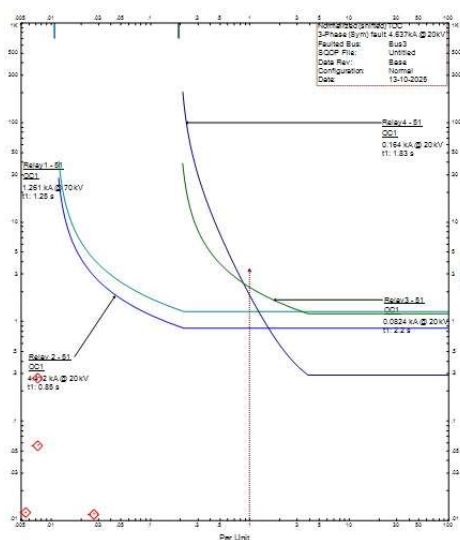
#### 4 Simulasi Koordinasi Over Current Relay (OCR)

Simulasi koordinasi OCR dilakukan menggunakan modul *Protection & Coordination* pada ETAP 2021 untuk memastikan bahwa seluruh relay bekerja secara selektif dan sesuai urutan proteksi. Pada tahap ini, kurva *Time Current Characteristic* (TCC) dari setiap relay—baik relay hulu maupun hilir—ditampilkan dan dianalisis berdasarkan karakteristik standard inverse.

##### 4.1 Simulasi Gangguan di Bus 3



Gambar 4. SLD Gangguan di Bus 3



Gambar 5. Grafik Gangguan di Bus 3

Ketika gangguan tiga fasa disimulasikan pada Bus 3, ETAP mendeteksi arus gangguan sebesar 4,637 kA, yang merupakan arus fault terbesar di jalur tersebut. Nilai ini kemudian menjadi acuan utama dalam pembentukan kurva koordinasi proteksi antar relay.

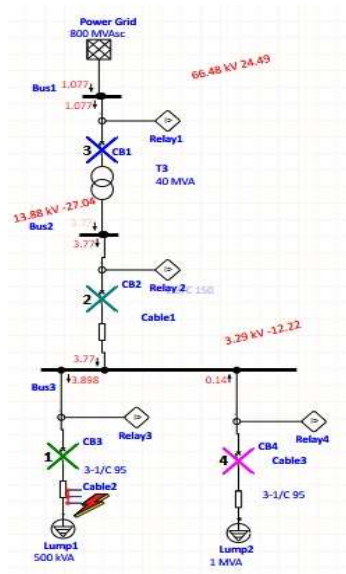
Pada kurva TCC yang dihasilkan, terlihat urutan kerja relay dengan karakteristik standard inverse yang telah disetel sebelumnya. Garis vertikal merah menunjukkan besarnya arus gangguan di Bus 3, sedangkan kurva-kurva masing-masing relay menggambarkan waktu operasi terhadap arus fault.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa Relay 2 yang berada paling dekat dengan Bus 3 memiliki kurva paling kiri dan waktu operasi tercepat. Kondisi ini menunjukkan bahwa Relay 2 akan menjadi relay pertama yang trip ketika gangguan terjadi, sehingga gangguan dapat diisolasi langsung pada penyulang yang terdampak.

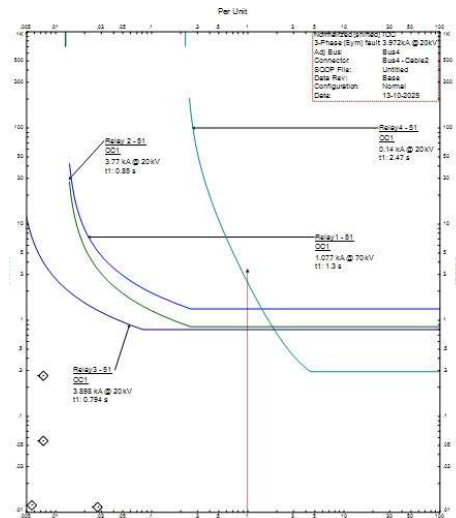
Selanjutnya, Relay 1, yang berada satu tingkat di atas Relay 2 dalam hierarki sistem, memiliki waktu operasi yang lebih panjang dengan margin sekitar 0,3–0,5 detik. Hal ini mengindikasikan bahwa Relay 1 berfungsi sebagai backup protection apabila Relay 2 gagal bekerja. Urutan trip relay selanjutnya adalah relay 4 kemudian relay 3, urutan tersebut sudah benar dan sesuai dengan standart

Secara keseluruhan, grafik TCC tersebut membuktikan bahwa koordinasi OCR telah berjalan dengan baik: relay hilir bekerja lebih cepat, sementara relay hulu tetap memberikan cadangan dengan selisih waktu selektif yang memenuhi standar proteksi. Dengan demikian, gangguan pada Bus 3 hanya akan memutus penyulang terkait tanpa memengaruhi kontinuitas suplai pada jalur lain.

#### 4.1 Simulasi Gangguan kabel 2



Gambar 6. SLD Gangguan di Kabel 3



Gambar 7. Grafik Gangguan di Kabel 3

Simulasi gangguan tiga fasa pada Kabel 2 menghasilkan arus hubung singkat sebesar 3,758 kA, sebagaimana ditunjukkan oleh garis vertikal merah pada kurva Time Current Characteristic (TCC). Lokasi gangguan ini berada pada bagian paling hilir dari sistem, sehingga menguji urutan kerja relay dalam memutus gangguan pada titik beban.

Hasil kurva TCC menunjukkan bahwa Relay 3 yang berada tepat di jalur menuju Lump Load 1 memiliki waktu operasi tercepat dengan kurva yang terletak paling kiri. Relay ini merespons gangguan pada waktu sekitar 0,79 detik, menandakan bahwa Relay 3 menjadi proteksi utama (*primary protection*) untuk beban Lump Load 1.

Di atasnya, Relay 2 memiliki waktu operasi lebih lambat, sekitar 0,85 detik, yang memberikan *grading time* aman terhadap Relay 1. Relay 2 bertindak sebagai *backup protection*, dan hanya akan bekerja jika Relay 3 gagal mengisolasi gangguan dan relay 4 yang akan trip terakhir. Kurva Relay 2 yang berada sedikit di kanan relay hilir menunjukkan koordinasi waktu yang telah disetel sesuai prinsip *standard inverse*.

Secara keseluruhan, kurva TCC membuktikan bahwa koordinasi proteksi telah berjalan optimal. Relay hilir (Relay 3) bekerja lebih cepat, diikuti Relay 2 dan Relay 1 dan relay 4 sebagai backup berurutan. Kondisi ini memastikan bahwa gangguan di Kabel 3 hanya memengaruhi penyulang terkait tanpa mengganggu operasi sistem secara keseluruhan.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa koordinasi proteksi menggunakan Over Current Relay (OCR) berbasis karakteristik *standard inverse* dapat diterapkan secara efektif pada sistem distribusi tenaga listrik dengan memanfaatkan simulasi ETAP. Hasil simulasi gangguan di Kabel 2 dengan arus gangguan sebesar 4,637 kA yang menunjukkan bahwa arus gangguan sudah melebihi batas aman dan menyebabkan OCR untuk bekerja. Koordinasi relay berjalan secara selektif dimana OCR 3 yang berada paling dekat dengan gangguan bekerja paling awal dengan waktu trip (0,794 detik) kemudian jika gagal di backup dengan OCR 2 (0,850 detik) kemudian OCR 1 (1,304 detik) kemudian OCR 4 (2,470 detik). Urutan operasi tersebut menunjukkan bahwa koordinasi relay telah diatur secara tepat, karena relay pada bagian hilir bereaksi lebih dulu sehingga gangguan dapat dibatasi hanya pada zona yang terkena tanpa memengaruhi bagian sistem lainnya. Dari hasil simulasi disimpulkan bahwa koordinasi OCR berjalan dengan cepat dan tepat tanpa ada keterlambatan ataupun *sympathetic trip* sesuai dengan standar IEC yang berlaku.

## **DAFTAR REFERENSI**

- Bui, Duong Minh, Phuc Duy Le, Thanh Phuong Nguyen, and Hung Nguyen. 2021. "Applied Sciences An Adaptive and Scalable Protection Coordination System of Overcurrent Relays in Distributed-Generator-Integrated Distribution Networks." *Distribusi, Sistem, and Tenaga Listrik*. 2024. "(1), 2), 3), 4)." 2:52–70.
- Hambali, Hadid, Adi Nugraha, Universitas Sultan, and Ageng Tirtayasa. n.d. "ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI OVERCURRENT RELAY ( OCR ) DAN GROUND FAULT RELAY ( GFR ) SETELAH PERGANTIAN CURRENT TRANSFORMER DI." 13(3).
- Mohamed, Siti Zulaikha, and Rasyidah Mohamad Idris. 2022. "Coordination of Overcurrent Relay in Distribution System." 21(2):50–53.
- Putri, Raihan, and Muchlis Abdul Muthalib. n.d. "Journal of Applied Electrical & Science Technology – University of PGRI Adi Buana Surabaya Short Circuit Current Analysis and Recloser Coordination in 20 KV Distribution Network Using Manual Calculation and ETAP Software Simulation Journal of Applied Electrical & Science Technology – University of PGRI Adi Buana Surabaya." 0(0):94–100.
- Rojni, Michele, Rene Prenc, Hrvoje Bulat, and Dubravko Frankovi. 2022. "A Comprehensive Assessment of Fundamental Overcurrent Relay Operation

- Optimization Function and Its Constraints.” 1–20.
- Ramli, S. P. I. L., Usama, M., Mokhlis, H., Wong, W. E. I. R. U., Hussain, M. H., Muhammad, M. A., & Mansor, N. N. (2021). *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences Optimal directional overcurrent relay coordination based on computationalintelligence technique : a review*. 29(3).
- Kamoon, A. A., Najm, A., & Alshabeeb, I. A. (2020). *New Method for OC Relay Coordination*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6312975>
- A. B. M. S. Azam, W. H. Schmidt, K. Elford, and C. Knudstrup, “Emergency Loading of a Transformer in a Coordinated Substation at Different Dynamic Loading Conditions,” *IEEE Open J. Ind. Appl.*, vol. 2, no. July, pp. 251–258, 2021, doi: 10.1109/OJIA.2021.3107743.
- I. E. Commission, “IEC 60255 Series Of Standards For Protection Functions And The Impact Of Distributed Generation On These Standards,” 2022.