



Analisis Sistem Proteksi dan Koordinasi Relay *Overcurrent* pada Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP

Hasan Yanmar Lubis

Universitas Negeri Medan

Debi Rahmadani

Universitas Negeri Medan

Lorency Elisabet Br Sembiring

Universitas Negeri Medan

Michael Sitorus

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: hasanyanmarlubis.5221230001@mhs.unimed.ac.id

Abstract. *This study aims to evaluate the response and coordination of overcurrent relays (OCR) in a simulated electrical power distribution system using ETAP. The system was modeled through a single-line diagram, followed by load flow and balanced three-phase fault simulations. The simulation at Bus B6 (0.41 kV) produced a three-phase fault current of 3.523 kA. Fault isolation operated selectively, where OCR8, located at the most downstream protection zone, responded the fastest with an operating time of 0.345 s, while OCR7 and OCR3 operated later as backup layers with coordinated time grading and no relay overlap. The decreasing fault current trend across the 20 kV buses confirms the influence of line impedance and distance, consistent with fundamental short-circuit theory. This study demonstrates that coordinated OCR schemes can serve as an initial academic reference before adaptation to real systems.*

Keywords: *distribution system, ETAP, overcurrent relay, protection system, relay coordination.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi respon dan koordinasi relai arus lebih pada sistem distribusi tenaga listrik menggunakan simulasi ETAP. Sistem dimodelkan melalui diagram satu garis, kemudian diuji dengan simulasi aliran daya dan gangguan tiga fasa. Hasil pada bus B6 (0,41 kV) menghasilkan arus gangguan 3,523 kA. Pemutusan berlangsung selektif, di mana OCR8 bekerja paling cepat pada 0,345 detik, sementara OCR7 dan OCR3 merespons lebih lambat sebagai proteksi cadangan dengan waktu bertingkat tanpa tumpang-tindih. Penurunan arus gangguan di bus 20 kV bagian sistem membuktikan pengaruh impedansi dan jarak saluran sesuai teori dasar kelistrikan. Studi ini menegaskan bahwa koordinasi OCR bertingkat dapat menjadi acuan awal perancangan proteksi akademik sebelum diterapkan ke sistem nyata.

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

LATAR BELAKANG

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik sangat bergantung pada kemampuan sistem proteksi dalam mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat, selektif, dan terkoordinasi. *Relay overcurrent* (OCR) merupakan salah satu perangkat kunci dalam sistem proteksi yang berfungsi memberikan respons ketika terjadi arus lebih pada jaringan. Jika koordinasi proteksi tidak disusun dengan benar, maka dapat terjadi kegagalan selektivitas yang mengakibatkan area pemadaman lebih luas serta menurunkan kontinuitas pelayanan energi listrik. Oleh karena itu, proses penentuan setting proteksi serta koordinasi antar relay menjadi aspek penting dalam perancangan sistem distribusi (Foqha et al., 2023; Ramli et al., 2021).

Penelitian terdahulu telah menyoroti pentingnya pengembangan metode optimasi koordinasi relay, termasuk penggunaan teknik komputasi evolusioner, pendekatan heuristik, serta pemodelan adaptif untuk jaringan modern. Terdapat beberapa penelitian menggunakan metode

seperti *genetic algorithm*, *grey wolf optimization*, dan pendekatan campuran untuk meningkatkan efisiensi koordinasi proteksi pada jaringan radial maupun *looped* (Aminian et al., 2024; Mohamedshareef et al., 2024). Selain itu, berbagai riset juga menekankan perlunya penyesuaian koordinasi proteksi pada sistem yang mengalami penetrasi *Distributed Generation* atau variasi kondisi operasi (Acevedo-iles et al., 2024)

Terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yang cukup signifikan, terutama terkait penerapan metode koordinasi OCR secara komprehensif pada sistem distribusi konvensional dengan memanfaatkan perangkat lunak analisis profesional seperti ETAP. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada jaringan *mikrogrid* atau sistem berskala besar, sedangkan kajian implementatif pada kasus nyata jaringan distribusi industri maupun utilitas masih terbatas (Paper et al., 2020). Menganalisis berbasis ETAP sangat penting karena *software* ini mampu mensimulasikan aliran daya, kurva karakteristik waktu-arus (TCC), serta interaksi antar relai secara akurat dan mendekati kondisi lapangan.

Urgensi penelitian ini semakin kuat mengingat meningkatnya kebutuhan keandalan sistem distribusi, pertumbuhan beban listrik, serta penggunaan peralatan elektronik sensitif yang memerlukan proteksi lebih presisi. Selain itu, diperlukan pemahaman yang lebih baik mengenai bagaimana parameter seperti *pick-up current* dan *time dial setting* mempengaruhi kinerja selektivitas proteksi, yang hingga kini masih menjadi tantangan dalam perancangan sistem distribusi (Afrizal, n.d.; Nugraha et al., 2022).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis koordinasi dan kinerja *relay overcurrent* pada sebuah jaringan distribusi menggunakan perangkat lunak ETAP. Penelitian meliputi pemodelan *single-line diagram*, penentuan parameter proteksi, analisis kurva TCC, serta evaluasi selektivitas relai. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi teknis pada pengembangan sistem proteksi distribusi serta menjadi rujukan dalam perancangan dan evaluasi proteksi di lingkungan akademis maupun industri.

KAJIAN TEORITIS

1. Sistem Proteksi Arus Lebih pada Sistem Tenaga

Sistem proteksi berfungsi mendeteksi dan mengisolasi gangguan agar tidak menyebar ke bagian lain dari sistem tenaga. Salah satu perangkat proteksi yang paling umum digunakan adalah *overcurrent relay* (OCR) yang bekerja berdasarkan besar arus yang mengalir dalam suatu elemen jaringan. OCR ditempatkan pada titik-titik strategis yang rentan terhadap gangguan sehingga mampu memutus arus lebih secara cepat dan selektif. Dalam koordinasi proteksi, relai harus diatur sedemikian rupa agar relai primer bekerja terlebih dahulu, sementara relai cadangan memiliki jeda waktu tertentu untuk menghindari trip yang tidak diperlukan (Kamoon et al., 2020).

Relai merupakan perangkat yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur adanya gangguan serta mengidentifikasi kondisi tidak normal pada peralatan listrik. Ketika ketidaknormalan terdeteksi, relai akan secara otomatis memerintahkan pemutus tenaga untuk membuka rangkaian, sehingga bagian sistem yang terganggu dapat segera dipisahkan. Selain itu, relai juga memberikan sinyal peringatan melalui indikator seperti bel atau lampu.

Kegagalan pada sistem pengamanan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Kegagalan yang terjadi pada relai itu sendiri.
2. Gangguan pada suplai arus atau tegangan yang diperlukan untuk mengoperasikan relai.
3. Kegagalan pada suplai arus searah yang digunakan untuk memicu pemutus beban (*tripping*).
4. Gangguan pada pemutus tenaga, baik karena kumparan trip tidak memperoleh suplai, kerusakan mekanis, maupun ketidakmampuan pemutus beban untuk memutus arus hubung singkat yang melebihi kapasitasnya.

2. **Over Current Relay (OCR)**

Relay arus lebih (*Over Current Relay/OCR*) beroperasi ketika terjadi gangguan hubung singkat yang menyebabkan peningkatan arus melebihi batas normal. Karena bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan tersebut, perangkat ini disebut sebagai relai arus lebih. Pada sistem proteksi modern, OCR umumnya dilengkapi dengan dua fungsi utama, yaitu proteksi arus lebih dan proteksi gangguan tanah (*Ground Fault Relay*). Dalam penerapannya, OCR dapat dikonfigurasi agar terkoordinasi dengan relay lain maupun dengan GFR melalui pengaturan waktu tunda. Pengaturan waktu ini, bersama dengan penentuan arus pickup, menjadi komponen penting dalam penetapan setelan relay untuk memastikan operasi yang selektif dan andal.

3. **Setting OCR**

1. *Setting* Arus Relai *Overcurrent* (I_s)

a. Batas Setting Minimum

Tujuan batas minimum adalah agar relai tidak trip saat arus beban maksimum, sehingga relai hanya bekerja saat gangguan, bukan saat sistem memikul beban penuh.

Rumusnya:

$$I_s = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_{maks}$$

Dimana:

I_s = Arus setting relai (Ampere / A)

K_{fk} = Faktor keamanan relai, nilainya 1,1 – 1,2

K_d = Faktor arus kembali

a. 0,7 – 0,9 → relai Definite time

b. 1,0 → relai Inverse

I_{maks} = Arus maksimum peralatan, biasanya arus nominalnya (I_n)

b. Batas Setting Maksimum

Agar sistem tetap selektif, relai wajib bekerja jika terjadi gangguan (short circuit) pada relai berikutnya (di hilir).

Batas setting maksimum diambil dari:

$$I_{smaks} = I_{hs2fasa} \text{ pada kondisi pembangkitan minimum}$$

Ini dilakukan saat sistem memiliki kontribusi arus terendah, supaya tetap memastikan relai masih bisa mendeteksi gangguan 2 fasa terendah.

c. Cara Setting Relai Definite

Metode umum definite relay:

$$I_s = k \times I_n$$

Keterangan:

k = Konstanta sesuai pabrikan relai, umumnya 0,6 – 1,4 atau 1,0 – 2,0

I_n = Arus nominal peralatan/trafo/generator (A)

Pada relai biasanya tersedia pilihan arus 2,5 A atau 5 A (kelipatan standar CT sekunder)

2) *Setting* Waktu Kerja Relai (t)

a. Prinsip Selektivitas

Agar relai tidak saling mendahului, waktu trip dibuat berjenjang dari ujung hilir ke hulu:

a) Relai paling ujung (hilir) diset 0,1 – 0,5 detik

b) Relai berikutnya (arah ke hulu):

$$t_{berikutnya} = t_{ujung} + \Delta t$$

c) Δt (grading time) = 0,3 – 0,5 detik

Hal ini membuat proteksi cepat, tapi tetap selektif.

b. Rumus Setting Waktu Definite

$$t = a \times Tms \times \left(\frac{I_{sc}}{I_{setting}} \right)^n - c$$

Keterangan:

t = waktu kerja relai (detik / s)

Tms = Time multiplier setting

Isc = Arus hubung singkat terkecil (kA)

In(setting) = arus setting relai (kA)

c = konstanta relay, nilainya 1 (standar)

n = konstanta eksponensial tergantung karakteristik relai

Tabel 1. Nilai variabel a dan n berdasarkan kurva karakteristik

No	Kurva Karakteristik	a	n
1	Standard Inverse (SI)	0,14	0,02
2	Very Inverse (VI)	13,5	1
3	Long Time Inverse (LTI)	120	1
4	Extremely Inverse (EI)	80	2

METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif berbasis simulasi dengan pendekatan eksperimental. Perangkat lunak *ETAP* digunakan sebagai platform utama untuk memodelkan sistem tenaga listrik, menjalankan simulasi, serta menganalisis karakteristik proteksi.

Pendekatan simulatif ini dipilih karena penelitian tidak menggunakan data real lapangan, melainkan data skenario yang diinput secara terkontrol untuk menguji perilaku proteksi sistem.

2. Data Parameter

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

Tabel 2. Data Sumber

ID	Rating (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Daya Semu (MVA)	SC rating (MVAsc)
Power Grid	150	0,117	-0,881	0,889	240

Tabel 3. Data Transformator

ID	Kapasitas (MVA)	Rating		Impe dansi	
		Input (kV)	Output (kV)	%Z	X/R
Transformator 1	30	150	20	12,5	45
Transformator 2	0,05	20	0,3	12,5	45
Transformator 3	0,1	20	0,4	4	1,5
Transformator 4	0,05	20	0,38	4	1,5

Tabel 4. Data Saluran

Kabel	Saluran Bus	Sumber	Frekuensi (Hz)	Tegangan (kV)	Panjang (km)
1	Bus 2-3	SPLN	50	20	10
2	Bus 3-5	SPLN	50	20	8
3	Bus 5 - 7	SPLN	50	20	10

Tabel 5. Data Beban

ID	Teg. (kV)	Kap. (kVA)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kvar)
Load 1	0,38	22	19,8	9,59
Load 2	0,3	23	19,55	12,12
Load 3	0,4	64,5	58,05	28,11

3. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Penelitian tidak menggunakan data lapangan, tetapi data dikumpulkan melalui:

a. Input Data Simulasi

Data berupa nilai impedansi, rating beban, rating trafo, parameter relai, serta konfigurasi sistem. Data ini diperoleh dari referensi teknis, manual sistem tenaga, atau asumsi standar berdasarkan IEC/IEEE.

b. Dokumentasi Hasil Simulasi

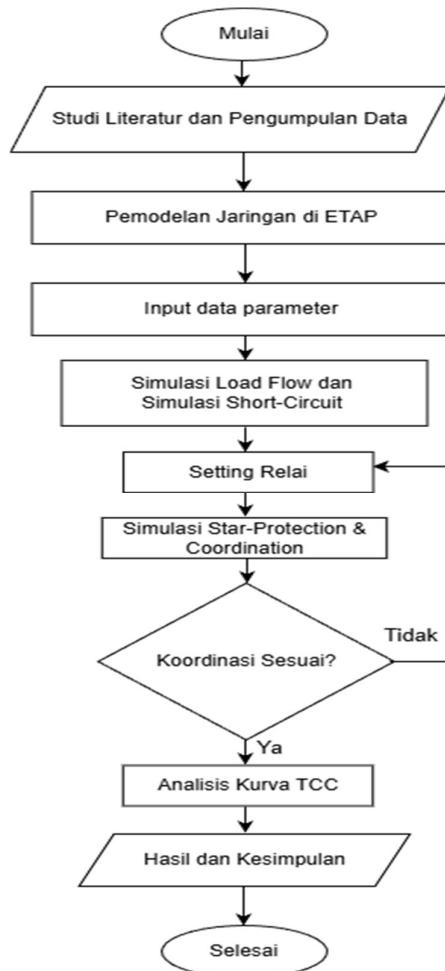
Berupa:

- a) Hasil *Load Flow Analysis* (arus nominal, tegangan, losses).
- b) Hasil *Short Circuit Analysis* (arus gangguan 3 fasa).
- c) Hasil *Protection and Coordination* (TCC curves).

Instrumen berupa perangkat lunak ETAP versi 2021 sebagai alat utama analisis.

4. Diagram Alir Penelitian

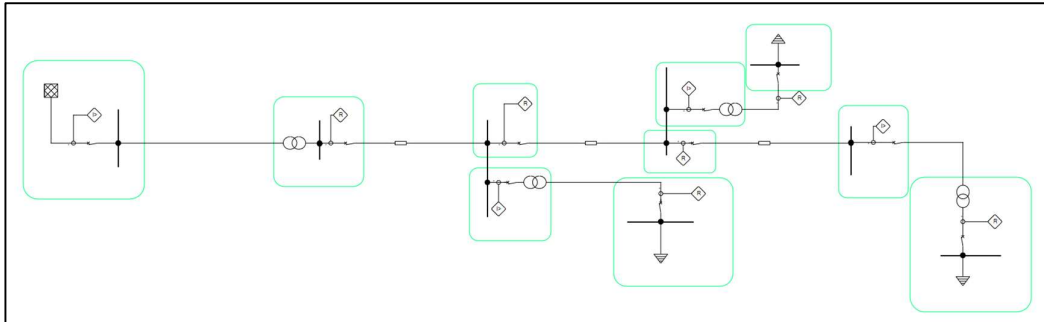
Berikut ini merupakan diagram alir (flowchart) dari penelitian yang dilakukan:



Gambar 1. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan secara simulatif di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatera Utara, dalam rentang waktu November 2025, menggunakan ETAP 2021 sebagai instrumen utama analisis. Karena penelitian tidak menggunakan data lapangan, maka proses pengumpulan data dilakukan melalui input parameter sistem tenaga secara eksperimental yang bersumber dari standar IEC/IEEE dan literatur sistem proteksi daya. Parameter yang dikumpulkan mencakup rating grid, impedansi transformator, impedansi saluran, dan arus beban nominal pada setiap CT, yang selanjutnya menjadi basis untuk analisis hubung singkat dan koordinasi relai sesuai struktur SLD sistem.



Gambar 1. SLD Sistem

Analisis Arus Hubung Singkat

Analisis hubung singkat menjadi tahapan awal dalam validasi desain proteksi. Impedansi grid sebesar 240 MVA pada 150 kV dikonversi ke basis sistem 60 MVA pada 20 kV, dan impedansi transformator serta saluran dihitung dalam satuan per-unit maupun aktual (Ω) untuk mendapatkan nilai arus gangguan maksimum (3 ϕ fault) dan minimum (2-fasa fault) pada masing-masing bus sistem distribusi.

1. Konversi Impedansi Sistem

Transformator utama pada sistem memiliki nilai impedansi 12,5%, yang setelah dikonversi sesuai dasar perhitungan sistem diperoleh nilai hambatan sebesar 0,25 pu atau setara 1,6667 Ω pada sisi 20 kV. Saluran kabel penyulang dimodelkan sepanjang total 10–28 km dengan impedansi per kilometer yang dijumlah secara kumulatif pada setiap bus setelahnya. Secara konsep, semakin panjang dan besar hambatan kabel yang dilewati arus, maka arus gangguan akan semakin berkurang.

2. Penentuan Batas Bawah Arus Gangguan

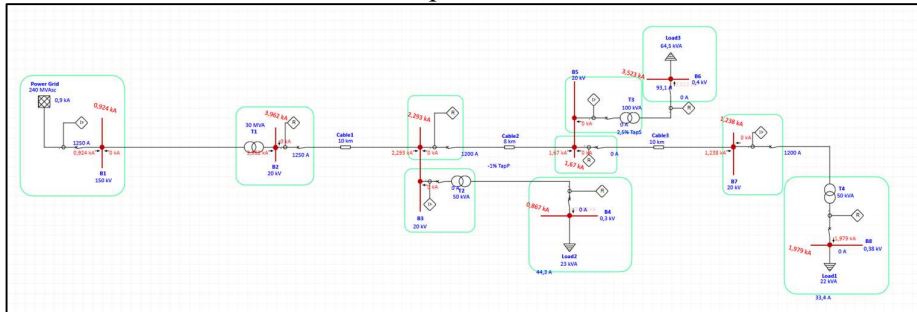
Setelah parameter sistem dikonversi, diperoleh rekap arus gangguan terbesar dan terkecil pada setiap bus. Nilai ini dijadikan acuan untuk menentukan relai mana yang harus merespons pertama dan mana yang disusun bertingkat sebagai proteksi cadangan secara berurutan di atasnya. Rekap hasil ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Arus Gangguan pada Setiap Bus

Bus	Tegangan Sistem (kV)	Arus Gangguan Terbesar (kA)	Arus Gangguan Terkecil (kA)
B1	150	0,924	0,800
B2	20	3,464	2,998
B3	20	2,616	2,266
B4	0,3	0,770	0,667
B5	20	2,122	1,838
B6	0,41	3,608	3,126

B7	20	1,693	1,467
B8	0,38	1,899	1,645

Hasil ini memperlihatkan pola yang sejalan dengan konsep dasar, bahwa walaupun B2, B3, B5, dan B7 berada pada tegangan 20 kV yang sama, arus gangguannya tidak sama karena hambatan yang dilewati arus semakin besar ke arah bus berikutnya. Karena itu, pengaturan relai harus memperhatikan nilai arus gangguan terkecil sebagai batas agar tetap mampu mendeteksi gangguan dengan akurat, sementara nilai gangguan terbesar dipakai menjadi acuan kemampuan maksimum sistem saat terjadi gangguan. Hasil simulasi short circuit bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi *Short Circuit*

Pengaturan Relai Proteksi Arus Lebih

Setelah nilai arus gangguan diketahui, pengaturan relai disusun melalui perhitungan arus pickup dan pengaturan waktu respon relai menggunakan karakter arus terbalik sesuai standar.

1. Penentuan Arus Pickup Relai

Nilai referensi 5% dari arus gangguan tiga fasa digunakan sebagai batas awal untuk melihat ambang tangkap relai. Hasil perhitungan awal pada sisi transformator dan perbandingan keluaran arus dari sensor arus (CT) ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 7. Rentang Awal Penentuan Pengaturan Relai

CT	Arus Beban Saat Mengalir (A)	Arus Tiga Fasa Saat Gangguan (kA)	5% dari Arus Gangguan (A)
1	3,4	0,924	46,2
2	25,7	3,962	198,1
3	16,6	2,293	114,65
4	0,665	2,293	114,65
5	44,3	0,867	43,35
6	9,1	1,670	83,50
7	1,9	1,670	83,50
8	94,5	3,523	176,15
9	0,632	1,238	61,90
10	33,3	1,979	98,95

2. Hasil Akhir Pengaturan Relai Arus Lebih

Nilai-nilai pada Tabel 7 kemudian disesuaikan dengan faktor keandalan pengaman dan rasio sensor arus, sehingga diperoleh hasil akhir pengaturan waktu dan arus pickup relai seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Akhir Pengaturan Relai Proteksi Arus Lebih

Relai	Arus Pickup (A)	Pengatur Waktu	Waktu Bekerja (detik)
1	0,0816	0,6471	0,56 – 0,72
2	0,1536	0,3946	Pengaman Cadangan
3	0,1328	0,3873	Pengaman Cadangan
4	0,00798	0,6028	0,60
5	10,632	0,1314	0,319
6	0,4057	0,4057	1,15
7	0,0228	0,5096	1,78
8	0,5670	0,1517	0,345
9	0,00758	0,5640	0,376
10	0,3996	0,1665	0,39

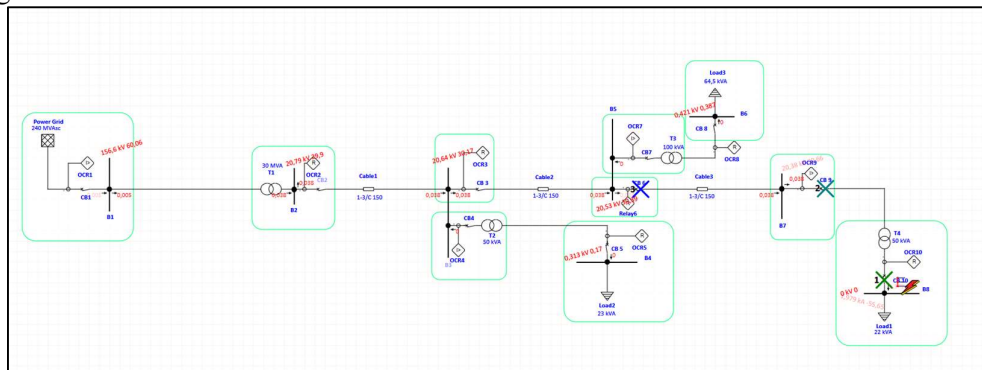
Secara alur, relai yang lebih dekat ke sisi beban (Relai 5, 8, 9, 10) disesuaikan memiliki arus pickup lebih besar dan bekerja lebih cepat, sedangkan relai yang berada di sisi awal sumber (Relai 1, 2, 3) diberikan pengaturan waktu lebih besar agar responnya lebih lambat, sehingga ketika gangguan terjadi di hilir sistem, relai pada jalur sebelumnya tidak langsung merespon lebih dulu, dan sistem dapat dikatakan telah tersusun secara selektif.

Pengujian Urutan Waktu Kerja Relai Berdasarkan Diagram Satu Garis

Pengujian dilakukan dengan memberikan skenario gangguan pada tiga lokasi utama yaitu Bus 8, Bus 6, dan Bus 4, karena ketiga titik ini mewakili tegangan rendah dan memiliki nilai arus gangguan tinggi pada sistem simulasi.

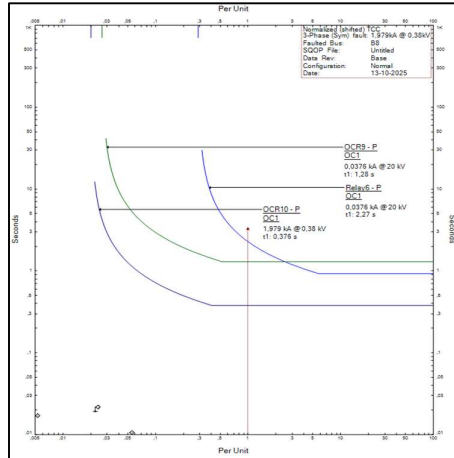
1. Gangguan di Bus 8

Ketika gangguan diberikan pada Bus 8, terlihat bahwa Relai 10 merespon paling cepat dalam 0,376 detik, lalu disusul Relai 9 dan Relai 6 secara bertingkat. Jeda waktu antar relai masih berada dalam rentang aman sesuai pengaturan proteksi berlapis, sehingga relai tidak saling mendahului dalam memisahkan bagian sistem yang mengalami gangguan.



Gambar 3. Gangguan di Bus 8

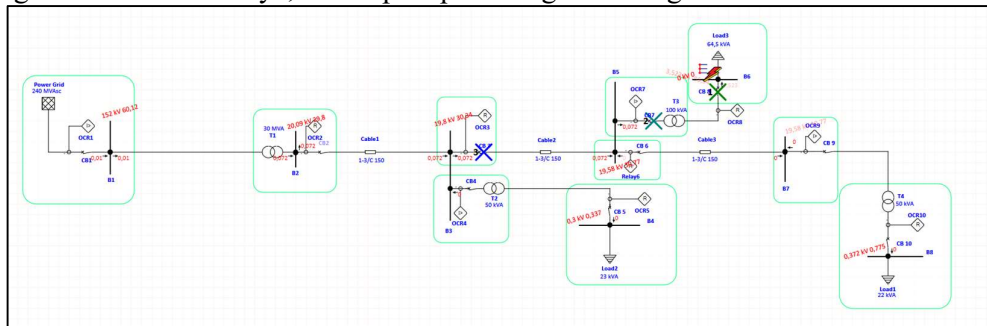
Analisis Sistem Proteksi dan Koordinasi Relay Overcurrent pada Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP



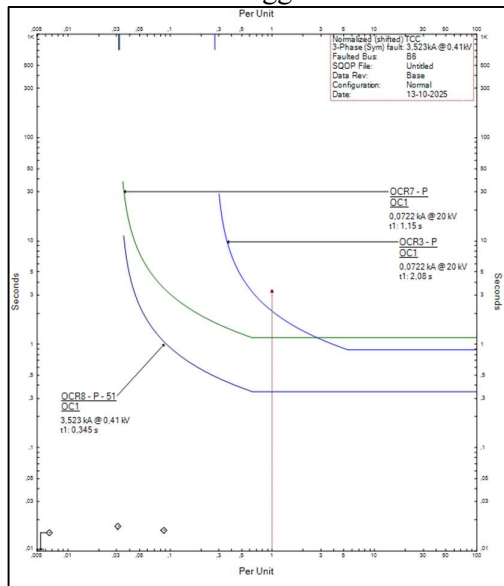
Gambar 4. TCC curve saat terjadi gangguan di bus 8

2. Gangguan di Bus 6

Pada scenario gangguan di Bus 6, Relai 8 bertindak paling cepat (0,345 detik) karena berada paling dekat pada jalur tersebut. Jika relai 8 tidak berhasil memisahkan gangguan, maka Relai 7 dan Relai 3 akan bekerja secara berurutan sebagai pengaman cadangan di sisi sebelumnya, sesuai peta pada diagram satu garis.



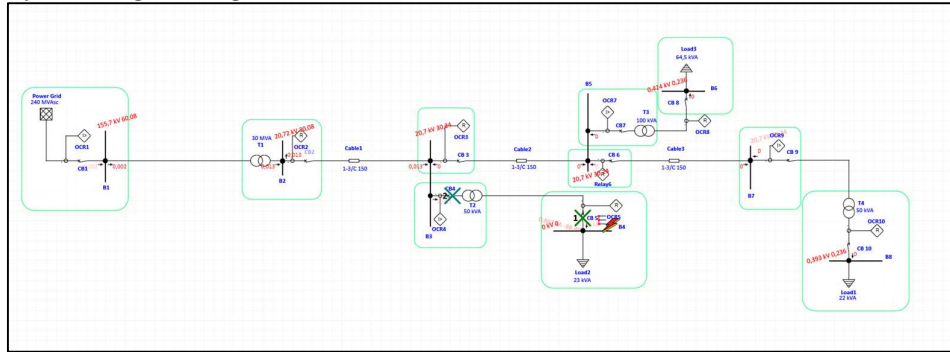
Gambar 5. Gangguan di Bus 6



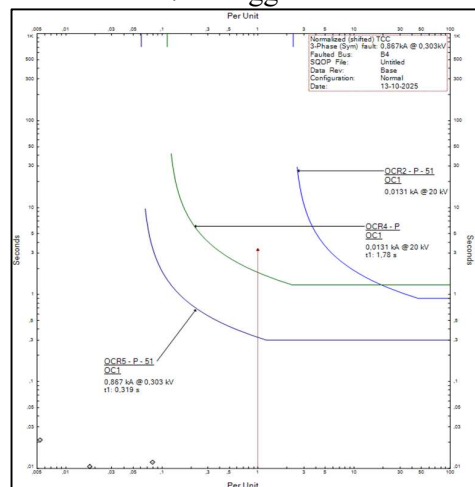
Gambar 6. TCC curve saat terjadi gangguan di bus 6

3. Gangguan di Bus 4

Gangguan di Bus 4 (20/0,3 kV melalui Transformator 2) melewati sensor arus 5, 4, dan 2. Hasil menunjukkan Relai 5 merespon paling cepat (0,319 detik), hanya memisahkan area beban setempat tanpa memengaruhi bagian sistem di atasnya. Susunan proteksi tetap bertahan, menunggu, dan tidak langsung memisahkan sistem lebih awal, sehingga pengaturan awal relai berhasil menjaga keterpisahan respon gangguan sesuai zonanya masing-masing.



Gambar 7. Gangguan di Bus 4



Gambar 8. TCC curve saat terjadi gangguan di bus 4

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi di bus B6, sistem distribusi tenaga listrik yang dimodelkan menghasilkan arus gangguan tiga fasa sebesar 3,523 kA pada tegangan 0,41 kV, yang menunjukkan tingkat gangguan cukup tinggi untuk skenario penyulang tegangan menengah–rendah. Pemutusan gangguan dilakukan secara selektif, di mana OCR8 sebagai proteksi terdekat bekerja paling cepat dengan waktu operasi 0,345 detik, sedangkan OCR7 (1,15 detik) dan OCR3 (2,08 detik) bekerja lebih lambat sebagai lapisan pengamanan cadangan, tanpa saling mendahului ataupun memutus area sistem lain di luar zona gangguan. Urutan kerja ini membuktikan bahwa koordinasi relai telah tersusun dengan benar, karena perangkat proteksi yang berada di sisi hilir merespons terlebih dahulu sehingga gangguan dapat diisolasi hanya pada area yang terdampak. Selain itu, pola penurunan arus gangguan pada bus-bus 20 kV setelah B3 hingga B7 memperlihatkan bahwa total impedansi saluran dan jarak lintasan gangguan memengaruhi besar arus fault,

sesuai teori dasar kelistrikan bahwa meningkatnya impedansi akan meredam arus gangguan yang mengalir.

DAFTAR REFERENSI

- Acevedo-iles, M., Romero-quete, D., & Cortes, C. A. (2024). *A Distributed Coordination Approach for Enhancing Protection System Adaptability in Active Distribution Networks*.
- Afrizal, M. (n.d.). *Over Current Relay Protection System Coordination Analysis and Ground Fault Relay on 20 KV Feeder Substations at Muara Tebo Substation*. 131–147.
- Aminian, M., Shahbazzadeh, M. J., & Eslami, M. (2024). Distance optimization and directional overcurrent relay coordination using edge - powered biogeography - genetic algorithms. *Journal of Cloud Computing*. <https://doi.org/10.1186/s13677-024-00672-2>
- Foqha, T., Khammash, M., Alsadi, S., Omari, O., Refaat, S. S., Al-qawasmi, K., & Elrashidi, A. (2023). *Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Hybrid Firefly – Genetic Algorithm*.
- Kamoon, A. A., Najm, A., & Alshabeeb, I. A. (2020). *New Method for OC Relay Coordination*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6312975>
- Mohamedshareef, R., Seyedi, H., Abapour, M., & Hosseini, S. H. (2024). *Optimal overcurrent relay coordination : Balancing costs , time performance and generator placement in fault current limiter optimization*. November 2023, 1431–1448. <https://doi.org/10.1049/gtd2.13136>
- Nugraha, A. T., Zaibah, S., & Ainudin, F. H. (2022). *Planning a Protection Coordination System Against Over Current Relays and Ground Fault Relays Using the Neural Network Method*. 216–222.
- Paper, F., Soewono, S., Noprianti, E., Barat, L. L., & Kosambi, D. (2020). *ANALYSIS OF OVER CURRENT RELAY AND GROUND FAULT RELAY PROTECTION SYSTEM IN SUB-STATION SP-2 TANAH MIRING USING RELAY COORDINATION WITH ETAP BASED*. 89–97.
- 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).
- Novfowan, A. D., Miftah, M., & Sungkowo, H. (2023). Analisis koordinasi relai proteksi transformator I GI Bumicokro akibat uprating daya. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(2), 112–117.
- Mohamed, S. Z., & Idris, R. M. (2022). Coordination of overcurrent relay in distribution system. *Elektrika*, 21(2), 50–53.
- Ibrahmusa, G. A., Joko, T. W., & Agung, A. I. (2022). Analisis koordinasi setting relay proteksi pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Brenggolo di PT PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare. *Jurnal Teknik Elektro*, 1, 28–36.
- Godwal, S. D., Pandya, K. S., Vora, S. C., Mehta, C. R., & Rajput, V. R. (2023). Optimal overcurrent relay coordination for interconnected power systems: A proper approach and improved technique. *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 5, 100248.
- Mhagama, G., Hamisi, N. Y., & Naiman, S. (2024). Review on coordination of time overcurrent relays in electrical distribution network. *Acta Technica Jaurinensis*,

- 17(3), 143–151.
- Putri, R. R., Muthlis, A., & Abdul Muthalib, M. (2025). Short circuit current analysis and recloser coordination in 20 kV distribution network using manual calculation and ETAP software simulation. *BEST: Journal of Applied Electrical & Science Technology*, 7(2), 94–100.
- Prawindu, M. W., Hasibbuan, M. I., Siahaan, H. P., Sinuraya, A., & Sinaga, D. J. (2025). Desain sistem proteksi overcurrent dan ground fault relay untuk jaringan tegangan menengah menggunakan ETAP 19.0.1. *Jurnal*
- Nursalim, N., Sampeallo, A. S., & Willi, A. P. L. (2021). Analisis koordinasi dan setting over current relay (OCR) pada pemakaian daya sendiri PLTU SMS Energy menggunakan software ETAP 12.6.0. *Jurnal Media Elektro*, 8(2), 97–102.
- ohammadi, R., Abyaneh, H. A., Rudsari, H. M., Fathi, S. H., & Rastegar, H. (2011). Overcurrent relays coordination considering the priority of constraints. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(3), 1927–1935.
- Ravlić, S., Marušić, A., & Havelka, J. (2017). An improved method for high impedance fault detection in medium voltage networks.
- Saberi, H., & Amraee, T. (n.d.). Coordination of directional over-current relays in active distribution networks using generalized Benders decomposition. Department of Electrical Engineering, K.N. Toosi University of Technology.