

Studi Pengaturan Sistem Proteksi *Undercurrent* pada Penyulang Interkoneksi Industri di PLN Sumatera Selatan

Ayu Mawadda Warohma^{1,3}, Firdaus Setiawan², Joni², Ardyono Priyadi¹, Dimas Anton Asfani¹, I Made Yulistya Negara¹

¹ Profesi Insinyur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

² PT PLN (Persero)

³ Teknik Elektro, Universitas Multi Data Palembang

Keywords:

Undercurrent Relay, *Loss of load*, Interkoneksi Industri, K3

Correspondent Email:

ayumawadda@mdp.ac.id

Abstrak. Interkoneksi antara sistem tenaga industri dan jaringan distribusi PLN meningkatkan keandalan suplai energi, namun juga menimbulkan potensi kondisi operasi abnormal, seperti *loss of load* akibat pelepasan beban besar secara tiba-tiba. Kondisi ini tidak menimbulkan arus gangguan, sehingga tidak dapat dideteksi oleh relay arus lebih maupun relay gangguan tanah. Penelitian ini membahas penerapan relay *undercurrent* (ANSI 37) sebagai proteksi tambahan untuk mendeteksi kondisi *loss of load* pada salah satu penyulang interkoneksi industri di wilayah Sumatera Selatan. Metode penelitian meliputi analisis kondisi eksisting sistem, penentuan setting relay *undercurrent*, konfigurasi relay Siemens Reyrolle 7SR10, serta pengujian menggunakan metode *secondary current injection*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa relay *undercurrent* bekerja secara andal ketika arus berada di bawah nilai *setting* dan tidak mengalami salah operasi pada kondisi normal. Hasil penelitian ini direkomendasikan sebagai upaya peningkatan keandalan sistem distribusi PLN serta penguatan aspek keselamatan ketenagalistrikan (K2) dan keselamatan dan kesehatan kerja (K3).



Copyright © [JPI](https://doi.org/10.23960/jpi.v7n1.340) (Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung).

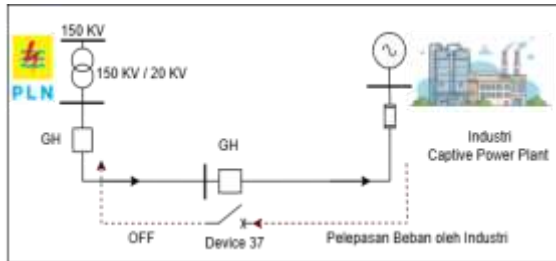
Abstract. The interconnection between industrial power systems and the PLN distribution network improves supply reliability but also introduces potential abnormal operating conditions, such as *loss of load* due to the sudden disconnection of large industrial loads. This condition does not generate fault current and therefore cannot be detected by conventional overcurrent or earth-fault relays. This study discusses the application of an undercurrent relay (ANSI 37) as an additional protection scheme to detect *loss of load* conditions on an industrial interconnection feeder in the South Sumatra region. The research methodology includes analysis of the existing system conditions, determination of undercurrent relay settings, configuration of a Siemens Reyrolle 7SR10 relay, and testing using the *secondary current injection* method. The test results show that the undercurrent relay operates reliably when the current falls below the set value and does not misoperate under normal operating conditions. The results of this study are recommended as an effort to improve the reliability of the PLN distribution system and to strengthen electrical safety (K2) and occupational health and safety (K3) aspects.

1. PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) terus melakukan penguatan sistem distribusi untuk meningkatkan keandalan pasokan tenaga listrik bagi pelanggan umum maupun industri [1].

Penyulang distribusi memiliki peran strategis dalam menyalurkan energi listrik ke berbagai wilayah layanan, termasuk pelanggan industri berskala besar. Seiring meningkatnya kapasitas beban dan kompleksitas jaringan, potensi

gangguan dan risiko operasi sistem juga semakin tinggi. Oleh karena itu, pengoperasian sistem distribusi yang andal memerlukan dukungan sistem proteksi yang mampu menjaga kontinuitas pelayanan serta melindungi peralatan [2],[3],[4].



Gambar 1 Ilustrasi kondisi *loss of load* akibat pelepasan beban sistem industri dari jaringan PLN

Pada umumnya, sistem proteksi distribusi dirancang untuk mendeteksi gangguan yang ditandai dengan kenaikan arus, seperti hubung singkat dan gangguan tanah. Dalam kondisi tersebut, relay arus lebih (50/51) dan relay gangguan tanah (50N/51N) bekerja untuk mengisolasi bagian sistem yang terganggu guna mencegah kerusakan peralatan dan meluasnya gangguan [3], [5], [6]. Namun, selain kondisi arus lebih, terdapat kondisi operasi abnormal lain yang tidak ditandai oleh kenaikan arus, yaitu *undercurrent*. *Undercurrent* merupakan kondisi ketika arus sistem turun di bawah nilai normal, yang umumnya disebabkan oleh hilangnya beban atau perubahan konfigurasi sistem secara tiba-tiba, seperti *loss of load*, *load rejection*, dan *load shedding* [6].

Pada sistem distribusi yang terinterkoneksi dengan pelanggan industri besar ditunjukkan pada Gambar 1, potensi terjadinya *loss of load* menjadi signifikan. Pelepasan beban industri secara tiba-tiba tidak menimbulkan arus gangguan, sehingga tidak dapat dideteksi oleh proteksi konvensional berbasis arus lebih. Kondisi ini menyebabkan penyulang tetap bertegangan tanpa beban, yang dapat meningkatkan risiko terhadap keselamatan instalasi dan petugas lapangan. Oleh karena itu, *undercurrent* tidak hanya berdampak pada keandalan sistem, tetapi juga berkaitan langsung dengan aspek keselamatan ketenagalistrikan (K2) dan keselamatan serta kesehatan kerja (K3).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan proteksi tambahan berupa relay *undercurrent* (ANSI device 37) yang mampu mendeteksi penurunan arus di bawah nilai *setting* tertentu dalam selang waktu tertentu sebagai indikasi terjadinya *loss of load*. Relay ini dapat dimanfaatkan untuk memberikan alarm, melakukan *blocking maneuver*, atau menginisiasi isolasi sistem sebelum kondisi berkembang menjadi permasalahan yang lebih serius.

Berdasarkan latar belakang tersebut, praktik keinsinyuran ini bertujuan untuk menganalisis penerapan relay *undercurrent* pada penyulang interkoneksi industri serta menentukan parameter setting yang sesuai dengan karakteristik sistem. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat berkontribusi dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi sekaligus memperkuat penerapan aspek K2 dan K3.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi

Sistem proteksi pada jaringan distribusi tenaga listrik bertujuan untuk mendeteksi kondisi gangguan dan mengisolasi bagian sistem yang terganggu secara cepat, selektif, dan andal [7], [8]. Tujuan utama dari sistem proteksi adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik, meminimalkan kerusakan peralatan, serta menjamin keselamatan instalasi dan personel.

Pada sistem distribusi, proteksi yang paling umum digunakan adalah relay arus lebih (*Overcurrent Relay/OCR*) dan relay gangguan tanah (*Ground Fault Relay/GFR*). Relay ini bekerja berdasarkan besarnya arus yang mengalir pada sistem. Gangguan seperti hubung singkat antar fasa, gangguan satu fasa ke tanah, dan beban lebih menyebabkan arus meningkat secara signifikan sehingga dapat terdeteksi oleh relay proteksi. Proteksi berbasis arus lebih telah menjadi pengamanan utama sistem distribusi karena sederhana, andal, dan mudah dikoordinasikan [5]. Namun, proteksi ini pada dasarnya hanya efektif untuk mendeteksi gangguan yang ditandai dengan kenaikan arus. Kondisi operasi abnormal yang tidak menimbulkan arus lebih umumnya tidak dapat dikenali oleh skema proteksi konvensional.

2.2. Konsep Loss of load

Loss of load adalah kondisi ketika terjadi penurunan atau hilangnya beban secara tiba-tiba pada sistem tenaga listrik, baik sebagian maupun keseluruhan. Kondisi ini dapat disebabkan oleh pemutusan beban besar, gangguan jaringan, trip peralatan proteksi, atau kegiatan pemeliharaan yang mengakibatkan beban terlepas dari sistem [9].

Dalam sistem distribusi, kondisi ini perlu dideteksi untuk mencegah gangguan lanjutan pada peralatan dan kestabilan sistem. Secara teknis, ini dapat menimbulkan beberapa dampak utama, yaitu penurunan arus secara signifikan (*undercurrent*), potensi gangguan kestabilan tegangan dan frekuensi, keselamatan petugas saat terutama saat pemeliharaan/perawatan serta meningkatnya risiko kerusakan peralatan akibat operasi tanpa beban dalam waktu lama.

2.3. Prinsip Kerja Undercurrent relay

Undercurrent adalah kondisi dimana arus atau daya yang dikonsumsi oleh beban kurang dari nilai seharusnya. Dalam banyak kasus, kondisi *undercurrent* bisa sama berbahayanya dengan kondisi *overcurrent*, sehingga penting untuk memiliki perlindungan terhadap keduanya. Untuk memproteksi kondisi tersebut menggunakan *undercurrent relay (UCR)* dengan kode ANSI 37 [10]. UCR bekerja dengan cara memonitor arus beban (CT). Apabila arus yang mengalir pada *feeder* atau beban turun di bawah *setting minimum* (I_{set}) untuk waktu tertentu (t), maka relay akan memberi sinyal trip ke pemutus tenaga (*Circuit Breaker/CB*).

- Normal: Arus $\geq I_{set}$: relay tidak bekerja
- Abnormal (*undercurrent*): Arus $< I_{set}$: relay memberi perintah trip

Dengan demikian, UCR dapat digunakan sebagai proteksi tambahan untuk kondisi abnormal yang tidak dapat dideteksi oleh OCR.

2.4. Setting Undercurrent relay

Agar UCR dapat bekerja optimal, diperlukan pengaturan parameter yang tepat. Pengaturan parameter harus cukup sensitif untuk mendeteksi kondisi abnormal. Oleh karena itu, setiap parameter relay perlu ditetapkan dengan memperhatikan karakteristik beban, kondisi sistem distribusi, serta

koordinasi dengan proteksi lain. Parameter setting pada UCR adalah [11],[12]:

1. I_{set} (*Pickup Current*). Arus minimum yang menjadi batas sensitivitas relay

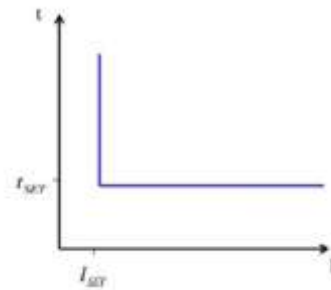
$$I_{set} = 0.25 \times I_n$$

dimana :

I_n = arus nominal (arus beban)

I_{set} = arus *setting primer*

2. Waktu tunda (t_{delay}) digunakan untuk menghindari salah operasi akibat transien atau perubahan beban sesaat. UCR menggunakan karakteristik *definite time* dimana setelah waktu T arus tetap di bawah I_{set} , relay akan trip.



Gambar 2. Kurva Definite Time [11]

Waktu operasi total relay (*operate time*) merupakan penjumlahan antara waktu respon internal relay (t_{basic}) dan waktu tunda yang disetting (t_{delay}), sehingga dapat dituliskan:

$$t_{operate} = t_{basic} + t_{delay}$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 yang meliputi :

- a. Relay proteksi digital Siemens Reyrolle 7SR10
- b. Perangkat lunak konfigurasi relay (*Reydisp Evolution*)
- c. Alat uji relay (*secondary current injector*)
- d. Peralatan pendukung (multimeter, laptop, kabel uji, dan perlengkapan K3)

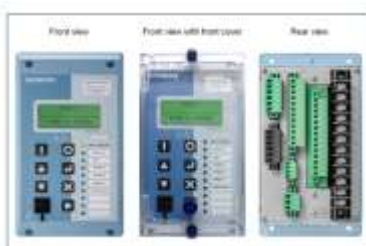
3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilaksanakan secara bertahap untuk memastikan bahwa penerapan relay *undercurrent* dilakukan berdasarkan kondisi lapangan, analisis teknis, serta pengujian yang terverifikasi. Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi:

- a. Survei Lapangan dan *Focus Group Discussion (FGD)*
Pada tahap ini melakukan diskusi terkait topik yang akan dikerjakan bersama pihak PT PLN UP2D S2JB Palembang. Langkah selanjutnya mendefinisikan permasalahan/studi kasus yang ada dan menentukan solusi bersama. Selain itu dilakukan studi literatur terdiri dari kajian teori relay, sistem distribusi, proteksi
- b. Pengumpulan Data Lapangan,
Proses pengumpulan beberapa data yang dibutuhkan seperti SLD, data beban penyulang, data relay serta setting eksisting, spesifikasi CT/VT dan Data interkoneksi industri
- c. Analisis Kondisi Eksisting,
Mengkaji terkait kondisi operasi penyulang berdasarkan data lapangan identifikasi arus normal, minimum, riwayat gangguan.
- d. Perhitungan dan penentuan *Setting Relay*
Menentukan *pickup current*, *time delay* sesuai standar/hasil analisis dan *hysteresis/reset margin*.
- e. Simulasi Sistem dan Pengujian
Simulasi sistem dilakukan dengan variasi kondisi *switching* guna mengevaluasi sensitivitas *setting* serta potensi *false trip*. Selanjutnya, pengujian relay dilakukan menggunakan metode *secondary current injection* yang dikendalikan melalui perangkat lunak *Reydisp Evolution*.



Gambar 4 Megger SVERKER 900 [13]

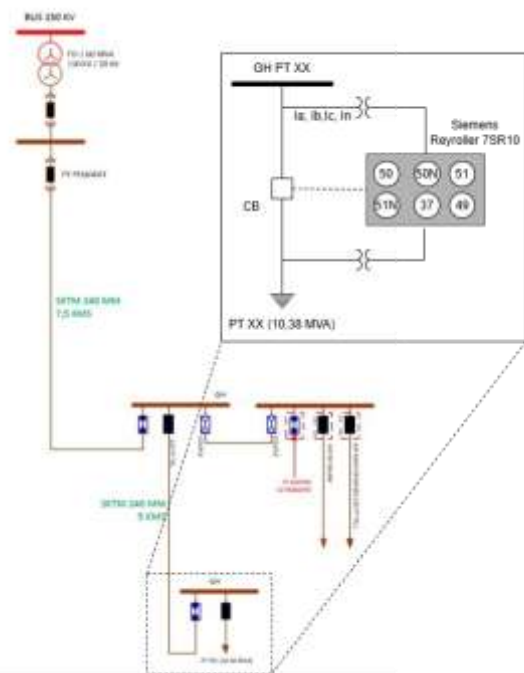


Gambar 3 Relay Siemens Reyrolle 7SR10 [14]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. *Single Line Diagram (SLD)* Penyulang

Gambar 5 memperlihatkan *Single Line Diagram (SLD)* penyulang interkoneksi 20 kV yang disuplai dari sistem 150 kV melalui transformator 150/20 kV di gardu induk. Penyulang menggunakan jaringan kabel tanah (SKTM) yang menyalurkan daya ke beberapa gardu hubung, termasuk GH PT XX sebagai titik interkoneksi dengan sistem industri.



Gambar 4 SLD dan Skema Proteksi di Penyulang

Pada sistem eksisting, relay proteksi yang digunakan adalah Siemens Reyrolle 7SR10, yang merupakan relay numerik multifungsi untuk aplikasi *feeder protection* ditunjukkan pada Gambar 4. Relay Siemens Reyrolle 7SR10 merupakan memiliki berbagai fitur proteksi, antara lain arus lebih (50/51), gangguan tanah (50N/51N), proteksi termal (49), serta *undercurrent* (ANSI 37). Keberadaan fungsi *undercurrent* pada relay ini memungkinkan implementasi proteksi *loss of load* tanpa penambahan perangkat baru.

Dengan mempertimbangkan aspek keandalan, ketersediaan fungsi proteksi, serta kondisi eksisting sistem, maka fungsi 37 *Undercurrent protection* pada relay Siemens Reyrolle 7SR10 digunakan sebagai objek penelitian dan evaluasi setting.

4.2. Perhitungan Setting Relay Undercurrent

a. Perhitungan arus nominal penyulang

Daya interkoneksi PT XXX dengan PLN adalah 10,38 MVA pada tegangan 20 kV dengan CT 300/5 A. Arus nominal penyulang dihitung dengan:

$$I_n = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_n = \frac{10.38 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = 299.6 \text{ A} \approx 300 \text{ A}$$

Arus nominal di sisi sekunder relay:

$$I_{n,relay} = \frac{I_{primer}}{CT \text{ rasio}} = \frac{300}{300/5} = 5 \text{ A}$$

b. Penentuan nilai arus setting (I_{set})

Untuk aplikasi *loss of load*, I_{set} umumnya ditentukan sebesar 10% – 30% dari arus nominal. Pada project ini dipilih I_{set} sebesar 25% atau sama dengan 0.25 arus nominal.

$$I_{set} = 0.25 \times I_n$$

$$I_{set} = 0.25 \times 300 = 75 \text{ A}$$

c. Penentuan waktu tunda (t_{delay})

Dalam studi ini ditentukan $t_{delay} = 0 \text{ s}$, sehingga relay *undercurrent* akan bekerja hampir seketika setelah arus terdeteksi berada di bawah nilai I_{set}

$$t_{operate} = t_{basic} + t_{delay}$$

$$t_{operate} = 0.035 + 0 = 0.035 \text{ s}$$

dengan t_{basic} merupakan waktu yang dibutuhkan relay untuk memproses sinyal, dan mengeksekusi logika internal. Berdasarkan spesifikasi relay Siemens Reyrolle 7SR10, nilai t_{basic} berada pada kisaran $35 \text{ ms} \pm 10 \text{ ms}$, sedangkan nilai t_{delay} dapat diatur sesuai kebutuhan sistem.

Selain pengaturan relay *undercurrent*, pada sistem eksisting juga dilakukan pengaturan terhadap fungsi proteksi relay 50/51/49 yang berfungsi sebagai proteksi utama, rangkuman *setting parameter* ditunjukkan pada tabel 4.1.

4.3. Kurva Karakteristik OCR 50/51 dan Undercurrent (37)

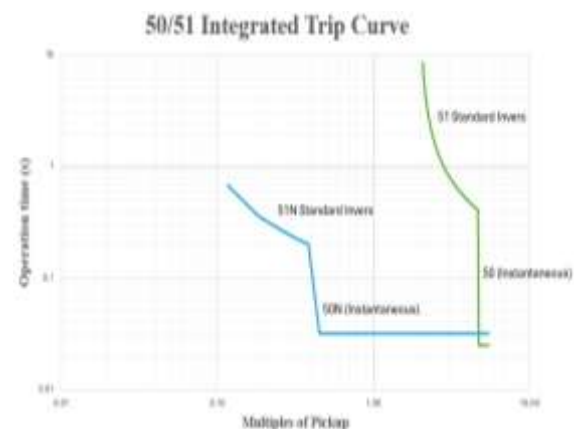
Kurva karakteristik relay merupakan representasi hubungan antara besar arus terhadap waktu kerja relay, yang digunakan untuk mengevaluasi kecepatan, sensitivitas, dan koordinasi antar fungsi proteksi. Pada sistem ini digunakan dua karakteristik yang berbeda, yaitu kurva waktu terbalik (*inverse time*) untuk relay arus lebih 50/51 dan kurva waktu tunda tetap (*definite time*) untuk relay *undercurrent* 37.

Gambar 5 menunjukkan kurva trip terintegrasi relay 50/51, di mana fungsi 51 (*standard inverse*) bekerja sebagai proteksi utama gangguan dengan karakteristik semakin besar arus maka semakin cepat waktu kerja relay. Fungsi 50 bekerja sebagai proteksi instan untuk gangguan arus sangat besar, sehingga pemutusan dapat dilakukan dalam waktu sangat singkat tanpa penundaan.

Sebaliknya, Gambar 6 menunjukkan kurva karakteristik relay *undercurrent* (UCR) yang menggunakan karakteristik *definite time*. Relay akan bekerja ketika arus turun di bawah nilai *pickup* dan bertahan selama waktu tertentu.

Tabel 4.1 Setting Parameter Relay

Parameter	Relay 37	Relay 51	Relay 50	Relay 51N	Relay 50N
Arus Nominal (I_n)	300	300	300	300	300
Time delay (T_{delay})	0 s	0.05 s	0 s	0.05 s	0 s
Arus Pickup (I_{set})	0.25 $\times I_n$	2 $\times I_n$	4.7 $\times I_n$	0.07 $\times I_n$	0.04 $\times I_n$



Gambar 5 Kurva karakteristik relay 50/51



Gambar 6 Kurva karakteristik relay *undercurrent* (ANSI 37)

4.4. Pengujian Setting Relay Proteksi

a) Pengujian *Under Current Relay* (37)

Berdasarkan hasil pengujian *undercurrent*, relay menunjukkan respon yang sesuai dengan prinsip kerja yang direncanakan. Pada saat arus sekunder sebesar 40 A dan 70 A, relay memberikan status trip, karena nilai arus berada di bawah nilai setting I_{set} . Pada arus 75 A, relay tidak bekerja karena berada tepat pada batas I_{set} , sedangkan pada arus 80 A, relay juga tidak bekerja karena berada di atas nilai setting.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Relay *Undercurrent*

No	I_{fasa}	t_{delay}	$t_{terukur}$	Status relay	keterangan
1	40	0	0	Trip	Dibawah I_{set}
2	70	0	0	Trip	Dibawah I_{set}
3	75	0	-	Tidak Trip	Batas I_{set}
4	80	0	-	Tidak Trip	Diatas I_{set}

Hal ini menunjukkan bahwa relay *undercurrent* mampu membedakan secara tegas antara kondisi arus di bawah setting dan di atas setting. Tidak adanya waktu tunda ($t_{delay} = 0$ s) menyebabkan relay bekerja hampir seketika ketika arus turun di bawah I_{set} .

b) Pengujian *Ground Fault / Earth Fault Relay* (50N/51N)

Hasil pengujian *ground fault* menunjukkan bahwa pada arus uji 21 A, relay tidak bekerja karena arus masih berada pada batas atau di bawah nilai pickup. Pada saat arus

dinaikkan menjadi 30 A dan 60 A, relay bekerja melalui fungsi 51N, dengan waktu trip yang semakin cepat seiring dengan bertambahnya arus. Perbedaan kecil antara waktu teoritis (t_{hitung}) dan waktu terukur (t_{ukur}) disebabkan oleh waktu operasi internal relay, waktu respon sistem pengujian, serta toleransi pengukuran.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Relay *Ground Fault*

No	I_{fasa}	t_{kurva}	$t_{terukur}$	Status relay	keterangan
1	21	-	-	Tidak Trip	Batas I_{set}
2	30	0.977	1.014	Trip (51N)	Diatas I_{set}
3	60	0.329	0.361	Trip (51N)	Diatas I_{set}

c) Pengujian *Over Current Relay* (51)

Berdasarkan tabel 4.4 menunjukkan bahwa relay mengikuti karakteristik *inverse time* dan setting kurva yang telah dikonfigurasi.

Berdasarkan spesifikasi Siemens Reyrolle 7SR10, waktu operasi internal relay berada pada kisaran $35 \text{ ms} \pm 10 \text{ ms}$. Oleh karena itu, selisih waktu pengujian yang berada dalam orde puluhan milidetik masih dapat dianggap normal dan dapat diterima secara teknis.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Relay *Overcurrent*

No	I_{fasa}	t_{kurva}	$t_{terukur}$	Status relay	Ket
1	300 ($1I_n$)	-	-	Tidak Trip	Batas I_{set}
2	400 ($1.3I_n$)	-	-	Tidak Trip	Dibawah I_{set}
3	750 ($2.5I_n$)	1.565	1.581	Trip	Diatas I_{set}
4	1200 ($4I_n$)	0.515	0.515	Trip	Diatas I_{set}

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa setting relay *undercurrent* yang ditentukan berdasarkan arus nominal sistem dan karakteristik relay, dengan mode *all phase* dan *definite time*, mampu membedakan kondisi operasi normal dan kondisi pelepasan beban. Hasil pengujian menggunakan *current injector*

membuktikan bahwa relay bekerja sesuai karakteristik yang direncanakan pada fungsi *undercurrent*, *overcurrent*, dan gangguan tanah. Implementasi relay *undercurrent* dapat meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem, serta memberikan kontribusi positif terhadap aspek keselamatan ketenagalistrikan (K2) dan keselamatan serta kesehatan kerja (K3)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Profesi Insinyur ITS Surabaya atas dukungan akademik, PT PLN (Persero) atas dukungan data, fasilitas, dan pendampingan teknis, serta Universitas Multi Data Palembang atas dukungan institusional dalam pelaksanaan praktik keinsinyuran ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero), "Keandalan listrik meningkat, PLN catat penurunan durasi dan frekuensi gangguan di 2024," Siaran Pers, Jakarta, 14 Feb. 2025. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2025/02/keandalan-listrik-meningkat-pln-catat-penurunan-durasi-dan-frekuensi-gangguan-di-2024>. Accessed on: Jan. 20, 2026.
- [2] F. Charbonnier, T. Morstyn, and M. D. McCulloch, "Coordination of resources at the edge of the electricity grid: Systematic review and taxonomy," *Appl. Energy*, vol. 318, p. 119188, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119188.
- [3] R. Bansal, Ed., *Handbook of Distributed Generation*. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-51343-0.
- [4] R. Desfiana, "Penerapan Partial Discharge Dalam Pemantauan Kondisi Dan Deteksi Anomali Pada Penyulang Pompa Ancol Di Gardu Induk Ancol," *J. Profesi Ins. Univ. Lampung*, vol. 6, no. 2, Dec. 2025, doi: 10.23960/jpi.v6n2.239.
- [5] Naili Shifa Mardiana, Rohmah Yuli Cahyani, Yehezkiel Billy Debyrantana, S. Sujito, and Moh Zainul Falah, "Electrical Protection Systems in Indonesia: Literature Review of Relay on Indonesian Articles Perspectives," *J. Electr. Comput. Exp.*, vol. 2, no. 1, pp. 32–37, Jun. 2024, doi: 10.59535/jece.v2i1.282.
- [6] J. L. Blackburn and T. J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [7] E. Arya, E. Ermawati, M. Machdalena, and J. Hendri, "Analisa Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Jaringan Distribusi 20 kV," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 2, pp. 755–764, Dec. 2024, doi: 10.37859/jst.v11i2.8731.
- [8] G. A. Ibrahimusa, J. Joko, T. Wrahatnolo, and A. I. Agung, "Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20 kV di PT. PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 12, no. 1, pp. 28–36, Jan. 2023, doi: 10.26740/jte.v12n1.p28-36.
- [9] Wayne, M. B. (2018). *Dealing with Power System Stability Issues with Low Load and Low Inertia Systems*.
- [10] IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations. doi: 10.1109/IEEESTD.2022.9984140.
- [11] H. D. Laksono, M. H. Hakim, R. Ikhlas, and R. A. Ramlee, "Design of Protection Relay Coordination Settings and Connecting to PLC Siemens S7-1500 For Load Shadding and HMI Display at PT. Semen Padang," *Andalas J. Electr. Electron. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 35–42, Nov. 2022, doi: 10.25077/ajeet.v2i2.24.
- [12] M. Muhtar, N. A. Amri, A. Nurfadhilah, and M. Ridhwan, "KONFIGURASI SETTING RELAY TEGANGAN NOL (RTN) PADA GARDU INDUK (GI) MASAMBA," *TECHNO-SOCIO Ekon.*, vol. 17, no. 2, pp. 219–231, Oct. 2024, doi: 10.32897/techno.2024.17.2.3838.
- [13] Megger, "Sverker 900 Relay and Substation Test System," Megger Product Page, 2024. [Online]. Available: <https://www.megger.com/en-ca/products/sverker-900-relay-and-substation-test-system>. [Accessed: Jan. 24, 2026].
- [14] Siemens, *Reyrolle 7SR10 Platform Catalogue – Edition 22*, Catalogue No. 109.809.561, 2022. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/561/109809561/att_1345600/v1/Reyrolle_7SR10_Platform_Catalogue_Edition_22.pdf. [Accessed: Jan. 24, 2026].