Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

Evaluasi Kinerja Relay Proteksi X30 Fungsi *Overcurrent* dan *Ground Fault* Berdasarkan Kurva IDMT IEC 60255 pada Panel Kubikel 20 kV

Danna Rayana Irfawan*, Irwanto
Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
*email: 2283230022@untirta.ac.id
DOI: 10.48144/suryateknika.v10i2.2575

Received: 22 September 2026 Revised: 31 Oktober 2026 Accepted: 2 November 2026

Abstract
Protection relays are essential components of medium-voltage switchgear, functioning to detect overcurrent and ground fault conditions. This study aims to analyze the performance of the X30 Protection Relay installed in a 20 kV medium-voltage switchgear. The study employed a quantitative descriptive method through observation, documentation, and relay testing. The tests were conducted using current variations of 280, 300, 400, and 600 A for the Overcurrent (OC) function, and 55, 60, 80, and 100 A for the Ground Fault (GF) function. Each current variation was tested three times, and the average operating time was used for analysis. The results showed that the relay did not trip at currents below the setting values, while it operated at currents reaching or exceeding the settings. The operating time ranged from 0.16 to 0.35 s for the OC function and from 0.23 to 0.36 s for the GF function. The operating time decreased as the test current increased, following the general response pattern of the IEC Normal Inverse characteristic. These findings indicate that the X30 Protection Relay responds to overcurrent and ground fault conditions according to the applied settings. However, further verification is required to establish its compliance with the applicable operating-time tolerance requirements.

Keywords: Protection relay; 20 kV switchgear; Overcurrent; ground fault; operating time

Abstrak
Relay proteksi merupakan komponen penting pada kubikel tegangan menengah yang berfungsi mendeteksi kondisi arus lebih dan gangguan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Relay Proteksi X30 yang terpasang pada kubikel tegangan menengah 20 kV. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif melalui observasi, dokumentasi, dan pengujian relay. Pengujian dilakukan menggunakan variasi arus sebesar 280, 300, 400, dan 600 A untuk fungsi *Overcurrent* (OC), serta 55, 60, 80, dan 100 A untuk fungsi *Ground Fault* (GF). Setiap variasi arus diuji sebanyak tiga kali, kemudian nilai rata-rata waktu operasi digunakan dalam analisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa relay tidak mengalami trip pada arus di bawah nilai setting, sedangkan relay bekerja ketika arus mencapai atau melebihi nilai setting. Waktu operasi relay berkisar antara 0,16–0,35 s pada fungsi OC dan 0,23–0,36 s pada fungsi GF. Waktu operasi cenderung semakin singkat seiring dengan meningkatnya arus pengujian, sesuai dengan pola respons karakteristik IEC Normal Inverse. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Relay Proteksi X30 mampu merespons kondisi arus lebih dan gangguan tanah sesuai dengan pengaturan yang diterapkan. Namun, verifikasi lebih lanjut masih diperlukan untuk memastikan kesesuaiannya terhadap persyaratan toleransi waktu operasi yang berlaku.

Kata kunci: Relay proteksi; kubikel 20 kV; arus lebih; gangguan tanah; waktu operasi

1. Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk kepada konsumen. Salah satu tingkat tegangan yang banyak digunakan pada jaringan distribusi adalah tegangan menengah 20 kV [1]. Dalam pengoperasiannya, jaringan distribusi 20 kV berpotensi mengalami gangguan, seperti hubung singkat antarfasa dan gangguan fasa ke tanah [2]. Gangguan tersebut dapat menimbulkan arus yang melebihi kondisi normal sehingga berpotensi mengganggu kontinuitas penyaluran energi listrik dan merusak peralatan. Oleh karena itu,

diperlukan sistem proteksi yang mampu mendeteksi gangguan dan memisahkan bagian sistem yang terganggu secara tepat. [3]. [4].

Salah satu komponen penting dalam sistem proteksi adalah relay proteksi yang mendeteksi kondisi gangguan dan memberikan perintah kepada *Circuit Breaker* (CB) untuk memutus rangkaian [5]. Fungsi proteksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Overcurrent* (OC) dan *Ground Fault* (GF). Fungsi OC digunakan untuk mendeteksi arus lebih, sedangkan fungsi GF digunakan untuk mendeteksi gangguan yang melibatkan tanah. Kinerja kedua fungsi tersebut berkaitan dengan pengaturan arus *pickup* dan waktu operasi relay.[3] Salah satu karakteristik waktu yang digunakan pada proteksi arus lebih adalah *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT), yaitu karakteristik yang menunjukkan bahwa waktu operasi relay semakin singkat ketika arus gangguan meningkat [6]. Persyaratan fungsional dan karakteristik proteksi arus lebih tersebut dibahas dalam standar IEC 60255-151 [7].[8]. Dengan demikian, evaluasi relay tidak cukup hanya dilakukan dengan melihat nilai pengaturannya, tetapi juga perlu mempertimbangkan respons operasi dan kesesuaiannya dengan karakteristik waktu-arus yang digunakan [9].[10].

Penelitian ini berfokus pada Relay X30 yang terpasang pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV di salah satu perusahaan industri gas. Data penelitian diperoleh melalui kegiatan praktik lapangan yang berkaitan dengan pemeliharaan peralatan kelistrikan di lingkungan industri. PT Haleyora Power merupakan tempat pelaksanaan kegiatan praktik lapangan, sedangkan identitas perusahaan tempat peralatan yang diteliti terpasang disamarkan untuk menjaga kerahasiaan perusahaan. Relay X30 yang menjadi objek penelitian memiliki fungsi proteksi *Overcurrent* (OC) dan *Ground Fault* (GF). Kedua fungsi proteksi tersebut dievaluasi berdasarkan respons trip dan waktu operasi pada beberapa variasi arus pengujian [11]. Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk meninjau respons relay terhadap parameter pengaturan yang diterapkan serta membandingkan waktu operasi hasil pengujian dengan karakteristik IDMT teoretis.

Penelitian terdahulu telah membahas pengaturan dan penerapan fungsi OC dan GF pada sistem tenaga listrik. Nova dan Syahrial mengkaji perhitungan *setting* OC dan GF pada sistem interkoneksi *diesel generator*, termasuk penentuan arus dan waktu kerja relay berdasarkan karakteristik proteksi [12]. Arya dkk. membahas analisis OC dan GF pada jaringan distribusi 20 kV dengan menitikberatkan pada penentuan pengaturan dan koordinasi relay [13]. Kajian-kajian tersebut memberikan landasan untuk memahami pengaturan fungsi proteksi pada sistem tenaga listrik. Namun, perhitungan pengaturan dan analisis koordinasi tidak dengan sendirinya menunjukkan bagaimana relay tertentu merespons pada kondisi pengujian di instalasi yang diteliti. Oleh karena itu, hasil pengujian terhadap perangkat yang digunakan di lapangan diperlukan sebagai dasar untuk mengevaluasi respons aktualnya.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini diarahkan pada evaluasi kinerja Relay X30 melalui pengujian fungsi OC dan GF pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV. Fokus evaluasi meliputi kondisi *trip*, waktu operasi pada variasi arus pengujian, serta perbandingan hasil pengujian dengan waktu operasi teoretis berdasarkan kurva IDMT IEC 60255 sesuai parameter pengaturan relay. Pembeda penelitian ini terletak pada penggunaan data pengujian Relay X30 di lokasi penelitian untuk menelaah perbedaan antara respons aktual dan karakteristik waktu-arus teoretis, bukan hanya membahas perhitungan atau penentuan *setting*. Perbandingan tersebut juga menjadi dasar untuk membahas

kemungkinan faktor yang memengaruhi perbedaan waktu operasi. Interpretasi hasil tetap dibatasi pada kondisi dan metode pengujian yang dilakukan.

Selain pengujian fungsi proteksi, penelitian ini menyajikan hasil pengukuran tahanan isolasi panel kubikel sebagai data pendukung mengenai kondisi isolasi peralatan. Pengukuran tersebut tidak digunakan sebagai indikator utama kinerja fungsi OC dan GF, melainkan sebagai informasi tambahan dalam pemeriksaan kondisi peralatan pada lokasi penelitian. Hasil pengujian relay dan pengukuran tahanan isolasi dibahas sesuai ruang lingkup masing-masing, sehingga kesimpulan mengenai kinerja relay didasarkan terutama pada respons *trip* dan waktu operasinya.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja Relay X30 pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV melalui pengujian fungsi OC dan GF, menganalisis kondisi *trip* dan waktu operasi pada variasi arus pengujian, serta membandingkan waktu operasi hasil pengujian dengan karakteristik IDMT teoretis berdasarkan IEC 60255 dan parameter pengaturan relay [14]. Hasil pengukuran tahanan isolasi disajikan sebagai data pendukung. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai respons Relay X30 pada kondisi pengujian yang dilakukan serta menjadi bahan evaluasi teknis terhadap fungsi proteksi pada instalasi tegangan menengah.

2. Metode

2.1 Tahap Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi literatur. Observasi dilaksanakan di PT Haleyora Power pada periode 28 Juli hingga 4 Agustus 2026 untuk memperoleh informasi mengenai pemeriksaan dan pemeliharaan sistem proteksi pada kubikel tegangan menengah 20 kV, khususnya Relay X30. Spesifikasi Relay X30 yang menjadi objek penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.Wawancara dilakukan dengan teknisi lapangan dan pembimbing praktik industri untuk memperoleh informasi mengenai sistem proteksi serta pengaturan Relay X30. Dokumentasi berupa foto, catatan lapangan, dan data teknis digunakan untuk melengkapi hasil observasi. Studi literatur dilakukan melalui buku, jurnal ilmiah, dan standar teknis yang berkaitan dengan sistem proteksi tegangan menengah, khususnya fungsi *Overcurrent* (OC), *Ground Fault* (GF), dan karakteristik IDMT berdasarkan IEC 60255.

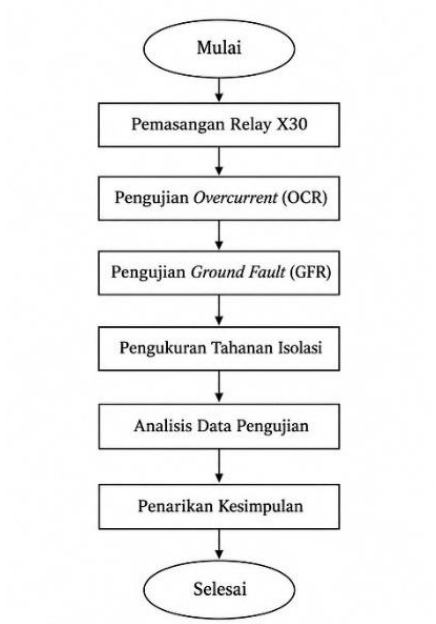
Tabel 1. Spesifikasi Relay X30

Parameter	Nilai
Tipe Relay	X30 - *Combined Overcurrent & Earth Fault Relay*
Tanggal *Setting*	Rabu, 3 September 2025
Power Supply	110 VDC
CT Ring Ratio	800/5 A
Jenis Kurva Proteksi	IEC *Normal Inverse*
Fungsi Proteksi Aktif	50/51 (*Overcurrent*), 50N/51N (*Earth Fault*)

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

2.2 Alur Proses Pengujian Relay X30

Pengujian Relay X30 dilakukan melalui beberapa tahapan untuk mengevaluasi respons fungsi OC dan GF pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV. Tahapan tersebut meliputi pemeriksaan konfigurasi relay, pengujian fungsi proteksi, pengukuran tahanan isolasi, dan analisis data. Alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Pengujian Relay X30

a. Pemasangan Relay X30
Tahap awal dilakukan dengan memasang Relay X30 *Combined Overcurrent & Earth Fault Relay* pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV sesuai dengan diagram garis tunggal sistem distribusi. Pemasangan dilakukan dengan memperhatikan hubungan relay dengan sistem proteksi pada panel kubikel. Setelah relay terpasang, dilakukan pemeriksaan untuk memastikan relay dapat beroperasi dan memberikan indikasi sesuai dengan fungsi proteksinya.

b. Pengujian *Overcurrent Relay* (OC)
Pengujian fungsi OC dilakukan untuk mengevaluasi respons relay terhadap variasi arus pengujian. Parameter yang diamati meliputi nilai arus pengujian, kondisi *trip*, dan waktu operasi. Hasil pengujian dicatat dan dibandingkan dengan nilai pengaturan arus *pickup* serta karakteristik waktu operasi yang digunakan pada relay. Metode pemberian arus pengujian dan cara pencatatan waktu dijelaskan berdasarkan prosedur yang benar-benar dilakukan di lapangan.

c. Pengujian Fungsi *Ground Fault* (GF)
Pengujian fungsi GF dilakukan untuk mengevaluasi respons relay terhadap variasi arus pengujian pada fungsi gangguan tanah. Parameter yang diamati meliputi nilai arus pengujian, kondisi *trip*, dan waktu operasi. Hasil pengujian dibandingkan dengan parameter pengaturan fungsi GF dan karakteristik waktu operasi yang sesuai dengan konfigurasi relay. Metode pengujian serta instrumen yang digunakan dijelaskan berdasarkan data dan dokumentasi yang tersedia.

d. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan menggunakan alat *Megger* untuk memperoleh informasi mengenai kondisi isolasi peralatan pada panel kubikel. Hasil pengukuran dicatat dalam satuan MΩ dan digunakan sebagai data pendukung dalam evaluasi kondisi peralatan. Pengukuran ini tidak digunakan sebagai indikator utama kinerja fungsi OC dan GF. Selain pengujian fungsi OC dan GF, dilakukan pengukuran tahanan isolasi pada panel kubikel menggunakan alat *Megger*. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui kondisi isolasi peralatan listrik pada panel kubikel. Hasil pengukuran tahanan isolasi dicatat dalam satuan MΩ dan digunakan sebagai data pendukung dalam mengevaluasi kondisi peralatan.

e. Analisis Data Pengujian

Data hasil pengujian Relay X30 dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai arus pengujian, kondisi *trip*, dan waktu operasi aktual terhadap parameter pengaturan relay. Pengujian waktu operasi dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi arus. Hasil pengulangan tersebut dianalisis menggunakretis dihitung berdasarkan karakteristik IEC *Normal Inverse* sesuai dengan IEC 60255 menggunakan pean nilai rata-rata dan standar deviasi sampel untuk mengetahui konsistensi waktu operasi relay. Waktu operasi teoretis dihitung dengan karakteristik IEC *Normal Inverse* menurut IEC 60255.

$$t = \frac{\beta \times TMS}{\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{\alpha} - 1}$$

Keterangan :

t = Waktu operasi teoritis relay (s)
TMS = Time Multiplier *Setting*
I = Arus pengujian (A)
I_{set} = Arus pickup *setting* (A)
0,14 = Konstanta pengali kurva (β)
0,02 = Konstanta eksponen kurva (α).

Selanjutnya, waktu operasi aktual dibandingkan dengan waktu operasi teoretis untuk mengetahui persentase perbedaan respons relay pada setiap variasi arus pengujian. Perhitungan persentase *error* dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\textit{Persentase error}(\%) = \frac{/t_{\text{ukur}} - t_{\text{teori}}/}{t_{\text{teori}}} \times 100\%$$

Keterangan :

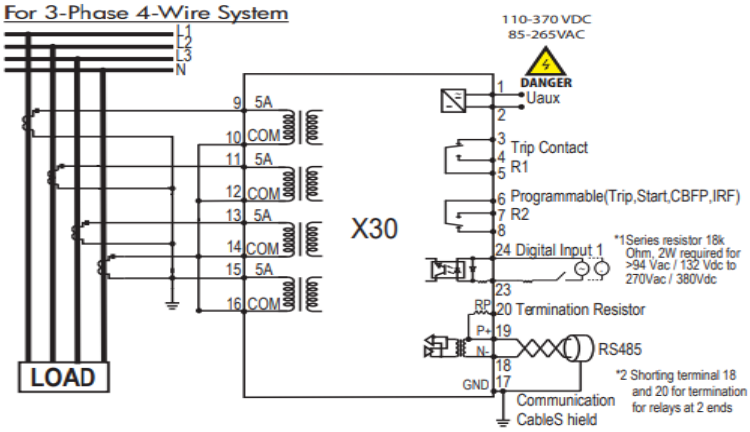
Error (%) = Persentase penyimpangan antara hasil pengujian lapangan dan perhitungan teoretis (%).
t_{ukur} = Waktu operasi relay hasil pengukuran lapangan (s).
t_{teori} = Waktu operasi relay hasil perhitungan teoretis

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemasangan Relay X30 Pada Panel Kubikel 20 kV

Pemasangan Relay X30 dilakukan dengan mengacu pada diagram *wiring* sistem proteksi yang telah dirancang. Diagram *wiring* yang digunakan sebagai acuan pemasangan ditunjukkan pada Gambar 2.



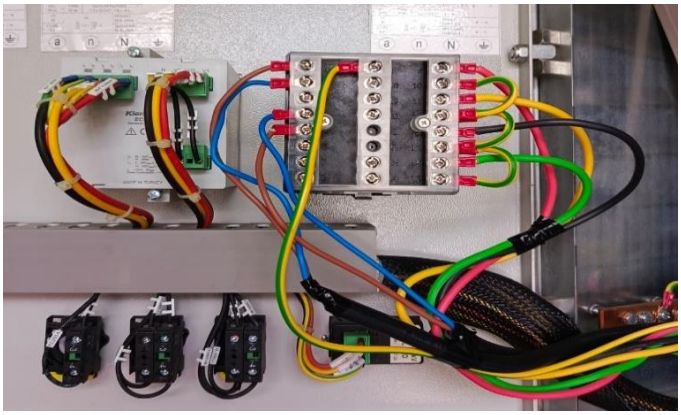
Gambar 2. Diagram Wiring Relay X30
(Sumber: TMikro, X30 *Series Combined Overcurrent Earth Fault Relay*)

Proses pemasangan Relay X30 pada panel kubikel 20 kV meliputi pemasangan relay pada panel, penyambungan sekunder *Current Transformer* (CT) dengan rasio 800/5 A ke terminal input arus rela, penyambungan suplai DC 110 V sebagai sumber daya relay, serta penghubungan kontak trip dan alarm ke rangkaian *circuit breaker*. Tahapan pemasangan Relay X30 dilakukan sebagai berikut:

a. Pemasangan Relay X30 pada panel kontrol kubikel sesuai dengan posisi yang telah ditentukan.
b. Penyambungan kabel sekunder CT ke terminal input arus pada relay untuk menyalurkan sinyal arus hasil pengukuran.
c. Penyambungan sumber tegangan DC 110 V sebagai catu daya untuk mengoperasikan relay.
d. Penyambungan terminal trip dan alarm pada relay ke rangkaian circuit breaker sebagai bagian dari sistem pemutusan dan pemberian indikasi gangguan.
e. Pengujian tahanan isolasi menggunakan megger untuk memastikan kondisi isolasi dan keamanan sambungan sebelum relay dioperasikan.

Setelah seluruh tahapan pemasangan dan penyambungan dilakukan sesuai dengan diagram *wiring*, Relay X30 terpasang pada panel kubikel 20 kV. Kondisi pemasangan Relay X30 pada panel kubikel ditunjukkan pada Gambar 3.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198



Gambar 3. Instalasi Relay Proteksi Pada Panel Kubikel 20kV
(Sumber: Perusahaan Industri Gas X).

3.2 Data *Setting* Relay X30

Data *setting* relay X30 diperoleh dari hasil konfigurasi lapangan di PT. Haleyora Power pada sistem proteksi yang digunakan. Data *setting* untuk fungsi *Overcurrent* (OC) dan *Ground Fault* (GF) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *Setting* Lapangan Relay Proteksi X30

Parameter	*Overcurrent* (OC)	*Ground Fault* (GF)
Arus *setting*	300 A	60 A
Perbandingan terhadap In	0,375 In	0,075 In
TMS	0,05	0,05
Instantaneous setting	2000 A	600 A
Waktu tunda	0 s	0 s

Berdasarkan Tabel 2, fungsi *Overcurrent* memiliki arus *setting* sebesar 300 A, sedangkan fungsi *Ground Fault* memiliki arus *setting* sebesar 60 A. Kedua fungsi proteksi menggunakan nilai *Time Multiplier Setting* (TMS) sebesar 0,05. Sementara itu, nilai *instantaneous setting* pada fungsi OC sebesar 2000 A dan pada fungsi GF sebesar 600 A.

Nilai pengaturan tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan variasi arus pengujian dan menghitung waktu operasi teoretis relay. Arus pengujian tertinggi pada fungsi OC sebesar 600 A dan pada fungsi GF sebesar 120 A. Kedua nilai tersebut berada di bawah pengaturan *instantaneous* masing-masing, sehingga pengujian waktu operasi pada variasi arus tersebut ditujukan untuk mengamati respons fungsi waktu terbalik relay.

3.3 Hasil Pengujian Fungsi dan Indikasi Relay X30

Pengujian fungsi dan indikasi dilakukan untuk mengetahui kondisi awal Relay X30 sebelum pengujian proteksi OC dan GF dilaksanakan. Pemeriksaan diawali dengan memberikan suplai tegangan DC sebesar 110 V pada relay. Setelah relay mendapatkan suplai tegangan, dilakukan pemeriksaan terhadap layar tampilan, indikator LED, serta fungsi kontak *trip* dan alarm melalui tombol uji *trip*.

Berdasarkan hasil pemeriksaan, layar tampilan Relay X30 dapat aktif dan indikator LED berfungsi dengan normal. Pengujian menggunakan tombol uji *trip* juga menunjukkan bahwa kontak *trip* dan alarm dapat dipicu. Hasil pemeriksaan tersebut menunjukkan bahwa relay dapat menerima suplai tegangan serta menjalankan fungsi indikasi dan keluaran *trip* maupun alarm. Dengan demikian, berdasarkan pemeriksaan fungsi awal tersebut, Relay X30 dapat dilanjutkan ke tahap pengujian proteksi *Overcurrent* (OC) dan *Ground Fault* (GF).

3.4 Hasil Pengujian dan Analisis *Overcurrent* (OC)

Pengujian *Overcurrent* (OC) dilakukan untuk mengetahui respons Relay X30 dalam mendeteksi kondisi arus lebih pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi arus berdasarkan nilai *setting* OC sebesar 300 A. Parameter yang diamati meliputi kondisi *trip* dan waktu operasi relay pada setiap variasi arus pengujian. Setiap variasi arus dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk mengetahui konsistensi waktu operasi relay. Hasil pengujian fungsi OC ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Overcurrent*

Arus uji	Uji 1 (s)	Uji 2 (s)	Uji 3 (s)	Rata-rata (s)	SD (s)
270 A	Tidak trip	Tidak trip	Tidak trip	–	–
300 A	0,35	0,36	0,34	0,350	0,010
360 A	0,30	0,31	0,29	0,300	0,010
400 A	0,25	0,26	0,24	0,250	0,010
450 A	0,21	0,22	0,20	0,210	0,010
600 A	0,16	0,17	0,15	0,160	0,010

Berdasarkan Tabel 3, pengujian OC dilakukan pada variasi arus mulai dari 270 A hingga 600 A dengan nilai *setting* sebesar 300 A. Pada arus pengujian 270 A, relay tidak mengalami *trip* pada ketiga pengujian. Hal tersebut menunjukkan bahwa arus pengujian masih berada di bawah nilai *setting* OC. Sementara itu, pada arus 300 A, relay mulai memberikan respons *trip* dengan rata-rata waktu operasi sebesar 0,350 s dan standar deviasi sebesar 0,010 s.

Ketika arus pengujian meningkat menjadi 360 A, rata-rata waktu operasi relay menurun menjadi 0,300 s. Pada arus 400 A dan 450 A, rata-rata waktu operasi masing-masing sebesar 0,250 s dan 0,210 s. Selanjutnya, pada arus pengujian tertinggi, yaitu 600 A, rata-rata waktu operasi menurun menjadi 0,160 s.

Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan penurunan waktu operasi seiring dengan meningkatnya arus pengujian. Dengan kata lain, semakin besar arus yang diterima relay, semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk memberikan respons *trip*. Selain itu, nilai standar deviasi sebesar 0,010 s pada setiap variasi arus yang mengalami *trip* menunjukkan bahwa perbedaan waktu operasi dari ketiga pengulangan relatif kecil.

Selanjutnya, waktu operasi hasil pengujian dibandingkan dengan waktu operasi teoretis berdasarkan karakteristik kurva IEC *Normal Inverse*. Perhitungan dilakukan menggunakan nilai TMS sebesar 0,05 dengan konstanta α sebesar 0,02 dan β sebesar

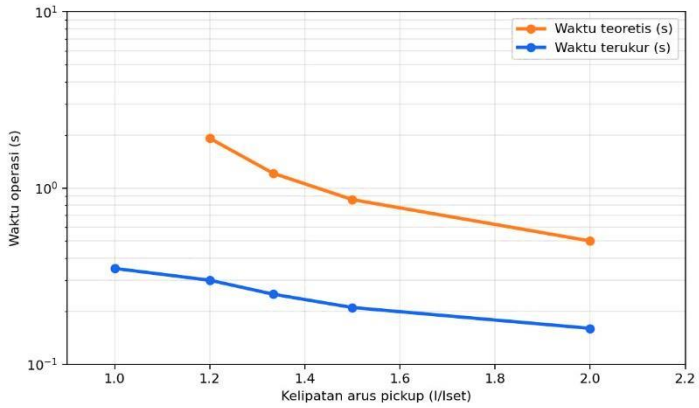
Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

0,14. Hasil perbandingan waktu operasi terukur dan teoretis pada fungsi OC ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Waktu Operasi Terukur dan Teoretis OC

I/I*setting*	Waktu teoretis (s)	Waktu terukur (s)	Error (%)
1,00	Tidak terdefinisi	0,350	–
1,20	1,916	0,300	84,3
1,33	1,213	0,250	79,4
1,50	0,860	0,210	75,6
2,00	0,501	0,160	68,1

Berdasarkan Tabel 4, waktu operasi teoretis pada setiap variasi arus lebih besar dibandingkan dengan waktu operasi hasil pengujian. Pada perbandingan arus sebesar 1,20 kali arus *setting*, waktu operasi teoretis diperoleh sebesar 1,916 s, sedangkan waktu operasi hasil pengujian sebesar 0,300 s. Kondisi tersebut menghasilkan nilai *error* sebesar 84,3%. Pada peningkatan arus menjadi 1,33; 1,50; dan 2,00 kali arus *setting*, nilai *error* masing-masing sebesar 79,4%, 75,6%, dan 68,1%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa perbedaan antara waktu operasi terukur dan teoretis masih cukup besar pada seluruh variasi arus yang dibandingkan.



Gambar 4. Perbandingan Kurva Waktu Operasi *Overcurrent* (OC)

Gambar 4 menunjukkan perbandingan karakteristik waktu operasi teoretis dan hasil pengujian pada fungsi OC. Kedua kurva memperlihatkan kecenderungan waktu operasi yang semakin singkat ketika arus pengujian meningkat. Namun, kurva hasil pengujian berada di bawah kurva teoretis. Hal ini menunjukkan bahwa waktu operasi aktual yang tercatat lebih singkat dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan karakteristik IEC *Normal Inverse* dengan TMS 0,05.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pola penurunan waktu operasi hasil pengujian belum sepenuhnya mengikuti nilai waktu operasi teoretis. Oleh karena itu, hasil pengujian perlu dianalisis lebih lanjut dengan mempertimbangkan konfigurasi relay, definisi TMS pada perangkat, metode pemberian arus, serta metode pencatatan waktu operasi.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

3.4.1 Hasil Pengujian *Ground Fault Relay* (GF)

Pengujian *Ground Fault* (GF) dilakukan untuk mengetahui respons Relay X30 dalam mendeteksi gangguan tanah pada panel kubikel tegangan menengah 20 kV. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi arus berdasarkan nilai *setting* GF sebesar 60 A. Parameter yang diamati meliputi kondisi *trip* dan waktu operasi relay pada setiap variasi arus pengujian. Setiap variasi arus dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk mengetahui konsistensi waktu operasi relay. Hasil pengujian fungsi GF ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Ground Fault Relay* (GF)

Arus uji (A)	Uji 1 (s)	Uji 2 (s)	Uji 3 (s)	Rata-rata (s)	SD (s)
54	Tidak trip	Tidak trip	Tidak trip	–	–
60	0,36	0,37	0,35	0,360	0,010
72	0,32	0,33	0,31	0,320	0,010
80	0,29	0,30	0,28	0,290	0,010
90	0,26	0,27	0,25	0,260	0,010
120	0,22	0,23	0,21	0,220	0,010

Berdasarkan Tabel 5, pengujian GF dilakukan pada variasi arus mulai dari 54 A hingga 120 A dengan nilai *setting* sebesar 60 A. Pada arus pengujian 54 A, relay tidak mengalami *trip* pada ketiga pengujian karena arus masih berada di bawah nilai *setting* GF. Sementara itu, pada arus 60 A, relay mulai memberikan respons *trip* dengan rata-rata waktu operasi sebesar 0,360 s dan standar deviasi sebesar 0,010 s. Ketika arus pengujian meningkat menjadi 72 A, rata-rata waktu operasi relay menurun menjadi 0,320 s. Pada arus 80 A dan 90 A, rata-rata waktu operasi masing-masing sebesar 0,290 s dan 0,260 s. Selanjutnya, pada arus pengujian tertinggi, yaitu 120 A, rata-rata waktu operasi menurun menjadi 0,220 s.

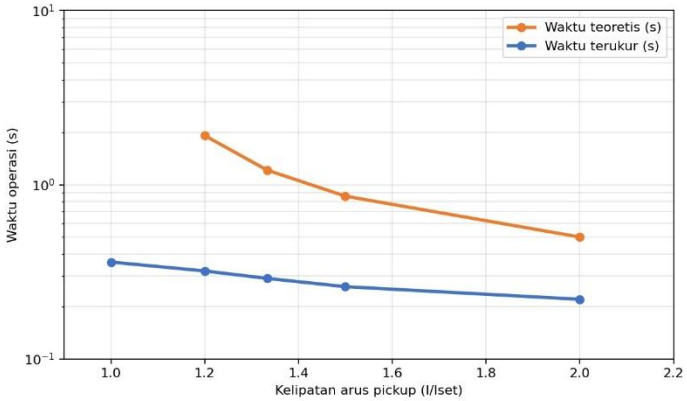
Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar arus pengujian, semakin singkat waktu yang dibutuhkan relay untuk bekerja. Kecenderungan tersebut menunjukkan adanya respons relay terhadap peningkatan arus gangguan. Selain itu, standar deviasi sebesar 0,010 s pada setiap variasi arus yang mengalami *trip* menunjukkan bahwa perbedaan waktu operasi antara ketiga pengulangan relatif kecil. Selanjutnya, waktu operasi hasil pengujian GF dibandingkan dengan waktu operasi teoretis berdasarkan karakteristik IEC *Normal Inverse*. Perbandingan dilakukan menggunakan nilai TMS sebesar 0,05. Hasil perhitungan dan pengujian ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Waktu Operasi Terukur dan Teoretis GF

I/Isetting	Waktu teoretis (s)	Waktu terukur (s)	Error (%)
1,00	Tidak terdefinisi	0,360	–
1,20	1,916	0,320	83,3
1,33	1,213	0,290	76,1
1,50	0,860	0,260	69,8
2,00	0,501	0,220	56,1

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

Berdasarkan Tabel 6, waktu operasi hasil pengujian GF juga lebih singkat dibandingkan dengan waktu operasi teoretis. Pada arus sebesar 1,20 kali arus *setting*, waktu operasi teoretis sebesar 1,916 s, sedangkan hasil pengujian menunjukkan waktu operasi sebesar 0,320 s. Perbedaan tersebut menghasilkan nilai *error* sebesar 83,3%. Pada arus sebesar 1,33; 1,50; dan 2,00 kali arus *setting*, nilai *error* masing-masing sebesar 76,1%, 69,8%, dan 56,1%. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan antara waktu operasi aktual dan waktu operasi teoretis pada seluruh variasi arus yang dibandingkan.



Gambar 5. Perbandingan Kurva Waktu Operasi *Ground Fault* (GF)

Gambar 5, menunjukkan bahwa waktu operasi hasil pengujian GF mengalami penurunan seiring dengan peningkatan arus pengujian. Pola tersebut memiliki kecenderungan yang sama dengan karakteristik waktu terbalik pada kurva IEC *Normal Inverse*. Namun, waktu operasi hasil pengujian berada di bawah waktu operasi teoretis. Perbedaan ini menunjukkan bahwa respons aktual relay belum sepenuhnya sama dengan hasil perhitungan berdasarkan karakteristik kurva yang digunakan sebagai acuan.

3.4.2 Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan isolasi pada bagian yang diuji sebelum relay dioperasikan. Pengujian menggunakan Kyoritsu KEW 3123A *High Voltage Insulation Tester* dengan tegangan uji sebesar 500 VDC. Hasil pengukuran menunjukkan nilai tahanan isolasi sebesar 200 MΩ. Hasil pengukuran tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

No.	Parameter	Hasil Pengujian	Standar Minimum
1	Tegangan uji	500 VDC	500 VDC
2	Tahanan isolasi	200 MΩ	1 MΩ

Berdasarkan Tabel 8, hasil pengukuran tahanan isolasi menunjukkan nilai sebesar 200 MΩ pada tegangan uji 500 VDC. Nilai tersebut secara numerik lebih tinggi dibandingkan dengan nilai acuan minimum sebesar 1 MΩ yang digunakan dalam naskah berdasarkan PUIL 2011 [15]. Hasil pengukuran ini menjadi data pendukung untuk menggambarkan kondisi isolasi pada bagian yang diperiksa.

Namun, penerapan nilai acuan PUIL perlu disesuaikan dengan jenis objek pengujian. Persyaratan tahanan isolasi untuk instalasi listrik tidak dapat langsung diterapkan pada terminal internal relay elektronik tanpa memperhatikan petunjuk pabrikan dan prosedur pengujiannya. Oleh karena itu, hasil pengukuran tahanan isolasi perlu ditafsirkan sesuai dengan bagian instalasi yang benar-benar diuji dan ketentuan teknis yang berlaku.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, Relay X30 mampu memberikan respons terhadap gangguan arus lebih (*Overcurrent*) dan gangguan tanah (*Ground Fault*) pada kubikel tegangan menengah 20 kV. Relay mulai bekerja pada arus *setting* sebesar 300 A untuk fungsi OC dan 60 A untuk fungsi GF. Peningkatan arus pengujian juga diikuti dengan semakin singkatnya waktu operasi relay, yaitu dari 0,350 s menjadi 0,160 s pada fungsi OC dan dari 0,360 s menjadi 0,220 s pada fungsi GF. Namun, hasil perbandingan dengan karakteristik IEC *Normal Inverse* menunjukkan nilai *error* sebesar 68,1–84,3% pada fungsi OC dan 56,1–83,3% pada fungsi GF. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa waktu operasi hasil pengujian belum sesuai dengan waktu operasi teoretis berdasarkan parameter TMS 0,05. Secara teknis, kondisi ini perlu diperhatikan karena waktu operasi relay berpengaruh terhadap koordinasi proteksi dan ketepatan pemutusan gangguan pada sistem distribusi 20 kV. Oleh karena itu, kelayakan operasional Relay X30 dari aspek kesesuaian waktu operasi terhadap toleransi IEC 60255 belum dapat dinyatakan terpenuhi dan memerlukan verifikasi lebih lanjut terhadap konfigurasi kurva, pengaturan TMS, serta metode pengujian relay.

Referensi

[1] T. Watingsih, “Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah,” *J. Teodolita*, vol. 13, no. 2, pp. 75–83, 2012.

[2] C. A. Santjiatodjaja, L. S. Patras, G. Mangindaan, and J. T. Elektro-ft, “Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling,” vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2019.

[3] R. A. Duyo, P. Studi, F. Teknik, and U. Muhammadiyah, “ANALISIS PENYEBAB GANGGUAN JARINGAN PADA DISTRIBUSI LISTRIK MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS DI PT . PLN (PERSERO) RAYON DAYA MAKASSAR,” vol. 12, no. 02, 2020.

[4] E. H. Arya, Ermawati, 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, 2024.

[5] B. K. Juandika *et al.*, “Analisis Sistem Proteksi Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Menggunakan Aplikasi Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) Di PT . PLN (Persero) ULP Ngunut Bambang Suprianto , Tri Rijanto , Unit Three Kartini Abstrak”.

[6] Wahyono, F. Gatot, W. Purwati, Margana, Suwarti, and A. N Pribadi, “Reverse Time During Current Relay Performance to Support the Protection System Practicum,” *J. Eksergi*, vol. 18, no. 2, pp. 1–6, 2022.

[7] I. Nurmalasari, Nurwijayanti, and Hindardi, “Analisa Pemilihan Relai Proteksi Pada Panel Listrik Untuk Studi Kasus Tegangan Menengah 20kV,” 2016.

Volume 10 Nomor 2 Oktober 2026
E-ISSN : 2598-6198

[8] B. Husodo Yanto and Muhalan, "STUDI ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGATURAN RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA KUBIKEL CAKRA 20 KV DI PT XYZ," *J. Teknol. Elektroelktro*, vol. 6, no. 2, 2015.

[9] S. Sulistyowati, S. Nurhadi, and D. D. Kharisma, "Pengaruh optimalisasi maintenance terhadap on load tap changer transformator daya 50 MVA 150/20 kV," *J. Eltek*, vol. 20, no. 2, pp. 103–110, 2022, doi: 10.33795/eltek.v20i2.358.

[10] B. Achmadiansyah, M. H. Faza, and N. Nadhiroh, "Pengujian dan Monitoring Relay Proteksi Arus Lebih 7SJ82 pada Sistem Proteksi Panel Bus Coupler 150 kV GI Blimbing Baru Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 5 Tahun 2020," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. Vi, pp. 145–152, 2020.

[11] M. Y. Imanuddin and F. Achmad, "Perencanaan Sistem Proteksi Pada Distribusi Tenaga Listrik Pada Proyek Kyo Apartment di PT. Alkonusa Teknik Interkon," *J. Pendidik. dan Konseling*, vol. 5, pp. 1633–1639, 2023.

[12] A. Multi and T. Addaus, "ANALISA PROTEKSI OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK," vol. 32, no. 1, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: https://doi.org/10.37277/stch.v32i1

[13] M. R. Damogalad, T. I. Yusuf, E. H. Harun, L. Mohamad, K. Amali, and A. I. Tolago, "ANALISIS KINERJA OVER CURRENT RELAY (OCR) & GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA PENYULANG 20KV GB5 ULTG GORONTALO MENGGUNAKAN ALAT UJI CMC 356," *JREE*, vol. 2, no. 1, pp. 44–49, 2025.

[14] I. E. Commission, "Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements for over/under current protection," 2009.

[15] Badan Standardisasi Nasional (BSN), *Persyaratan Umum Instalasi Listrik Tahun 2011*, vol. 2011. 2011.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License