

OPTIMALISASI SETTING PROTEKSI PANEL SWITCHGEAR 11,5 KV DENGAN IMPLEMENTASI RELAY SIEMENS 7SJ80 DI PT XYZ

Reza Rachmat Setyabudi ¹⁾, Denny Irawan ²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra No 101, Gresik 61121, Jawa Timur, Indonesia
E-mail : ¹⁾rezarachmat556@gmail.com, ²⁾ den2mas@umg.ac.id

ABSTRAK

Sistem proteksi berperan penting dalam menjaga kontinuitas dan keandalan distribusi tenaga listrik, khususnya pada panel switchgear tegangan menengah 11,5 kV. Untuk meningkatkan keandalan sistem, PT XYZ melakukan optimalisasi melalui metode *retrofit* dengan mengganti relay lama dengan relay digital Siemens 7SJ80. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi *eksisting*, mengoptimasi parameter setting relay, dan memverifikasi kinerja setting melalui pengujian *secondary injection*. Metode yang digunakan adalah kuantitatif melalui observasi lapangan, studi dokumentasi, perhitungan parameter berdasarkan standar, serta pengujian menggunakan alat *secondary injection* Dotek DTJB-2209. Parameter yang dioptimasi meliputi proteksi *overcurrent* dengan kurva IEC *Normal Inverse* dan *definite time overcurrent*. Hasil penelitian merekomendasikan setting optimal: *pickup current* (I_p) = 3,55 A (setara 426 A primer) dengan TMS = 0,70 untuk IDMT, serta *definite time overcurrent* ($I_{>>>}$) = 15,00 A (setara 1.800 A primer) dengan *time delay* 0,50 detik. Pengujian *secondary injection* memvalidasi akurasi waktu operasi dengan deviasi 2,76% (IDMT) dan 1,96% (DT), yang memenuhi standar SNI IEC 60255 dan IEEE 242-2001. Setting ini terbukti sensitif, stabil terhadap *inrush* transformator, dan menjaga selektivitas. Dengan demikian, optimalisasi setting proteksi pada relay Siemens 7SJ80 efektif meningkatkan keandalan sistem distribusi 11,5 kV di PT XYZ.

Kata kunci : relay proteksi, Siemens 7SJ80, switchgear 11,5 kV, optimalisasi, standar proteksi

ABSTRACT

Protection systems play a crucial role in maintaining the continuity and reliability of electrical power distribution, especially for medium voltage systems such as 11.5 kV switchgear panels. To improve system reliability, PT XYZ carried out optimization using a retrofit method by replacing old relays with the Siemens 7SJ80 digital relay. This study aims to analyze the existing condition of the protection system, optimize relay setting parameters, and verify setting performance through secondary injection testing. The quantitative method used includes field observation, documentation study, parameter calculation based on standards, and testing using the Dotek DTJB-2209 secondary injection test set. The optimized parameters include overcurrent protection with the IEC Normal Inverse curve and definite time overcurrent protection. The research results recommend the optimal settings: pickup current (I_p) = 3.55 A (equivalent to 426 A primary) with TMS = 0.70 for IDMT, and definite time overcurrent ($I_{>>>}$) = 15.00 A (equivalent to 1,800 A primary) with a time delay of 0.50 seconds. Secondary injection testing validated operating time accuracy with deviations of 2.76% (IDMT) and 1.96% (DT), which comply with SNI IEC 60255 and IEEE 242-2001 standards. These settings proved sensitive to faults, stable against transformer inrush current, and maintained

selectivity. Therefore, optimizing protection settings on the Siemens 7SJ80 relay effectively enhances the reliability of the 11.5 kV distribution system at PT XYZ.

Keywords: *protection relays, siemens 7SJ80, 11,5 kV switchgear, optimization, protection standard*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik yang sangat vital tentu harus di iringi dengan keandalan sistem yang baik, keandalan suatu sistem tenaga listrik ini berkaitan dengan soal kualitas dan kontinuitas. Untuk mendapatkan hal tersebut maka perlu adanya sistem pengaman atau proteksi dalam pendistribusiannya. Sistem proteksi memiliki fungsi untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian sistem yang masih normal secepat mungkin agar nantinya bagian yang normal tidak terganggu [1]. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi berbagai jenis gangguan seperti tegangan lebih (*over voltage*), hubung singkat (*short circuit*), beban lebih (*overload*), dan kondisi abnormal lainnya[2].

Dalam operasionalnya, PT XYZ menggunakan panel switchgear 11,5 kV sebagai pusat distribusi dan kontrol daya listrik. Switchgear adalah sistem pelindung yang dirancang untuk menjaga kontinuitas catu daya dan peralatan yang digunakan[3]. oleh karena itu, gangguan pada panel switchgear ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, berhentinya proses produksi dan dapat membahayakan keselamatan personal. panel switchgear ini harus dilengkapi dengan sebuah sistem proteksi yang handal agar saat terdapat gangguan dapat di deteksi secara dini dan dapat mengisolasi gangguan dengan cepat dan akurat.[4]

Relay merupakan komponen kunci dalam sistem proteksi, yang berfungsi memberikan sinyal penggerak pada pemutus (*circuit breaker*) untuk membuka atau menutup jaringan saat gangguan terdeteksi [1]. Panel switchgear 11,5 kV di PT XYZ sebelumnya masih mengandalkan relay model lama yang sudah tidak optimal dalam mendeteksi gangguan, berpotensi menyebabkan keterlambatan tripping, serta memiliki keterbatasan dalam fitur monitoring, komunikasi, dan fleksibilitas setting. Oleh karena itu,

dilakukan optimalisasi melalui metode *retrofit* dengan mengganti relay lama dengan relay digital modern Siemens 7SJ80.

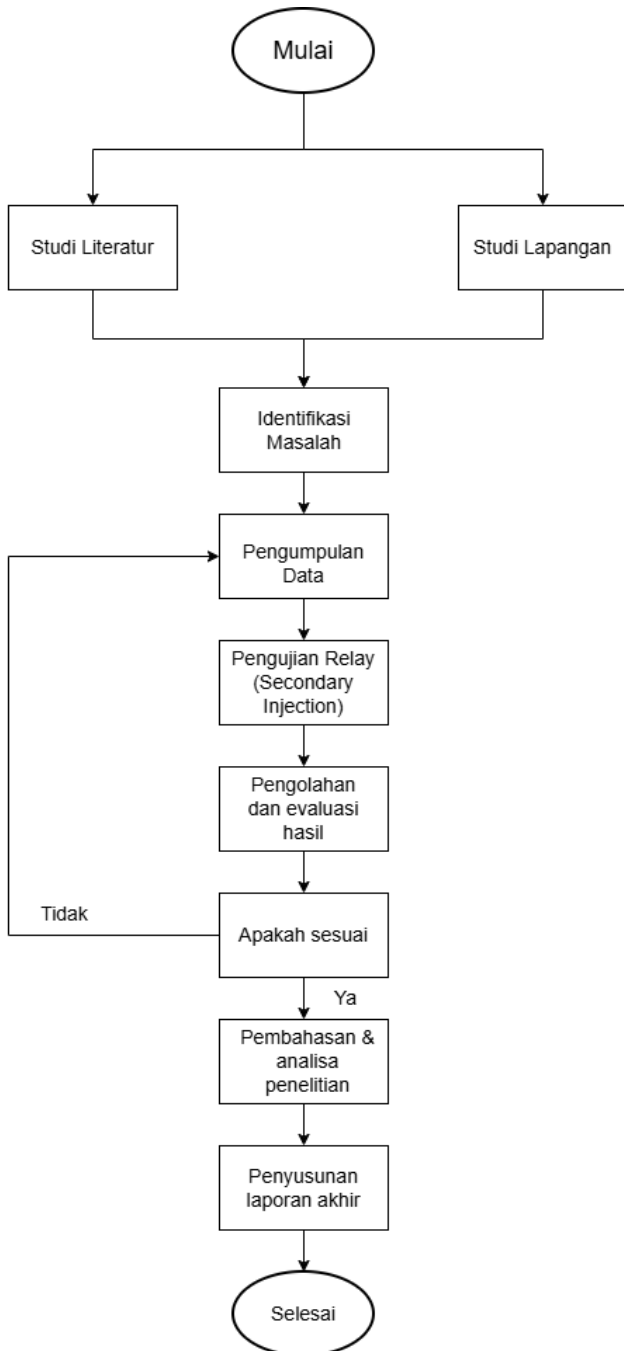
Relay Siemens 7SJ80 menawarkan beberapa keunggulan, di antaranya: akurasi dan keandalan tinggi dalam mendeteksi gangguan yang didukung oleh pemrosesan sinyal digital dan algoritma proteksi yang matang [14], [15], fleksibilitas setting dengan berbagai kurva karakteristik waktu-arus dan fungsi proteksi lengkap dalam satu perangkat [15] serta kemudahan pengujian dan kalibrasi melalui antarmuka yang *user-friendly* dan kompatibilitas dengan peralatan uji *secondary injection* [15].

Penelitian terdahulu telah banyak mengkaji sistem proteksi pada switchgear. Misalnya, sebuah evaluasi sistem proteksi switchgear untuk motor cement mill menekankan pentingnya setting yang tepat untuk mencegah gangguan [3]. Studi lain mengevaluasi setting relay proteksi untuk mengurangi busur api pada switchgear, menunjukkan bahwa setting yang tidak optimal dapat meningkatkan risiko operasional [8]. Namun, penelitian yang mengkombinasikan optimalisasi setting proteksi *overcurrent* dengan implementasi relay digital Siemens 7SJ80 pada panel incoming 11,5 kV masih terbatas [12], [14]. Penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut dengan pendekatan kuantitatif yang mencakup perhitungan teoritis, dan validasi pengujian dengan menggunakan *secondary injection*. Dengan implementasi pada relay digital 7SJ80 ini, proses pengaturan parameter proteksi masih perlu dianalisa dan evaluasi untuk memastikan konfigurasi yang digunakan sesuai dengan karakteristik panel switchgear 11,5 kV yang ada, serta diharapkan mampu memberikan performa yang lebih andal, akurat dan efisien. Melalui penelitian ini, akan dilakukan analisis mengenai optimalisasi setting proteksi pada panel switchgear 11,5 kV dengan implementasi relay Siemens 7SJ80 di area PM 1 PT XYZ dan

diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap keandalan sistem proteksi kelistrikan Perusahaan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat digambarkan seperti diagram alir dibawah ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode perhitungan matematis dan komparatif terhadap standar internasional. Analisis dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

2.1 Analisis Perhitungan Parameter Proteksi Perhitungan Arus Nominal Sistem:

$$I_n = \frac{S_{total...}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- I_n = Arus nominal sistem (A)
- S_{total} = Total daya transformator (VA)
- V_{LL} = Tegangan line-to-line (V)

Penentuan Setting Pickup dengan Safety Factor

$$I_{set_p} = SF \times I_n \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- I_{set_p} = Setting pickup primer (A)
- SF = Safety factor (0,85 untuk proteksi thermal)
- I_n = Arus nominal sistem (A)

.Konversi ke Setting Sekunder

$$I_{set_s} = \frac{I_{set_p}}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- I_{set_s} = Setting pickup sekunder (A)
- n = Rasio CT (600/5 = 120)

Perhitungan Arus Inrush Transformator

$$I_{inrush} = k \times I_{rated_trafo} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

- k = Faktor inrush (8-12 kali, digunakan 10)
- I_{rated_trafo} = Arus nominal per transformator (A)

2.2 Analisis Karakteristik Waktu Operasi

Perhitungan Waktu Proteksi Overcurrent

$$t = TMS \times \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

- t = Waktu operasi (detik)
- TMS = Time Multiplier Setting
- I = Arus gangguan (A)
- I_p = Setting pickup (A)

Perhitungan Waktu Definite Time

$$t_{inst} = t_{delay} + t_{operation} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

- t_{delay} = Waktu tunda yang diset (detik)
- $t_{operation}$ = Waktu operasi internal relay (0,01 detik)

2.3 Analisis Komparatif dengan Standar

Validasi Akurasi Waktu Operasi (Reliability)

$$Error(\%) = \frac{t_{actual} - t_{theory}}{t_{theory}} \times 100\% \dots \dots (7)$$

Kriteria Penerimaan (IEC 60255-151):

- Karakteristik IDMT: Error < ±5% atau ±50 ms (mana yang lebih besar)
- Karakteristik Definite Time: Error < ±2% atau ±50 ms (mana yang lebih besar)

Validasi Sensitivitas Proteksi

$$Sensitivity\ Ratio = \frac{I_{pickup}}{I_{nominal}} \dots \dots \dots (8)$$

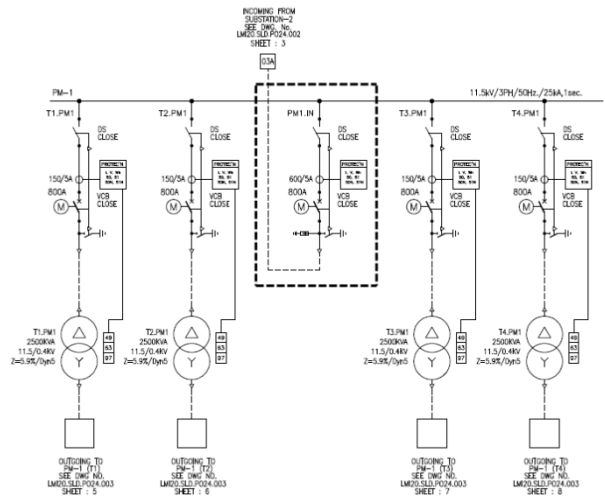
Kriteria Penerimaan (IEEE 242-2001):

- Overload protection: 85-100% dari I_n
- Short circuit protection: >150% dari I_n

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik sistem proteksi incoming PM1

Penelitian ini dilakukan pada panel incoming PM1 switchgear 11,5 kV di PT XYZ yang melayani empat transformator berkapasitas total 10.000 kVA. Panel ini berperan kritis dalam



menjaga kontinuitas operasi pabrik khususnya di area PM1. Gambar 2 menunjukkan single line diagram (SLD) sistem yang menjadi objek penelitian.

Gambar 2. Single line diagram panel switchgear 11,5 kV area PM1

Komponen utama sistem proteksi meliputi relay Siemens SIPROTEC 7SJ80, Current Transformer (CT) dengan rasio 600/5 A dan kelas akurasi 5P20, serta Vacuum Circuit Breaker (VCB) berkapasitas pemutusan 25 kA.

Konfigurasi relay dan fokus optimalisasi

Parameter proteksi yang dioptimasi difokuskan pada fungsi *overcurrent* fasa (ANSI 50/51) yang menjadi proteksi utama untuk melindungi panel incoming dari kondisi *overload* dan hubung singkat. konfigurasi fungsi proteksi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi relay proteksi 7SJ80

Fungsi Proteksi	Status	Nilai Setting	Keterangan
Overcurrent (IDMT)	ON	$I_p=3.55$ A, $TMS=0.70$	Fokus Analisis
Definite Time Overcurrent	ON	$I_{>>>}=15.0$ 0 A, $T=0.51s$	Fokus Analisis
Earth Fault (DT)	ON	$I_E \geq 1.08$ A	bukan fokus analisis
Earth Fault (IDMT)	ON	$I_{Ep}=0.18$ A	bukan fokus analisis
Phase High-set ($I_{>>}$)	OFF	oo A	Dinonaktifkan
Thermal Overload	OFF	-	Dinonaktifkan

Fungsi *Earth Fault* dipertahankan dengan setting awal yang telah teruji sesuai dengan sensitivitas sistem *grounding* di lokasi. Fungsi *Phase High-set* ($I_{>>}$) dinonaktifkan untuk menyederhanakan logika proteksi dan menghindari *overlapping* dengan *definite time stage* yang telah dioptimasi. Fungsi *Thermal Overload* tidak diaktifkan karena proteksi termal untuk transformator telah tercakup dalam karakteristik waktu-invers dari setelan IDMT. Dengan demikian, fokus analisis dan optimalisasi sepenuhnya pada parameter *overcurrent* fasa (ANSI 50/51).

3.2 Hasil perhitungan parameter proteksi

Berdasarkan metodologi perhitungan, parameter proteksi optimal ditentukan dengan mempertimbangkan arus nominal sistem, safety factor thermal sesuai IEEE C57.91, dan analisis arus *inrush* transformator. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan teoritis parameter proteksi

Parameter	Simbol	Nilai	Dasar Perhitungan / Catatan
Arus nominal sistem (11,5 kV)	I_n	502 A	$S = 10$ MVA
Safety factor thermal	SF	0,85	Mengacu IEEE C57.91
Pickup primer	I_{p_p}	426 A	$I_{p_p} = SF \times I_n$
Pickup sekunder	I_{p_s}	3,55 A	$I_{p_s} = I_{p_p} / 120$ (CT 600/5)
Arus inrush maksimum	I_{inrush}	1.575 A	Kondisi terburuk: 3 trafo beroperasi + inrush trafo ke-4
Setting DT primer	$I_{>>>_p}$	1.800 A	Memberikan margin 14% di atas I_{inrush}
Multiple terhadap I_n	k	$3,6 \times$	$I_{>>>_p} / I_n$

Setting IDMT pada 85% I_n memberikan sensitivitas terhadap *overload* mulai dari 118% arus pickup, sementara setting DT ditetapkan pada 1.800 A primer (15,00 A sekunder). Nilai ini memberikan margin 14,3% di atas estimasi arus *inrush* maksimum 1.575 A, yang dihitung dari kondisi terburuk saat transformator ke-4 dinyalakan dengan tiga trafo lain beroperasi. Margin ini mencegah *false tripping* akibat *inrush*

namun tetap responsif terhadap gangguan hubung singkat aktual.

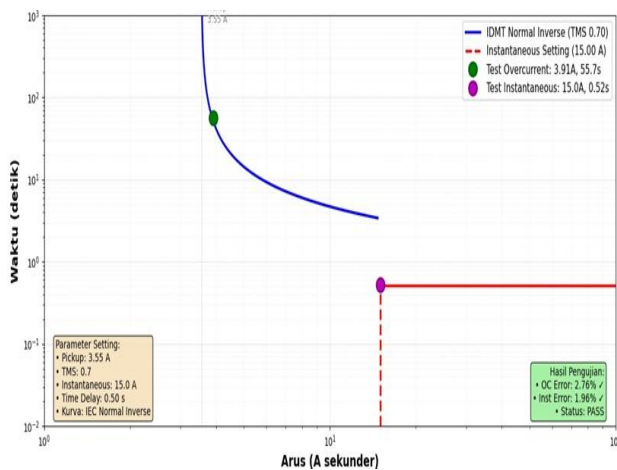
3.3 Validasi pengujian melalui secondary injection

Pengujian dilakukan menggunakan *secondary injection test set* Dotek DTJB-2209 untuk memvalidasi akurasi waktu operasi relay. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian *secondary injection*

Parameter	Setting (Is)	Arus Injeksi	Waktu Teoritis	Waktu Aktual	Error	Status
Overcurrent (NI)	3,55 A	3,91 A	54,20 s	55,7 s	2,76 %	✓ PASS
Definite Time Overcurrent	15,00 A	15,00 A	0,51 s	0,52 s	1,96 %	✓ PASS

Kedua pengujian menunjukkan deviasi waktu operasi yang sangat rendah ($< 3\%$), di bawah batas toleransi yang diizinkan oleh standar IEC 60255-151 ($\pm 5\%$ atau ± 50 ms). Akurasi tinggi ini mengindikasikan bahwa relay beroperasi dalam kondisi kalibrasi yang sangat baik.



Gambar 3. Kurva Karakteristik Waktu-Arus TCC

kurva karakteristik waktu-arus (TCC) dari setting optimal. Kurva biru merepresentasikan fungsi IDMT IEC Normal Inverse dengan TMS 0,70, sedangkan garis merah horizontal menunjukkan

fungsi *definite time* pada 1.800 A dengan *time delay* 0,50 detik. Titik A (3,91A; 55,7s) dan B (15,00A; 0,52s) merupakan hasil pengujian *secondary injection* yang validasi posisinya sesuai dengan kurva teoritis.

3.4 Analisa pengujian terhadap standar proteksi

Validasi kinerja sistem proteksi hasil optimalisasi dilakukan dengan membandingkannya terhadap kriteria yang ditetapkan dalam standar. Sebagai acuan dasar, digunakan SNI IEC 60255 yang berlaku nasional. Untuk analisis yang lebih mendalam terhadap aspek koordinasi dan kinerja proteksi dalam konteks sistem industri, digunakan pula IEEE 242-2001 sebagai standar internasional yang secara khusus membahas proteksi dan koordinasi pada sistem tenaga industri dan komersial. Hasil menunjukkan sistem memenuhi semua aspek:

- Keandalan: error 2,76% (IDMT) dan 1,96%(DT), di bawah batas $\pm 5\%$ (IEC 60255)
- Sensitivitas: setting 85% In untuk overload dan $3,6 \times$ In untuk gangguan hubung singkat, sesuai rekomendasi IEEE 242-2001.
- Stabilitas: setting $1,14 \times$ di atas arus *inrush* maksimum, masih acceptable meski dibawah faktor keamanan ideal 1,2-1,5.

Evaluasi keandalan (Reliability)

Keandalan sistem proteksi diukur berdasarkan konsistensi waktu operasi aktual relay terhadap perhitungan teoritis. Hasil pengujian *secondary injection* menunjukkan performa pada tabel 4 berikut ini.

Deviasi yang diperoleh (2,76% untuk IDMT dan 1,96% untuk DT) berada jauh di bawah batas toleransi maksimum standar IEC 602550-151. Tingkat akurasi ini mengindikasikan bahwa relay Siemens 7SJ80 beroperasi dalam kondisi kalibrasi optimal tanpa degradasi performa.

Tabel 4. Analisa keandalan berdasarkan toleransi IEC 60255-151

Parameter	Waktu teori	Waktu Aktual	Deviasi	Toleransi IEC	Status
Overcurrent (IDMT)	54,2 s	55,7 s	1,5 s (2,76 %)	$\pm 2,71$ s (5%)	✓ PASS
Definite Time Overcurrent	0,51 s	0,52 s	0,01 s (1,96 %)	$\pm 0,026$ s (5%)	✓ PASS

Evaluasi sensitivitas (Sensitivity)

Sensitivitas proteksi mengacu pada kemampuan sistem mendeteksi gangguan dengan magnitudo minimum yang mungkin terjadi pada sistem.

- Analisis Sensitivitas Proteksi Overload

Setting pada 85% arus nominal memberikan kemampuan deteksi overload pada level 118% dari pickup ($100/85 \times 100\%$), yang sesuai dengan rekomendasi IEEE untuk proteksi thermal overload transformator.

- Analisis Sensitivitas Proteksi Hubung Singkat Untuk memastikan sistem proteksi mampu mendeteksi berbagai jenis gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi, dilakukan evaluasi sensitivitas terhadap gangguan tipikal pada level tegangan 11,5 kV. Gangguan tiga fasa (*three-phase fault*) umumnya memiliki magnitudo tertinggi, sementara gangguan fasa-fasa (*phase-to-phase fault*) lebih sering terjadi namun dengan arus yang lebih rendah. Setting *Definite Time Overcurrent* sebesar 1.800 A primer (15,00 A sekunder) dievaluasi kemampuannya mendeteksi kedua jenis gangguan tersebut. Hasil evaluasi disajikan pada Tabel 5.

Setting *definite time* 3,6x memberikan sensitivitas yang baik untuk gangguan hubung singkat sambil tetap stabil terhadap arus *inrush*. Margin 225 A (1.800 - 1.575 A) atau 14,3% di atas estimasi *inrush* maksimum memberikan buffer yang cukup terhadap variasi arus *inrush*

akibat perbedaan sudut switching, menyalakan beberapa transformator secara bersamaan dalam waktu yang hampir sama.

Tabel 5. Evaluasi Sensitivitas terhadap Berbagai Jenis Gangguan

Jenis Gangguan	Arus Tipikal	Setting	Deteksi	Status
3-Phase Fault	15.000 - 20.000 A	1.800 A	✓ Ya	PASS
Phase-to-Phase	8.000 - 12.000 A	1.800 A	✓ Ya	PASS

Evaluasi stabilitas (Stability)

Stabilitas proteksi diuji terhadap kondisi transien non-gangguan, khususnya pada fenomena *inrush* transformator.

Tabel 6. Analisis Stabilitas terhadap Kondisi Transien

Kondisi Transien	Arus Puncak	Setting	Margin	Status
Inrush 1 Trafo	724 A	1.800 A	148%	✓ Stabil
Inrush 2 Trafo	~1.450 A	1.800 A	24%	✓ Stabil
Inrush 3-4 Trafo	~1.575 A	1.800 A	14%	✓ Stabil

Berdasarkan analisis, arus *inrush* maksimum sistem pada kondisi terburuk mencapai 1.575 A. setting definite time sebesar 1800 A memberikan faktor keamanan 1,14 (margin 14,3%) di atas nilai *inrush* tersebut. Meskipun margin ini sedikit di bawah rekomendasi konservatif IEEE 242-2001 (faktor 1,2–1,5), setting ini tetap dianggap *acceptable* karena tiga alasan utama: probabilitas terjadinya kondisi *inrush* maksimum sangat rendah dalam operasi harian, arus *inrush* mengalami delay yang cepat (kurang dari 0,3 detik) sementara *time delay* yang diset adalah

0,50 detik, dan *time delay* relay 0,5 detik memberikan waktu bagi *inrush* untuk mereda.

Setelah dilakukan evaluasi mendalam terhadap aspek keandalan, sensitivitas, dan stabilitas, hasil validasi sistem proteksi yang dioptimasi dirangkum dan dibandingkan dengan kriteria standar nasional (SNI IEC 60255) dan internasional (IEEE 242-2001). Ringkasan kesesuaian disajikan dalam Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi Kesesuaian dengan Standar Proteksi

Aspek Proteksi	Standar referensi	Kriteria	Hasil Aktual	Status
Reliabilitas	IEC 60255-151	Error < ±5%	2,76% (OC), 1,96% (Inst)	✓ PAS S
Sensitivitas	IEEE 242 Sec 5.4.2	Pickup 85-150% In	85% In (OC), 3,6x In (Inst)	✓ PAS S
Stability	IEEE 242	Setting > 1,2x Inrush	1,14x Inrush (acceptable)	✓ PAS S

Sistem proteksi Incoming PM1 dengan setting yang diterapkan ($I_p = 3,55$ A, TMS = 0,70, DT = 15,00 A) memenuhi seluruh kriteria yang ditetapkan dalam standar IEEE 242-2001 dan IEC 60255. Hasil pengujian *secondary injection* memvalidasi bahwa relay beroperasi dengan akurasi tinggi, memberikan selektivitas yang baik, sensitivitas yang memadai, dan stabilitas yang *acceptable* terhadap kondisi transien operasional.

3.5 Evaluasi kinerja sistem dan rekomendasi

Optimasi setting proteksi pada relay Siemens 7SJ80 telah berhasil meningkatkan kinerja sistem distribusi 11,5 kV di PT XYZ secara signifikan. Setting yang diterapkan yakni *pickup current* 3,55 A (426 A primer) dengan TMS 0,70 untuk proteksi IDMT serta *definite time overcurrent* 15,00 A (1800 A primer) dengan *time delay* 0,50

detik terbukti optimal berdasarkan validasi teoritis dan dengan menggunakan alat. Setting ini tidak hanya sesuai dengan karakteristik beban operasional yang berkisar 350–450 A (70–90% kapasitas sistem), tetapi juga telah terbukti akurat melalui pengujian *secondary injection* dengan deviasi di bawah 3%. Lebih penting lagi, konfigurasi ini berhasil menyeimbangkan tiga prinsip proteksi utama yaitu sensitive terhadap gangguan actual, stabil terhadap arus *inrush* transformator, serta selektif melalui koordinasi waktu yang memadai dengan perangkat hilir.

Untuk mempertahankan kinerja optimal dalam jangka panjang, direkomendasikan pelaksanaan pengujian *secondary injection* secara berkala minimal setahun sekali, atau setelah terjadinya gangguan mayor pada sistem. Secara keseluruhan, implementasi setting optimal ini memberikan dampak nyata terhadap keandalan sistem distribusi di PT XYZ.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi setting proteksi pada panel switchgear 11,5 kV dengan implementasi relay Siemens 7SJ80 telah berhasil meningkatkan keandalan sistem distribusi di PT XYZ. Setting yang direkomendasikan, yaitu *pickup* 3,55 A (426 A primer) dengan TMS 0,70 untuk proteksi IDMT serta *definite time* 15,00 A (1800 A primer) dengan *time delay* 0,50 detik, terbukti sensitif terhadap gangguan, stabil terhadap arus *inrush* transformator, dan menjaga selektivitas dengan perangkat hilir. Hasil pengujian *secondary injection* memvalidasi akurasi tinggi dengan deviasi waktu operasi di bawah 3%, yang memenuhi persyaratan standar SNI IEC 60255 dan IEEE 242-2001.

Secara lebih luas, penelitian ini memberikan implikasi penting bagi penerapan sistem proteksi berbasis relay digital dalam konteks distribusi industri. Hasil optimasi menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif melalui perhitungan parameter berbasis standar dan validasi eksperimental dapat secara signifikan

meningkatkan responsivitas, selektivitas, dan stabilitas sistem proteksi. Dengan demikian, metode yang diterapkan tidak hanya relevan untuk PT XYZ, tetapi juga dapat diadopsi sebagai langkah standar dalam melakukan *retrofit* atau *commissioning* sistem proteksi pada jaringan tegangan menengah di industri sejenis, seperti pabrik, fasilitas produksi, dan infrastruktur kritis lainnya. Implementasi relay digital seperti Siemens 7SJ80 dengan setting yang teroptimasi dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan keandalan sistem, mengurangi *downtime* operasional, dan mendukung keberlanjutan pasokan daya di sektor industri.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar PT XYZ melakukan pengujian *secondary injection* secara berkala serta mendokumentasikan perubahan *setting* untuk pemeliharaan preventif. Integrasi relay dengan sistem SCADA juga dapat dipertimbangkan guna meningkatkan kemampuan monitoring dan analisis gangguan secara *real time*. Untuk penelitian lanjutan, disarankan agar melakukan studi koordinasi proteksi yang lebih menyeluruh dengan perangkat hilir, mengeksplorasi fungsi proteksi tambahan pada relay 7SJ80, serta memanfaatkan simulasi perangkat lunak seperti ETAP untuk validasi sebelum implementasi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. I. A. Iriando, Geddy Rizky, “STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA TRANSFORMATOR 20KV DI JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PENYULANG BANDILAN,” *J. Tek. Elektro*, vol. Volume 08, pp. 1–23, 2016.
- [2] E. Fauziyah and I. Irwanto, “Analisis Sistem Proteksi Generator Menggunakan Over Current Relay Di Pt. Indonesia Power,” *D’computare J. Ilm. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.30605/dcomputare.v12i2.46.
- [3] S. Yuniar Yasmin and E. Permata, “Sistem Proteksi Switch Gear 5P1_1S1_U5 Untuk Motor Cement Mill Di Pt Cemindo Gemilang Plant Bayah,” vol. 1, no. 1, pp. 118–127, 2022.
- [4] A. Multi and T. Addaus, “Analisa Proteksi Over Current Relay (Ocr) Dan Ground Fault Relay (Gfr) Pada Transformator Daya Gardu Induk,” *Sainstech J. Penelit. Dan Pengkaj. Sains Dan Teknol.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.37277/stch.v32i1.1215.
- [5] M. N. FARHAN, “POLITEKNIK NEGERI JAKARTA Soal-Soal :,” no. 021, pp. 21–22, 2021.
- [6] SNI: 04-0227, “Tegangan Standar,” *Tegangan Standar*, no. 391, p. 5, 2003.
- [7] B. A. B. Ii, “1 | Halaman,” pp. 1–28.
- [8] D. Mahendra, A. Arlenny, and U. Situmeang, “Evaluasi Setting Rele Proteksi Untuk Mengurangi Busur Api Pada Switchgear Di Bekasap Area PT. Chevron Pacific Indonesia,” *J. Tek.*, vol. 12, no. 2, pp. 77–84, 2018, doi: 10.31849/teknik.v12i2.1769.
- [9] N. R. R, M. Karthik, and M. Shihab, “A Review on Switchgear Analysis and Common Challenges Observed in Switchgear,” vol. 10, no. 03, pp. 251–254, 2021.
- [10] U. Wiharja and A. A. Prasetyo, “Analisa Arus Dan Tegangan Listrik Pada Gas Insulated Switchgear Plumpang 150 kV,” *J. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 39–47, 2024.
- [11] N. Sahari, Z. Ngadiron, D. A. Zulkifli, R. Ganasan, and N. Ismail, “Analysis of Switchgear on Insulation Performance and Reliability in Malaysian Railway Double Track Project,” vol. 71, no. 4, pp. 72–78, 2023.
- [12] I. Z. N. WIDODO, “ANALISIS RETROFIT BREAKER SWITCHGEAR 6,3 KV PT. INDONESIA POWER SEMARANG PGU,” UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG, 2022.

- [13] M. BURHAN, “STUDI GANGGUAN DAN KINERJA SISTEM PROTEKSI TRAFU TENAGA PADA GIS DAN GARDU INDUK KONVENSIONAL 150 KV BONTOALA,” Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2018.
- [14] I. Zamora, A. J. Mazón, V. Valverde, E. Torres, and A. Dyško, “Power quality and digital protection relays,” *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 277–284, 2004, doi: 10.24084/repqj02.270.
- [15] C. Sip, “SIPROTEC Compact”.
- [16] IEEE, “IEEE Std 242-2001, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book),” 2001. doi: 10.1109/IEEESTD.2001.93369.
- [17] I. P. & E. Society, “IEEE Std C57.91-2011, IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed Transformers and step-voltage regulator,” 2012. doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6166928.
- [18] IEC, “IEC 60255-151:2009 Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements for over/under current protection,” 2009. [Online]. Available: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/52bc0a7b-4aac-4788-9f0d-a0519d76497c/iec-60255-151-2009>