
Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77

**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**

Andi Wijaya^{1*}, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana
Jl. Dukuh Menanggal XII, Surabaya, Jawa Timur
Email: broekensmile@gmail.com¹⁾, sagita@unipasby.ac.id²⁾, mohamadilham@unipasby.ac.id

ABSTRACT

This study evaluates the differential relay settings of Transformer IV at Segoromadu Substation to ensure reliable transformer protection. The analysis involves manual calculations of transformer nominal current, current transformer (CT) ratio, differential current, restraining current, and relay slope. The results are compared with the existing relay settings and verified through simulations using ETAP 21.0.1. The findings indicate that the existing pickup setting of 0.3 p.u. is appropriate based on the manual calculations. Furthermore, the simulation results demonstrate that the differential relay operates rapidly and selectively, with a trip time of less than 100 ms during internal faults. The relay remains stable during external faults outside the protection zone, confirming its ability to distinguish internal faults from external disturbances and support reliable transformer protection.

Keywords: Power transformer, differential relay, power system protection, differential current, ETAP.

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi pengaturan rele diferensial pada Transformator IV Gardu Induk Segoromadu untuk memastikan keandalan proteksi transformator. Analisis meliputi perhitungan manual arus nominal transformator, rasio transformator arus (CT), arus diferensial, arus penahan, dan kemiringan karakteristik rele. Hasil perhitungan dibandingkan dengan pengaturan rele yang telah digunakan dan diverifikasi melalui simulasi menggunakan ETAP 21.0.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan pickup sebesar 0,3 p.u. sesuai berdasarkan perhitungan manual. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa rele diferensial bekerja secara cepat dan selektif, dengan waktu trip kurang dari 100 ms saat terjadi gangguan internal. Rele tetap stabil ketika terjadi gangguan eksternal di luar zona proteksi, sehingga mampu membedakan gangguan internal dan eksternal serta mendukung keandalan proteksi transformator. Kata Kunci : Transformator daya, rele diferensial, proteksi sistem tenaga listrik, arus diferensial, ETAP.

PENDAHULUAN

Dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, transformator tenaga merupakan salah satu peralatan utama yang memiliki peran sangat vital dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik. Transformator berfungsi untuk mengubah tingkat tegangan listrik, baik menaikkan maupun menurunkan, sesuai dengan kebutuhan sistem. Dengan adanya transformator, energi listrik dapat ditransmisikan dalam jarak jauh dengan rugi-rugi yang lebih kecil serta dapat didistribusikan secara aman kepada konsumen. Oleh karena itu, keandalan transformator menjadi faktor yang sangat penting dalam menjaga stabilitas dan kualitas sistem tenaga Listrik [1].

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, tuntutan terhadap keandalan sistem tenaga listrik juga semakin tinggi. Hal ini menyebabkan setiap komponen dalam sistem, termasuk transformator, harus mampu bekerja secara optimal dalam berbagai kondisi operasi. Gangguan pada transformator tidak hanya berdampak pada peralatan itu sendiri, tetapi juga dapat mempengaruhi sistem secara luas, seperti terjadinya pemadaman listrik yang dapat mengganggu aktivitas industri, komersial, maupun masyarakat umum. Transformator tenaga pada dasarnya dirancang untuk bekerja secara kontinu dalam jangka waktu yang panjang. Namun demikian, dalam kondisi operasional nyata, transformator tetap memiliki potensi mengalami gangguan. Gangguan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal meliputi kerusakan pada belitan, kegagalan isolasi, serta gangguan antar fasa di dalam transformator. Sementara itu, gangguan eksternal dapat disebabkan oleh faktor lingkungan seperti petir, polusi, maupun gangguan dari Binatang [2].

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal Qua Teknik, (2026), 16 (2): 64-77

Gangguan yang disebabkan oleh binatang merupakan salah satu fenomena yang cukup sering terjadi pada sistem tenaga listrik di lapangan. Hewan seperti burung, tikus, atau reptil dapat bersarang atau menyentuh bagian bertegangan, sehingga menimbulkan hubung singkat atau gangguan isolasi. Dampak dari gangguan ini tidak hanya menyebabkan kerusakan pada peralatan, tetapi juga dapat mengakibatkan pemadaman listrik yang meluas. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang mampu mendeteksi gangguan secara cepat dan akurat untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan. Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menjaga keandalan dan keamanan peralatan. Sistem ini bekerja dengan cara mendeteksi kondisi abnormal dan memutus bagian sistem yang mengalami gangguan. Dalam implementasinya, sistem proteksi harus memiliki karakteristik cepat, selektif, sensitif, dan andal agar mampu melindungi peralatan secara optimal tanpa mengganggu bagian sistem yang sehat [3].

Salah satu jenis proteksi yang umum digunakan pada transformator tenaga adalah differential relai. Differential relai merupakan proteksi utama yang dirancang khusus untuk mendeteksi gangguan internal pada transformator. Prinsip kerja relai ini didasarkan pada perbandingan arus yang masuk dan keluar dari transformator melalui transformator arus (Current Transformer/CT). Dalam kondisi normal, arus yang masuk dan keluar akan seimbang setelah mempertimbangkan rasio transformasi dan karakteristik sistem. Apabila terjadi gangguan internal, maka akan muncul perbedaan arus antara sisi primer dan sekunder transformator yang disebut sebagai arus diferensial. Jika nilai arus diferensial tersebut melebihi batas setting yang telah ditentukan, maka relai akan memberikan perintah trip kepada circuit breaker untuk memutus aliran listrik. Dengan demikian, kerusakan yang lebih besar pada transformator dapat dicegah, dan gangguan tidak menyebar ke bagian sistem lainnya [4].

Meskipun memiliki keunggulan dalam mendeteksi gangguan internal, differential relai juga memiliki beberapa tantangan dalam penerapannya. Salah satu tantangan utama adalah adanya arus inrush yang muncul saat transformator pertama kali di-energize. Arus inrush ini memiliki karakteristik yang mirip dengan arus gangguan, sehingga dapat menyebabkan relai bekerja secara tidak semestinya apabila tidak diantisipasi dengan pengaturan yang tepat. Selain itu, ketidaksesuaian rasio dan polaritas CT antara sisi primer dan sekunder juga dapat menyebabkan terjadinya arus diferensial semu. Kondisi ini dapat mengakibatkan relai mendeteksi adanya gangguan padahal sistem dalam kondisi normal. Oleh karena itu, pemilihan dan pengaturan CT menjadi aspek yang sangat penting dalam sistem proteksi differential relai. Standar teknis seperti SPLN T5.003-2010 memberikan panduan dalam pemasangan dan konfigurasi CT untuk memastikan kesesuaian antara sisi primer dan sekunder. Penyesuaian wiring CT yang tepat dapat meningkatkan selektivitas dan sensitivitas relai, sehingga mampu membedakan antara kondisi normal, gangguan internal, dan gangguan eksternal dengan lebih akurat [5].

Selain pengaturan perangkat keras, analisis dan simulasi sistem proteksi juga menjadi langkah penting dalam memastikan keandalan relai. Simulasi memungkinkan pengujian berbagai kondisi gangguan tanpa harus mengganggu sistem nyata. Dengan demikian, potensi kesalahan dalam setting dapat diidentifikasi dan diperbaiki sebelum sistem dioperasikan. Perkembangan teknologi perangkat lunak, seperti ETAP (Electric Transient Analysis Program), memberikan kemudahan dalam melakukan analisis sistem tenaga listrik secara komprehensif. Melalui ETAP, pengguna dapat melakukan simulasi aliran daya, analisis hubung singkat, serta evaluasi kinerja sistem proteksi, termasuk differential relai. Hasil simulasi ini sangat membantu dalam menentukan parameter setting yang optimal [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis setting dan kinerja differential relai sebagai proteksi utama pada transformator tenaga. Studi kasus dilakukan pada Trafo IV di Gardu Induk Segoromadu, yang merupakan salah satu bagian penting dalam sistem distribusi tenaga listrik. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan data serta relevansi kondisi sistem terhadap penelitian yang dilakukan.

Penelitian ini mencakup beberapa aspek utama, yaitu perhitungan arus nominal transformator, penentuan rasio CT, perhitungan arus diferensial dan arus restraining, serta penentuan parameter slope relai. Selain itu, dilakukan juga perbandingan antara hasil perhitungan manual dengan setting existing yang digunakan di lapangan untuk mengetahui tingkat kesesuaian dan keandalannya [7].

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (2): 64-77

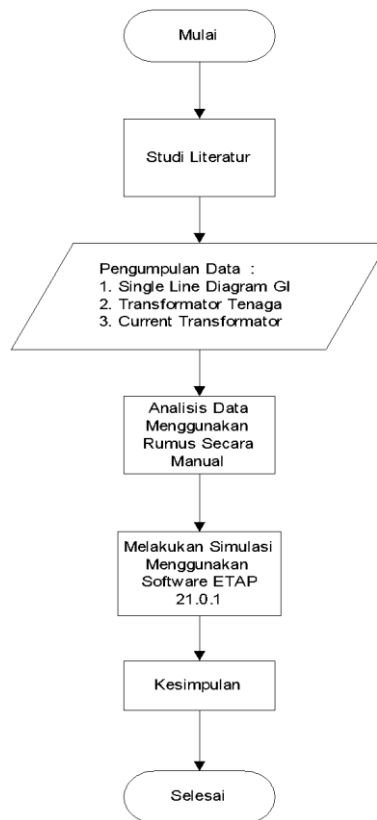
Simulasi menggunakan ETAP 21.0.1 dilakukan untuk mengevaluasi respon differential relai terhadap berbagai kondisi gangguan, baik gangguan internal maupun eksternal. Dengan pendekatan ini, dapat dianalisis apakah relai mampu bekerja secara selektif, yaitu hanya merespon gangguan yang terjadi di dalam zona proteksinya, serta tidak merespon gangguan di luar zona tersebut. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kesesuaian nilai setting differential relai pada transformator, mengevaluasi performa relai dalam kondisi simulasi, serta memastikan bahwa sistem proteksi yang digunakan telah memenuhi kriteria keandalan [8]. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi dalam peningkatan sistem proteksi apabila ditemukan ketidaksesuaian dalam setting yang ada.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi praktisi di bidang ketenagalistrikan, khususnya dalam pengelolaan dan pemeliharaan sistem proteksi transformator tenaga. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi kalangan akademisi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya yang berkaitan dengan sistem proteksi tenaga listrik. Lebih lanjut, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya dalam mengembangkan metode analisis yang lebih akurat dan efisien [9]. Dengan adanya penelitian lanjutan, diharapkan sistem proteksi transformator tenaga dapat terus ditingkatkan sehingga mampu menghadapi berbagai tantangan dalam sistem tenaga listrik modern.

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian, meliputi alur penelitian, perancangan penelitian, teknik pengumpulan data, serta metode analisis yang digunakan dalam mengolah data. Metodologi ini disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa penelitian dapat dilakukan secara terstruktur dan menghasilkan analisis yang valid serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini diawali dengan penyusunan rancangan penelitian yang digambarkan dalam bentuk diagram alir untuk mempermudah pemahaman terhadap tahapan yang dilakukan. Diagram alir tersebut menunjukkan urutan proses penelitian mulai dari identifikasi masalah hingga tahap analisis dan simulasi sistem proteksi. Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (2): 64-77



GAMBAR 1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Tahap awal penelitian dimulai dengan pemilihan objek penelitian, yaitu transformator tenaga pada PT. PLN (Persero) UPT Gresik, khususnya di Gardu Induk Segoromadu. Pemilihan objek ini didasarkan pada adanya permasalahan gangguan eksternal yang terjadi pada transformator tersebut. Gangguan yang terjadi menjadi dasar dalam melakukan analisis terhadap sistem proteksi yang digunakan, khususnya differential relai. Selain itu, transformator tenaga merupakan salah satu peralatan vital dalam sistem tenaga listrik sehingga keandalan sistem proteksinya harus selalu terjaga. Oleh karena itu, pemilihan objek ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan keandalan sistem proteksi di lapangan [10].

Selanjutnya dilakukan identifikasi masalah secara mendalam untuk mengetahui penyebab dan karakteristik gangguan yang terjadi. Pada tahap ini juga dilakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja sistem proteksi, seperti nilai impedansi transformator, kapasitas daya, serta kondisi operasional sistem. Selain itu, dilakukan pula peninjauan terhadap histori gangguan yang pernah terjadi untuk mengetahui pola gangguan yang dominan. Identifikasi ini bertujuan untuk menentukan variabel yang akan dianalisis dalam penelitian, sehingga analisis yang dilakukan menjadi lebih terarah dan sistematis. Dengan identifikasi yang tepat, diharapkan solusi yang dihasilkan dapat sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Tahap berikutnya adalah studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi dari buku, jurnal ilmiah, standar teknis, serta dokumen pendukung lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Referensi yang digunakan tidak hanya berasal dari sumber nasional, tetapi juga internasional untuk memperkaya sudut pandang dalam penelitian. Seluruh referensi tersebut dikelola menggunakan

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (2): 64-77

aplikasi Mendeley untuk memudahkan proses pengorganisasian dan sitasi. Studi literatur ini berfungsi sebagai landasan teori serta acuan dalam melakukan analisis dan perhitungan. Selain itu, studi literatur juga membantu dalam memahami perkembangan teknologi terbaru terkait sistem proteksi transformator, khususnya differential relai [11].

Setelah memperoleh dasar teori yang cukup, dilakukan proses pengumpulan data yang menjadi input utama dalam penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi data spesifikasi transformator tenaga, data Current Transformer (CT) sisi primer dan sekunder, serta data parameter setting differential relai yang digunakan pada sistem. Data tersebut diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan serta dokumentasi teknis dari pihak terkait. Selain itu, dilakukan juga koordinasi dengan pihak teknis di gardu induk untuk memastikan bahwa data yang diperoleh sesuai dengan kondisi aktual. Proses pengumpulan data ini dilakukan secara teliti dan sistematis untuk meminimalkan kesalahan yang dapat mempengaruhi hasil penelitian.

Dalam penelitian ini, keakuratan data menjadi faktor yang sangat penting karena akan mempengaruhi hasil perhitungan dan analisis. Oleh karena itu, data yang diperoleh dilakukan verifikasi terlebih dahulu untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi sistem yang sebenarnya. Proses verifikasi ini dilakukan dengan membandingkan data lapangan dengan dokumen teknis yang tersedia serta melakukan cross-check dengan operator atau teknisi yang bertanggung jawab. Selain itu, dilakukan juga penyaringan data untuk menghindari penggunaan data yang tidak valid atau tidak relevan. Dengan demikian, data yang digunakan dalam penelitian benar-benar dapat dipertanggungjawabkan [12].

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, dilakukan perhitungan manual untuk menentukan parameter-parameter penting dalam sistem proteksi differential relai. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh nilai setting yang sesuai dengan karakteristik transformator dan sistem yang digunakan. Parameter yang dihitung meliputi rasio CT, arus diferensial, arus restrain, error mismatch CT, arus sekunder CT, serta arus setting relai. Selain itu, dilakukan juga evaluasi terhadap kesesuaian nilai setting yang ada dengan hasil perhitungan teoritis. Proses ini penting untuk mengetahui apakah setting relai yang digunakan saat ini sudah optimal atau masih perlu dilakukan penyesuaian.

Selain perhitungan manual, dilakukan juga analisis berdasarkan data gangguan hubung singkat yang pernah terjadi pada Trafo IV Gardu Induk Segoromadu. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem proteksi terhadap kondisi gangguan yang nyata, sehingga dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan. Dalam proses analisis, dilakukan perbandingan antara nilai arus diferensial dengan arus setting relai. Apabila nilai arus diferensial lebih kecil dari nilai setting, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai gangguan eksternal dan relai tidak akan bekerja. Sebaliknya, apabila nilai arus diferensial melebihi nilai setting, maka kondisi tersebut dianggap sebagai gangguan internal dan relai harus bekerja dengan memberikan perintah trip untuk melindungi transformator. Analisis ini juga mempertimbangkan kemungkinan terjadinya kesalahan operasi (maloperation) atau kegagalan operasi (failure to operate).

Selain analisis manual, penelitian ini juga memanfaatkan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP versi 21.0.1. Simulasi ini digunakan untuk memodelkan sistem tenaga listrik secara virtual sehingga berbagai kondisi operasi dapat diuji tanpa harus mengganggu sistem nyata.

Dengan demikian, simulasi menjadi alat yang efektif untuk mengevaluasi kinerja sistem proteksi. Melalui simulasi, dapat dilakukan pengujian terhadap berbagai skenario gangguan, baik gangguan internal maupun eksternal, serta melihat respon sistem proteksi terhadap masing-masing kondisi tersebut. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan manual untuk memastikan konsistensi dan validitas hasil penelitian.

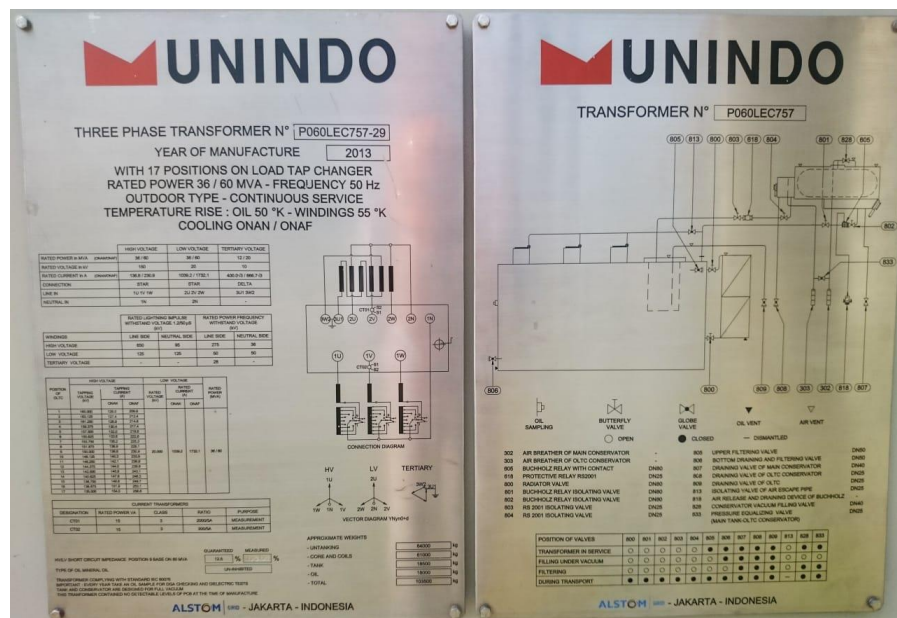
Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) UIT JBM, UPT Gresik, ULTG Gresik, Gardu Induk 150 kV Segoromadu. Data tersebut meliputi data transformator dengan kapasitas 60 MVA, data CT sisi primer dan sekunder, data parameter setting differential relai, serta data Single Line Diagram (SLD) Gardu Induk Segoromadu. Selain itu, data tambahan seperti data beban dan kondisi operasi sistem juga digunakan untuk melengkapi analisis. Data transformator tenaga ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2. Penyajian data ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77

mengenai sistem yang dianalisis sehingga memudahkan dalam proses pemahaman dan evaluasi hasil penelitian.

TABEL 1. DATA TRANSFORMATOR #IV GARDU INDUK SEGOROMADU

Data Transformator Daya	
Merk	UNINDO
Tahun Operasi	2013
Standard Code	IEC-50075-SERIES
Tegangan	150/20 KV
Daya	60 MVA
Frekuensi	50 HZ
Fasa	3
Tipe Pendinginan	ONAN/ONAF (60%/100%)
Belitan	YNyn0+d
Teganga Operasi	150 KV
Impedansi	11,9 %
Tahun Pembuatan	



GAMBAR 2. DATA TRANSFORMATOR TENAGA

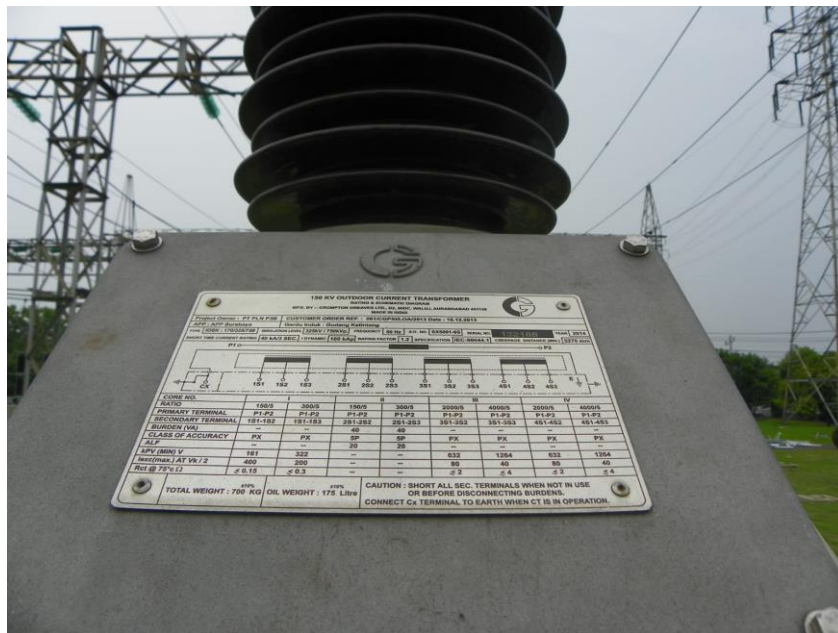
Data transformator yang digunakan dalam penelitian ini memiliki peran penting dalam menentukan arus nominal serta parameter lain yang digunakan dalam perhitungan. Spesifikasi transformator seperti tegangan, daya, impedansi, dan tipe belitan menjadi dasar dalam menentukan karakteristik sistem yang dianalisis.

Selanjutnya, data Current Transformer (CT) sisi primer dan sekunder ditunjukkan pada Tabel 2 serta Gambar 3 dan Gambar 4.

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77

TABEL 2. DATA CT SISI PRIMER DAN SEKUNDER

	PRIMER	SEKUNDER
Merk	ALSTHOM	YOUNG - HWA
Rasio CT	400/5 A	2000/5 A
Tegangan Nominal	150 KV	20 KV
Burden/Class	X	X



GAMBAR 3. DATA CT PRIMER



GAMBAR 4. DATA CT SEKUNDER

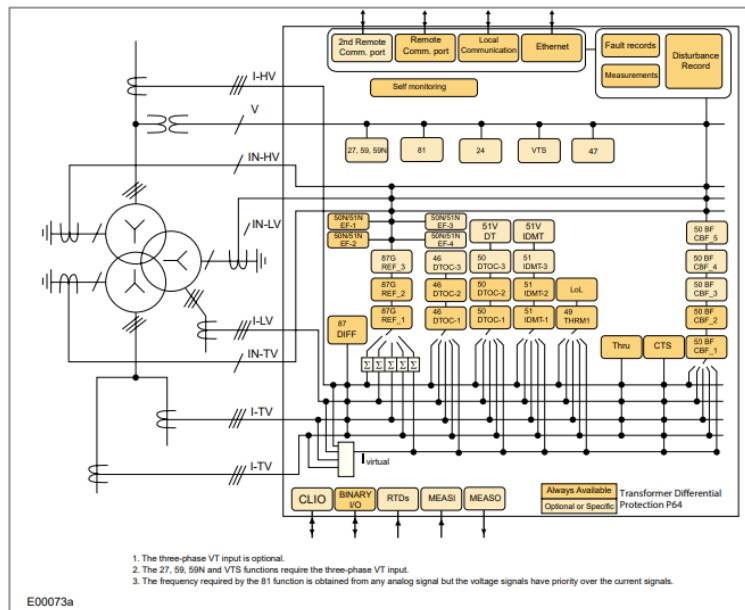
Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77

Data CT digunakan untuk menghitung arus sekunder yang akan masuk ke relai serta untuk menentukan kesesuaian rasio antara sisi primer dan sekunder. Ketidaksesuaian rasio CT dapat menyebabkan terjadinya error mismatch yang berpengaruh terhadap kinerja differential relai.

Parameter setting differential relai yang digunakan pada sistem ditunjukkan pada Tabel 3. Data ini merupakan setting existing yang digunakan sebagai acuan dalam analisis dan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual. Selain itu, tampilan fungsi relai ditunjukkan pada Gambar 5.

TABEL 3. PARAMETER SETTING DIFFERENTIAL RELAI GARDU INDUK SEGOROMADU

No	T/R Bay	I Setting (p.u)		Slope (%)		IS-HS (p.u)	
		IS 1	IS 2	K1	K2	HS 1	HS 2
1	Trafo IV	0.3	1.5	30	80	8.4	32



GAMBAR 5. FUNCTION OVERVIEW RELAI DIFFERENTIAL

Tahap berikutnya adalah pembuatan model sistem menggunakan perangkat lunak ETAP 21.0.1 dengan menyusun Single Line Diagram (SLD) sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Proses ini dilakukan dengan memasukkan seluruh parameter yang telah diperoleh ke dalam sistem simulasi. Tampilan perangkat lunak ETAP ditunjukkan pada Gambar 6.

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (2): 64-77



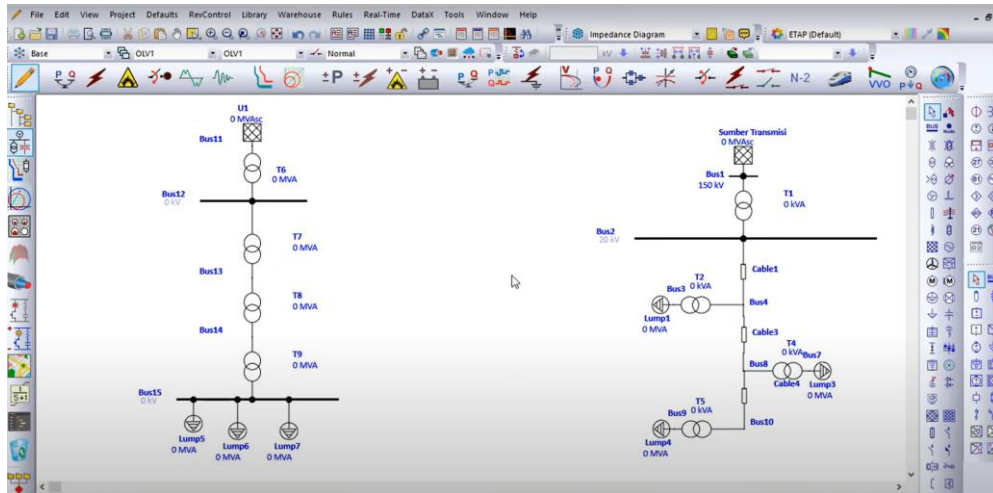
GAMBAR 6. SOFTWARE ETAP 21.0.1

Simulasi dilakukan untuk memverifikasi dan mengoptimalkan kinerja sistem proteksi differential relai. Dalam simulasi ini, parameter seperti rasio CT, nilai setting arus diferensial, serta karakteristik slope relai disesuaikan untuk mendapatkan performa proteksi yang optimal. Simulasi juga memungkinkan analisis terhadap berbagai kondisi gangguan yang sulit diuji secara langsung di lapangan. Proses simulasi dimulai dengan membangun diagram satu garis (Single Line Diagram) yang mencakup komponen utama seperti sumber, circuit breaker, busbar, transformator, dan beban. Setelah itu dilakukan konfigurasi parameter transformator dan CT sesuai dengan data teknis yang tersedia.

Differential relai kemudian dikonfigurasi dan dihubungkan dengan CT pada sisi primer dan sekunder transformator. Pengaturan parameter relai meliputi nilai minimum pickup, slope 1, slope 2, serta waktu kerja relai. Parameter tersebut diatur sedemikian rupa agar relai memiliki sensitivitas dan selektivitas yang baik. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan dua jenis gangguan, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Pada gangguan internal, relai diharapkan dapat bekerja dengan cepat dan memberikan perintah trip untuk memutus sistem. Sebaliknya, pada gangguan eksternal, relai tidak boleh bekerja agar tidak terjadi pemutusan yang tidak diperlukan.

Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk memastikan bahwa respon relai sesuai dengan karakteristik yang diharapkan. Evaluasi dilakukan dengan melihat nilai arus yang terukur, waktu kerja relai, serta posisi titik gangguan pada kurva karakteristik relai. Dengan demikian, dapat dipastikan bahwa sistem proteksi bekerja secara selektif dan andal. Hasil simulasi menggunakan ETAP ditunjukkan pada Gambar 7, yang menggambarkan kondisi sistem saat dilakukan analisis proteksi differential relai.

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFU IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77



GAMBAR 7. SIMULASI MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis data serta pembahasan terkait kinerja differential relai pada transformator tenaga di Gardu Induk Segoromadu. Analisis diawali dengan perhitungan arus nominal transformator (I_{base}) pada sisi tegangan 150 kV dan 20 kV untuk menentukan arus kerja pada kondisi beban penuh. Nilai arus nominal ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan rasio Current Transformer (CT) serta pengaturan parameter proteksi differential relai. Selanjutnya dilakukan perhitungan arus sekunder CT, dimana rasio CT dipilih sedikit lebih besar dari arus nominal transformator untuk menghindari saturasi dan memastikan akurasi pengukuran arus oleh relai.

Tahap berikutnya adalah validasi setting arus differential relai melalui perhitungan manual. Setting existing IS1 sebesar 0,3 p.u. diuji untuk memastikan kesesuaiannya terhadap kondisi sistem. Perhitungan matching arus dilakukan untuk menyesuaikan rasio dan polaritas CT agar tidak terjadi arus diferensial semu. Hasil perhitungan faktor koreksi CT yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai hasil manual dan otomatis relai memiliki perbedaan yang sangat kecil, sehingga dapat dikatakan sesuai. Selanjutnya dilakukan perhitungan arus diferensial, arus restraining, serta slope relai (slope 1 dan slope 2) untuk menentukan karakteristik kerja relai. Hasil perhitungan manual dibandingkan dengan setting existing pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi dan layak digunakan.

TABEL 4. TABEL PERHITUNGAN MATCHING ARUS

Trafo IV	
$k_{CT\ HV} = \frac{I_{Relay}}{I_{s\ HV}} = \frac{5\ A}{2,89\ A} = 1,730$	$k_{CT\ LV} = \frac{I_{Relay}}{I_{s\ LV}} = \frac{5\ A}{4,33\ A} = 1,154$

TABEL 5. TABEL PARAMETER SETTING FAKTOR KOREKSI OLEH DIFFERENTIAL RELAI MICOM
Data Faktor Koreksi CT

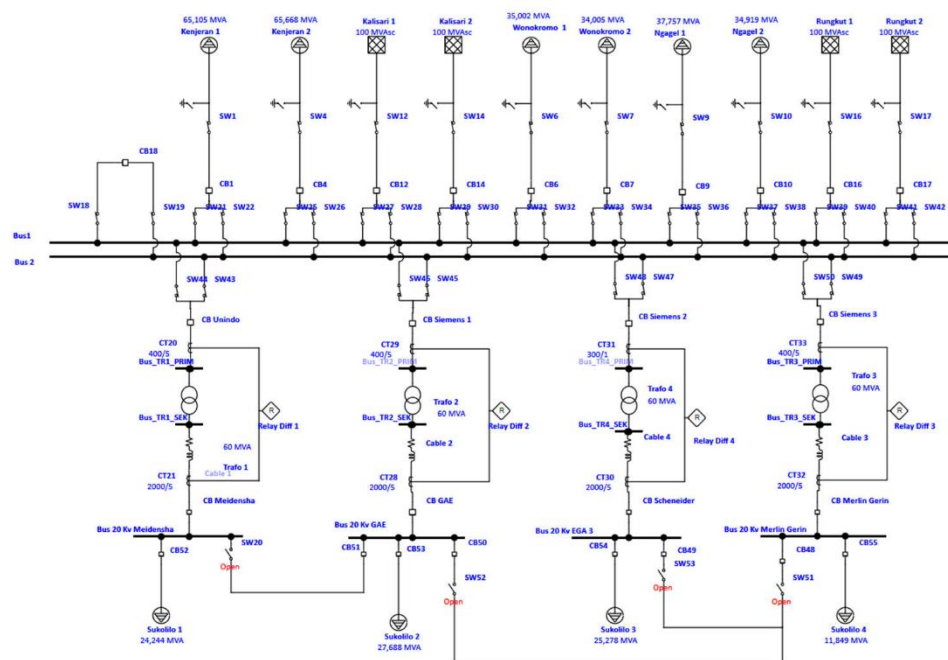
Cara	Primer	Sekunder
Auto Relai	1,732	1,155
Manual hitung	1,730	1,154

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAF0 IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77

TABEL 6. TABEL PARAMETER SETTING SLOPE OLEH DIFFERENTIAL RELAI MICOM

Data Faktor Koreksi CT		
Cara	Slope 1 (%)	Slope 2 (%)
Auto Relai	30	80
Manual hitung	39,88	79,76

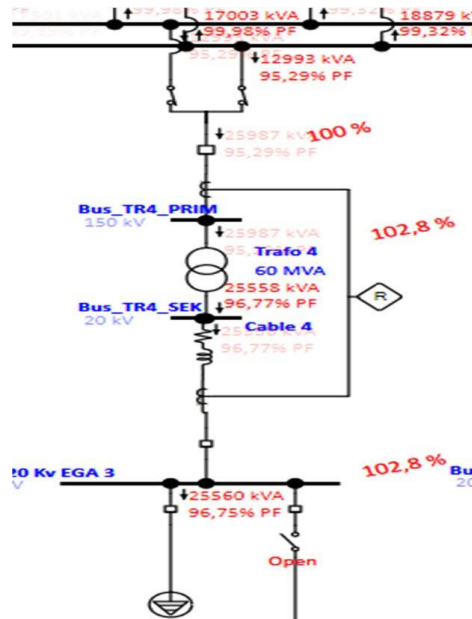
Selain perhitungan manual, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 21.0.1 untuk mengevaluasi kinerja differential relai. Single Line Diagram (SLD) Gardu Induk Segoromadu dibuat sesuai kondisi aktual sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Pada sistem tersebut terdapat 15 bay yang terdiri dari 10 bay line, 1 bay kopel, dan 4 bay transformator, dimana setiap transformator dilengkapi dengan differential relai sebagai proteksi utama.



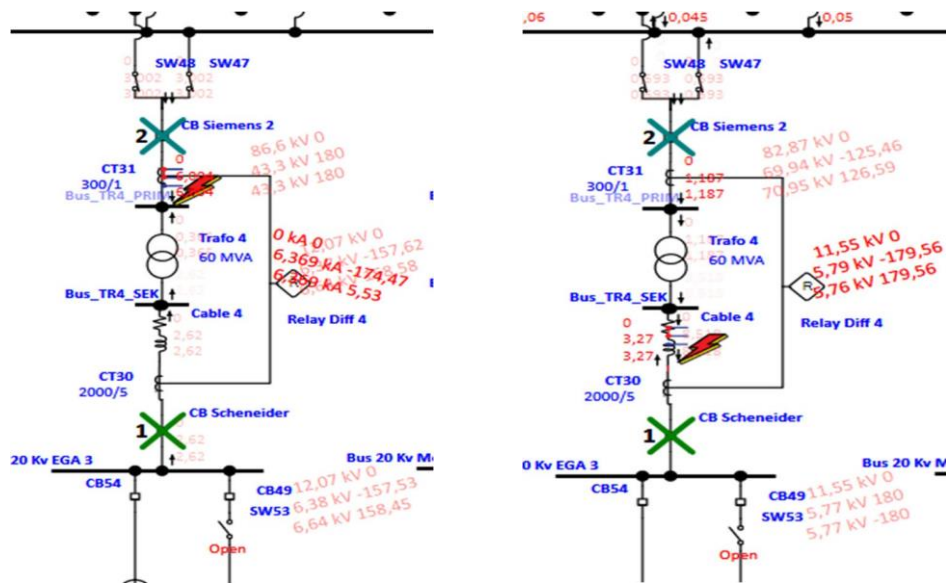
GAMBAR 8. SINGLE LINE DIAGRAM ETAP GI SEGOROMADU

Simulasi dilakukan pada beberapa kondisi, yaitu sebelum gangguan, saat gangguan internal, dan saat gangguan eksternal. Pada kondisi normal sebelum gangguan, aliran daya berjalan dengan baik dari sisi 150 kV menuju beban, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Ketika terjadi gangguan internal pada sisi primer maupun sekunder transformator, relai merespon dengan cepat dengan memutuskan circuit breaker pada sisi 150 kV dan 20 kV dalam waktu kurang dari 100 ms, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Hal ini menunjukkan bahwa relai bekerja sesuai dengan fungsinya dalam mendeteksi gangguan internal.

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
 ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFU IV GARDU
 INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1
 Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77



GAMBAR 9. KONDISI SEBELUM GANGGUAN EXTERNAL TRAFU IV



Gangguan Sisi Primer

Gangguan Sisi Sekunder

GAMBAR 10. SIMULASI GANGGUAN INTERNAL TRAFU IV

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAF0 IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal *Qua Teknika*, (2026), 16 (2): 64-77

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

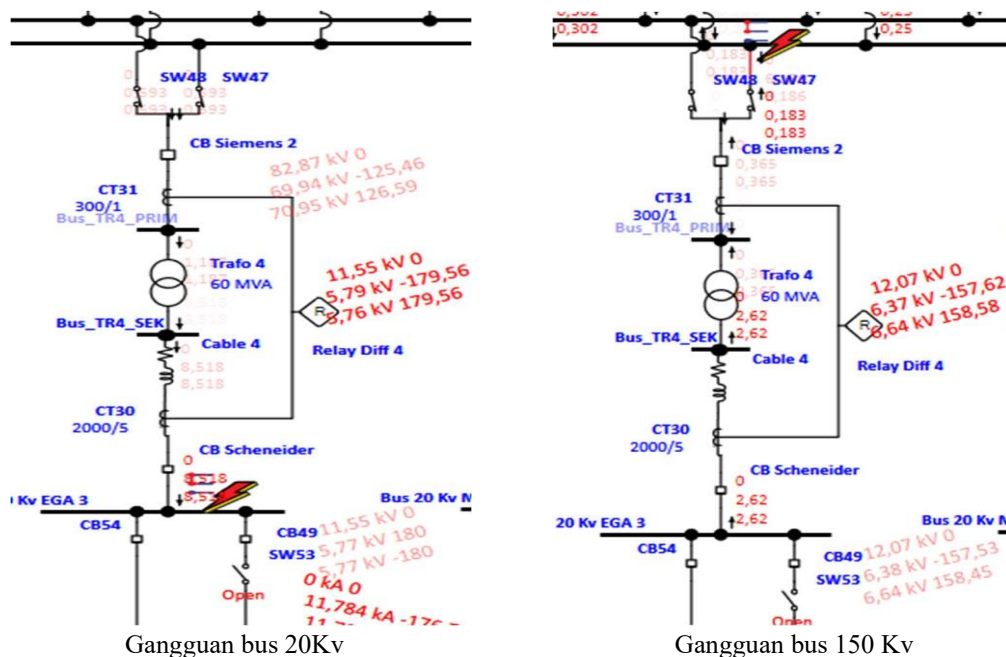
Line-to-Line (Symmetrical) fault on connector between Cable 4 & CT30. Adjacent bus: Bus 20 Kv EGA 3

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 11-11-2025

Time (...)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	Relay Diff 4	0,0			Phase - 87
20,0	CB Schen...	20,0			Tripped by Relay Diff 4 Phase - 87
20,0	CB Siem...	20,0			Tripped by Relay Diff 4 Phase - 87

GAMBAR 11. REPORT RESPON TIME DIFFERENTIAL RELAI TRAF0 IV

Sebaliknya, pada saat dilakukan simulasi gangguan di luar zona proteksi, yaitu pada bus 20 kV dan 150 kV, differential relai tidak memberikan respon karena gangguan berada di luar daerah kerjanya. Kondisi ini menunjukkan bahwa relai memiliki selektivitas yang baik dan tidak menyebabkan trip yang tidak diperlukan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12.



GAMBAR 12. SIMULASI GANGGUAN DILUAR LINGKUP KERJA DIFFERENTIAL RELAI TRAF0 IV

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa setting differential relai pada Trafo IV Gardu Induk Segoromadu telah sesuai dan mampu bekerja secara cepat, selektif, dan andal dalam melindungi transformator tenaga dari gangguan internal maupun eksternal,

Andi Wijaya¹⁾, Sagita Rochman²⁾, Mohamad Ilham³⁾
**ANALISIS KINERJA RELAI DIFFERENTIAL MICOM P643 PADA TRAFO IV GARDU
INDUK SEGOROMADU MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 21.0.1**
Jurnal Qua Teknika, (2026), 16 (2): 64-77

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan manual dan simulasi menggunakan ETAP 21.0.1, dapat disimpulkan bahwa setting differential relai pada Trafo IV Gardu Induk Segoromadu telah sesuai dan memenuhi kriteria keandalan sistem proteksi. Nilai setting arus diferensial sebesar 0,3 p.u. terbukti cukup sensitif dalam mendeteksi gangguan internal, namun tetap mampu menghindari terjadinya trip palsu akibat gangguan eksternal maupun error mismatch pada CT. Hasil perhitungan manual menunjukkan kesesuaian yang tinggi dengan setting otomatis relai, baik pada faktor koreksi CT maupun parameter slope, yang mengindikasikan bahwa konfigurasi sistem proteksi telah dilakukan dengan tepat. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa differential relai mampu merespon gangguan internal dengan cepat (kurang dari 100 ms) dan tidak merespon gangguan di luar zona proteksi, sehingga membuktikan bahwa sistem proteksi bekerja secara selektif dan andal dalam melindungi transformator tenaga.

REFERENSI

- [1] I. M. Dwi Cahyadi Jaya, I. G. Dyana Arjana, and A. A. G. Maharta Pemayun, "STUDI KOORDINASI KERJA RELE DIFERENSIAL DAN RELE RESTRICTED EARTH FAULT SETELAH UPRATING PADA TRANSFORMATOR II DI GI KAPAL," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 5, no. 1, p. 49, Jun. 2018, doi: 10.24843/SPEKTRUM.2018.v05.i01.p07.
- [2] D. Bejmert, M. Kereit, F. Mieske, W. Rebizant, K. Solak, and A. Wiszniewski, "Power transformer differential protection with integral approach," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 118, p. 105859, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105859.
- [3] E. Ali, O. P. Malik, A. Knight, S. Abdelkader, A. Helal, and H. Desouki, "Ratios-based universal differential protection algorithm for power transformer," *Electric Power Systems Research*, vol. 186, p. 106383, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106383.
- [4] E. Ali, A. Helal, H. Desouki, K. Shebl, S. Abdelkader, and O. P. Malik, "Power transformer differential protection using current and voltage ratios," *Electric Power Systems Research*, vol. 154, pp. 140–150, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.epsr.2017.08.026.
- [5] B. Ahmadzadeh-Shooshtari and A. Rezaei-Zare, "Analysis of transformer differential protection performance under geomagnetically induced current conditions," *Electric Power Systems Research*, vol. 194, p. 107094, May 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2021.107094.
- [6] D. Võ Tiển, "MODELING OF RELAY PROTECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEM USING MATLAB/SIMULINK," *Vietnam J. Sci. Technol.*, Mar. 2024, doi: 10.15625/2525-2518/18250.
- [7] R. Bouderbala and H. Bentarzi, "A New Differential Relay Framework for Power Transformer," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 492, pp. 426–430, Jan. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.492.426.
- [8] C. Nagarajan, G. Neelakrishnan, R. Janani, S. Maithili, and G. Ramya, "Investigation on Fault Analysis for Power Transformers Using Adaptive Differential Relay," *Asian Journal of Electrical Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, Jun. 2022, doi: 10.51983/ajes-2022.11.1.3212.
- [9] G. Altama, M. Y. Mustar, R. Syahputra, and T. I. Prasetyo, "Evaluation of Differential Protection in a Main Power Transformer: A Case Study in PT Pertamina Geothermal Energy Area of Kamojang," *Journal of Electrical Technology UMY*, vol. 3, no. 2, 2019, doi: 10.18196/jet.3256.
- [10] J. Belikov and Y. Levron, "Comparison of time-varying phasor and dq 0 dynamic models for large transmission networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 93, pp. 65–74, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.ijepes.2017.05.017.
- [11] S. A. Bessedik and H. Hadi, "Prediction of flashover voltage of insulators using least squares support vector machine with particle swarm optimisation," *Electric Power Systems Research*, vol. 104, pp. 87–92, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.epsr.2013.06.013.
- [12] S. Sravan Kumar V. and T. Dhadbanjan, "State estimation in power systems using linear model infinity norm-based trust region approach," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 7, no. 5, pp. 500–510, May 2013, doi: 10.1049/iet-gtd.2012.0473.