

PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM PROTEKSI MELALUI IMPLEMENTASI RELE *LINE CURRENT DIFFERENTIAL* SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV SUTAMI - WLINGI

Gusti Ngurah Ruki Rukmana Putra¹, Abdul Muta'ali², Bambang Minto Basuki³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Malang

rukirukmana98@gmail.com, amutaali@unisma.ac.id, bambang.minto@unisma.ac.id

Abstract

The importance of the protection system on the Sutami - Wlingi line, considering that this line is a radial system configuration that connects two hydropower plants as the main source of electricity in the Blitar area. The main protection system for the Sutami - Wlingi line was previously a distance relay. With the demands of a reliable protection system and high sensitivity, the distance relay is replaced with a line current differential relay. This study discusses the mathematical calculation of line current differential relay settings and testing the results of relay settings. The results of the Is1 relay setting calculation are 0.725 A with a slope 1 of 50% and Is2 of 7.25 A with a slope 2 of 100%. The results of the relay setting calculation are applied and tested to determine the relay performance response. The relay test results show that the relay will not work (no trip) during normal conditions or external disturbances, but the relay will work (trip) when an internal disturbance occurs in its protection area. The test results of the relay settings carried out show that the settings have worked reliably, high sensitivity and ensure system stability.

Keywords : Transmission line, Protection system, line current differential relay, distance relay

Abstraksi

Pentingnya sistem proteksi pada SUTT 150 kV Sutami - Wlingi, mengingat pada saluran ini merupakan konfigurasi sistem radial yang menghubungkan dua pembangkit PLTA sebagai sumber utama kelistrikan di daerah Blitar. Sistem proteksi utama saluran Sutami - Wlingi sebelumnya adalah *distance relay*. Dengan tuntutan sistem proteksi yang andal dan sensitifitas yang tinggi dilakukan penggantian *distance relay* menjadi *line current differential relay*. Penelitian ini membahas perhitungan setting rele *line current differential* secara matematis dan pengujian hasil setting rele. Hasil perhitungan setting rele Is₁ sebesar 0,725 A dengan slope 1 sebesar 50% dan Is₂ sebesar 7,25 A dengan slope 2 sebesar 100%. Hasil perhitungan setting rele diaplikasikan dan dilakukan pengujian untuk mengetahui respon kinerja rele. Hasil pengujian rele menunjukkan bahwa rele tidak akan bekerja (*no trip*) pada saat kondisi normal atau terjadi gangguan eksternal, namun rele akan bekerja (*trip*) ketika terjadi gangguan internal di area proteksinya. Hasil pengujian setting rele yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan setting tersebut telah bekerja secara andal, sensitifitas tinggi dan memastikan stabilitas sistem.

Kata kunci : Saluran transmisi, Sistem proteksi, *line current differential relay*, distance relay

I. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya perkembangan teknologi dan zaman, listrik memang sudah menjadi bagian yang tidak dapat terpisahkan dari aktifitas masyarakat. Saat ini perekonomian Indonesia sudah mulai membaik dan dunia usaha atau bisnis juga sudah mulai bangkit pasca pandemi tiga tahun belakangan. Sistem ketenagalistrikan yang semakin andal akan memberikan dukungan penuh untuk mendukung kesejahteraan masyarakat.

GI 150kV Sutami merupakan salah satu Objek Vital Nasional yang memiliki peran penting dalam penyaluran tenaga listrik. GI 150kV Sutami terdiri dari 3 bay Interbus trafo step up dan, 3 bay Line, salah satunya yaitu bay *line Wlingi*. Bay *line Wlingi* ini menyalurkan listrik dari GI 150kV Sutami menuju GI 150kV Wlingi melalui saluran udara tegangan tinggi dengan konfigurasi jaringan radial, dimana saluran ini menyalurkan arus listrik yang besar untuk menyuplai listrik ke daerah Blitar. Sehingga penyediaan tenaga listrik yang

stabil dan kontinyu merupakan hal yang vital dan harus dipenuhi baik penyaluran tenaga listrik dari pembangkit sampai dengan pelanggan tegangan rendah, menengah dan tinggi sangat diperhatikan keandalannya.

Menurut Dwi Ajiatmo et all [1] hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan tersebut jika berlangsung lama akan mempengaruhi kualitas dan kontinuitas penyaluran daya listrik serta keandalan dan keamanan peralatan pada sistem. Untuk memperkecil kemungkinan terjadi gangguan dan untuk memperkecil akibat yang ditimbulkan oleh gangguan, maka diperlukan suatu sistem proteksi untuk mengamankan gangguan pada sistem tenaga listrik.

Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sebuah sistem kelistrikan yang menjadi salah satu penentu keandalan sebuah sistem. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem proteksi transmisi yang selektif, sensitif dan dapat bekerja dengan cepat dalam mengamankan gangguan. Pemilihan jenis proteksi penghantar dibutuhkan pertimbangan agar rele proteksi yang digunakan beroperasi dengan tepat dalam mengamankan saluran transmisi. Kebutuhan akan rele proteksi penghantar dapat dibagi berdasarkan jenis saluran maupun panjang penghantar yang digunakan. Sistem proteksi utama yang digunakan pada saluran transmisi GI 150kV Sutami – GI 150kV Wlingi yaitu proteksi penghantar rele jarak (*distance*).

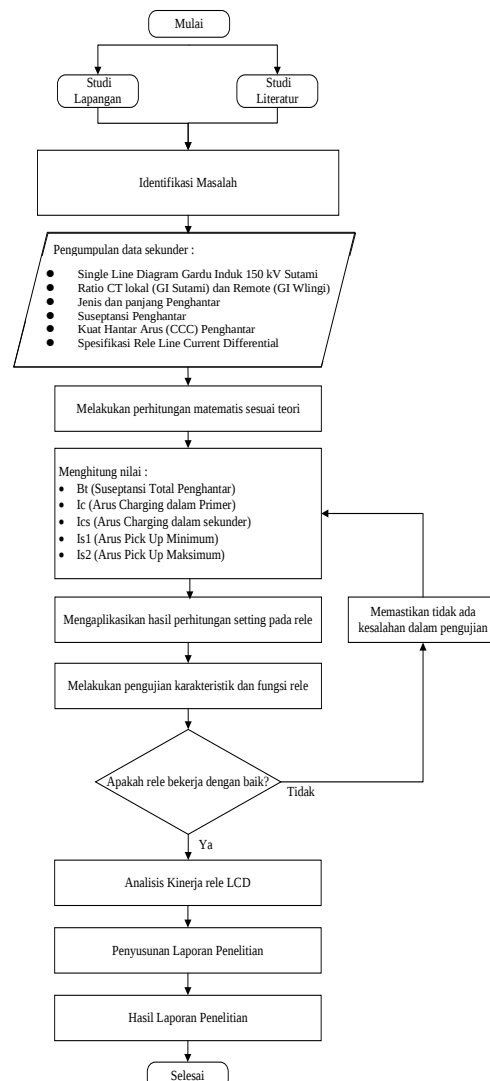
Penggunaan rele jarak tidak selektif untuk membedakan gangguan di dalam saluran karena faktor resistansi gangguan [2]. Maka dari itu, penggunaan rele *line current differential* pada penghantar pendek bertujuan untuk menanggulangi permasalahan selektifitas yang sulit dicapai apabila menggunakan rele jarak. Penggunaan *line current differential* pada beberapa *utility* bukan hanya untuk penghantar pendek, juga digunakan pada penghantar sedang maupun pada penghantar panjang. Penggunaan rele *line current differential* semakin meluas karena proteksi rele *line current differential* tidak terpengaruh oleh pengaruh eksternal seperti SIR (*Source to Impedance Ratio*), perubahan beban, *swing* pada sistem, memiliki sensitifitas yang tinggi, dan kemudahan dalam pengaplikasian.

Berdasarkan uraian tersebut, maka peneliti membuat penelitian mengenai “Analisis Penggantian Rele *Line Current Differential* Guna Meningkatkan Keandalan Sistem Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Sutami - Wlingi”. peneliti bertujuan untuk menghitung nilai setting dan menganalisa hasil pengujian untuk mengetahui kinerja rele *line current differential*

saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan internal atau eksternal.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah suatu metode penelitian yang spesifikasinya meliputi suatu struktur yang sistematis, terencana, jelas dan tepat. Peneliti melakukan identifikasi masalah, menentukan masalah, dan mengkaji kembali penelitian-penelitian terkait yang sebelumnya pernah dilakukan merupakan tahap awal penelitian ini. Berikut untuk diagram alir penelitian :



Flowchart tersebut menggambarkan langkah-langkah dalam proses analisa rele *line current differential* pada SUTT 150 kV Sutami-Wlingi. Proses ini dimulai dengan studi lapangan dan literatur, yang meliputi pengumpulan referensi secara teori dan melakukan pengumpulan informasi di lapangan dengan melakukan diskusi maupun praktek langsung. Selanjutnya

mengidentifikasi masalah pada keandalan sistem proteksi saluran Sutami -Wlingi dan pengumpulan data material transmisi utama sebagai acuan untuk menghitung nilai setting yang akan digunakan pada rele *line current differential*. Data material transmisi utama akan dihitung secara matematis sesuai dengan teori, perhitungan yang dilakukan adalah untuk mengetahui nilai dari suseptansi total penghantar (Bt), arus *charging* dalam primer (Ic), arus *charging* dalam sekunder (Ics), arus *pickup minimum* (Is1), arus *pickup maksimum* (Is2).

Dari hasil perhitungan nilai setting yang didapat, maka setting tersebut akan diaplikasikan pada rele *line current differential*. Pengujian hasil setting rele akan dilakukan untuk mengetahui apakah rele sudah bekerja dengan baik atau tidak. Analisa hasil perhitungan dan pengujian dilakukan untuk memastikan tidak adanya kesalahan setting pada rele *line current differential* dan rele sudah bekerja sesuai dengan karakteristiknya sehingga keandalan sistem proteksi pada saluran Sutami-Wlingi dapat dinyatakan baik. Selanjutnya dilakukan penyusunan laporan hasil dari analisa yang sudah dilakukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Nilai Setting Relay Line Current Differential

Perhitungan suseptansi total penghantar dapat dihitung berdasarkan nilai suseptansi penghantar dan panjang saluran transmisi sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (2.42) sebagai berikut:

$$B_t = B \times L_n$$

$$B_t = 4,0203 \times 10^{-6} \frac{S}{km} \times 23,6 km$$

$$B_t = 9,487908 \times 10^{-5} S$$

Nilai Bt digunakan untuk menentukan nilai reaktansi kapasitif (Xc) yang dihitung dengan persamaan (2.43) sebagai berikut:

$$X_c = \frac{1}{B_t}$$

$$X_c = \frac{1}{9,487908 \times 10^{-5} S}$$

$$X_c = 10539,7312 \Omega$$

Dari perhitungan Xc diatas, diperoleh nilai reaktansi kapasitif (Xc) sebesar 4534,54 Ω . Nilai reaktansi kapasitif menjadi dasar perhitungan arus *charging*.

3.1.1 Perhitungan Arus Charging (Ic)

Arus *charging* adalah arus yang mengalir melalui saluran transmisi karena kapasitansi antara konduktor dan tanah. Ketika saluran transmisi diberi energi, konduktor berada pada tegangan tinggi terhadap tanah, dan ini menciptakan medan listrik antara konduktor dan

tanah. Arus *charging* dapat dikatakan *inrush current* dalam transformator.

a. Perhitungan Ic sisi primer (Icp)

Perhitungan arus *charging* sisi primer dapat dihitung menggunakan persamaan (2.44) sebagai berikut:

$$I_{cp} = \frac{kV}{\sqrt{3} \times X_c}$$

$$I_{cp} = \frac{150kV}{\sqrt{3} \times 10539,7312 \Omega}$$

$$I_{cp} = 8,2167 A$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai arus *charging* dalam primer sebesar 8,2167 Ampere. Namun nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan ke setting rele yaitu arus *charging* dalam sekunder.

b. Perhitungan Ic sisi sekunder (Ics)

Perhitungan arus *charging* sisi sekunder dapat dihitung menggunakan persamaan (2.45) sebagai berikut:

$$I_{cs} = \frac{I_{cp}}{\text{Rasio CT}}$$

$$I_{cs} = \frac{8,2167 A}{600/5A}$$

$$I_{cs} = 0,0684725 A$$

Dari perhitungan Ics diatas, didapatkan nilai arus *charging* dalam sekunder sebesar 0,0684725 A. Nilai arus *charging* ini digunakan sebagai penentuan batas arus *pick up minimum* (Is1).

3.1.2 Perhitungan Arus Pick Up Minimum (Is1)

Setting relay Is1 digunakan untuk menentukan arus kerja minimum sehingga nilai setting rele berada diantara arus *charging* dan arus gangguan minimum. Perhitungan arus *pick up minimum* (Is1) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.46) berdasarkan besarnya arus *charging* untuk memberikan pengaruh pada setting rele sebagai berikut:

$$Is1 > (2,5 \times I_{cs})$$

$$Is1 > (2,5 \times 0,0684725 A)$$

$$Is1 > 0,17118125 A$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan Is1 harus lebih besar dari 0,17118125 A. Sesuai persamaan (2.47), setting Is1 atau I Diff harus lebih besar dari arus *charging* dan lebih kecil dari arus gangguan minimum. Selain itu, penentuan Is1 (arus *pick up minimum*) ditentukan berdasarkan kapasitas saluran penghantar seperti persamaan berikut.

$$Is1 = 20\% \times CCC$$

$$Is1 = 20\% \times 435 A$$

$$Is1 = 87 A \text{ (dalam primer)}$$

$$Is1 = 0,725 A \text{ (dalam sekunder)}$$

Dari kedua perhitungan diatas, dipilih nilai yang terbesar, mengingat rasio CT yang digunakan sama maka dipilih salah satu nilainya yaitu 0,725 A. Maka setting I_{s1} atau I_{Diff} dipilih sebesar 0,725 A ($0,725 \times 600/5 = 87$ A dalam primer) disisi GI Sutami dan 0,725 A ($0,725 \times 600/5 = 87$ A dalam primer) disisi GI Wlingi sehingga kedua sisi saluran disetting sama.

3.1.3 Perhitungan Arus Pick Up Maksimum (I_{s2})

Setting I_{s2} untuk menentukan arus kinerja maksimum rele terhadap kestabilan kinerja rele, Ketika terjadi arus gangguan yang besar serta juga, ketika terjadi gangguan diluar (*external fault*). Perhitungan setting I_{s2} dapat dihitung menggunakan persamaan (2.51) sebagai berikut:

$$I_{s2} = I_{s1} (2 \times I_n \text{ Rele})$$

$$I_{s2} = 0,725 \text{ A} \times (2 \times 5 \text{ A})$$

$$I_{s2} = 7,25 \text{ A}$$

Nilai I_n (arus nominal) rele sesuai dengan ratio CT yang digunakan yaitu 600/5 A, maka arus nominal yang digunakan adalah 5 A.

3.1.4 Waktu Kerja Rele

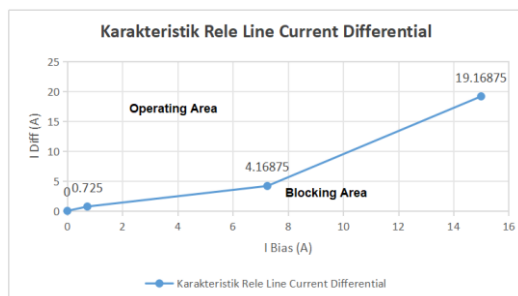
Waktu kerja rele line current diferensial adalah instantaneous (seketika).

$$t = 0 \text{ ms}$$

Hal ini dikarenakan *line current differential relay* merupakan sistem proteksi utama saluran Sutami - Wlingi yang waktu kerjanya secara instant (tanpa waktu tunda).

3.1.5 Penentuan Karakteristik Rele

Karakteristik kerja rele ditentukan berdasarkan titik temu antara I_{diff} dan I_{bias} . Karakteristik kerja rele untuk operating area berada di atas kurva slope. Sedangkan untuk block area berada di bawah kurva slope.



Gambar 3.1 Karakteristik Rele Line Current Differential

Sesuai dengan rekomendasi pabrikan NR, slope 1 (K_1) disetting 50% untuk mendapatkan sensitifitas tinggi di wilayah kerja rele dan slope 2 (K_2) disetting 100% untuk memberikan

kestabilan kinerja rele ketika terjadi arus gangguan yang besar serta gangguan eksternal.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Setting Rele Line Current Differential

Setelan	Hasil Perhitungan	Data Rele Terpasang
I_{s1}	0,725 A	0,725 A
I_{s2}	7,25 A	7,25 A
Slope 1 (K_1)	50%	50%
Slope 2 (K_2)	100%	100%

Berdasarkan tabel 3.1 diatas menunjukkan bahwa setting hasil perhitungan dengan setting yang diaplikasikan ke rele adalah sama, dimana setting arus pick up minimum (I_{s1}) sebesar 0,725 A, setting arus ambang bias (I_{s2}) sebesar 7,25 A, slope 1 (K_1) sebesar 50% dan slope 2 (K_2) sebesar 100%. Setting ini digunakan untuk mengetahui respon kinerja rele ketika terjadi gangguan maupun tidak terjadi gangguan.

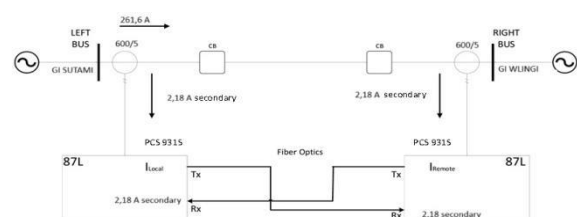
3.2 Respon Kinerja Rele Line Current Differential

Berdasarkan hasil perhitungan setting yang telah dilakukan, didapatkan nilai arus pick up minimum (I_{s1}) dari hasil perhitungan sebesar 0,725 A. untuk mengetahui kinerja rele sesuai perhitungan setting yang telah dilakukan maka perlu dilakukan pengujian rele *line current differential* menggunakan alat uji injeksi sekunder arus Merk Omicron Type CMC356. Pengujian hasil setting rele *line current differential* terdiri dari 3 skenario, yaitu saat kondisi normal, gangguan internal dan gangguan eksternal.

Gangguan internal yang dimaksud adalah gangguan penghantar fasa-fasa atau fasa-netral akibat short circuit, Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon kinerja rele, ketika terjadi gangguan maupun tidak terjadi gangguan.

3.2.1 Skenario 1 (Kondisi Normal)

Skema rele *line current differential* pada saat kondisi normal arah dan arus yang mengalir di saluran transmisi akan saling berlawanan, sehingga arus tidak akan melewati rele seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 3.2 Skema Rele Line Current Differential Kondisi Normal

Gambar 3.2 diatas menggambarkan kinerja rele saat kondisi normal. Kondisi normal merupakan kondisi rele saat beroperasi dengan beban normal tanpa adanya gangguan. Pembebanan rata-rata saluran Sutami - Wlingi ini sebesar 261,6 Ampere. Dalam operasi normal, arus masuk yang berasal dari sisi GI Sutami (sisi pengirim) hampir sama dengan arus keluar pada GI Wlingi, namun tidak mungkin sama karena terdapat faktor-faktor yang lain mempengaruhi (seperti arus charging), hal ini menyebabkan arus sekunder yang terukur pada trafo arus pada sisi pengirim akan saling meniadakan dengan arus sekunder yang terukur pada trafo arus di sisi penerima sesuai dengan hukum Kirchoff I oleh karena itu rele tidak akan bekerja. Untuk membuktikan kinerja rele saat kondisi normal dapat dilakukan pengujian setting rele dan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{diff} = | I_{lokal} < x^0 + I_{remote} < y^0 | = 0$$

$$I_{diff} = | 261,6 (\cos<0^0 + j \sin<0^0) + 261,6 (\cos<180^0 + j \sin<180^0) |$$

$$I_{diff} = | 261,6 (1 + 0) + 261,6 (-1 + 0) |$$

$$I_{diff} = | 261,6 (1) + 261,6 (-1) |$$

$$I_{diff} = | 261,6 - 261,6 |$$

$$I_{diff} = 0 \text{ A (dalam primer)}$$

$$I_{diff} = 0 \text{ A (dalam sekunder)}$$

$$I_{Bias} = | I_{lokal} | + | I_{remote} |$$

$$I_{Bias} = | 261,6 | + | 261,6 |$$

$$I_{Bias} = 523,2 \text{ A (dalam primer)}$$

$$I_{Bias} = 4,36 \text{ A (dalam sekunder)}$$

Tripping Kriteria :

$$I_{Diff} > I_{lokal} + K_1 \times (I_{Bias} - I_{S1}) (I_{S1} \leq I_{Bias} < I_{S2})$$

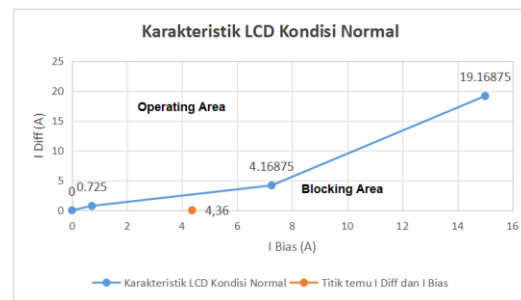
$$0 > 2,18 + 0,5 \times (4,36 - 0,725)$$

$$0 > 2,18 + (0,5 \times 3,635)$$

$$0 > 2,18 + 1,8175$$

$$0 > 3,96215 \text{ A}$$

Hasil perhitungan rele menunjukkan bahwa diperoleh perbandingan antara nilai I_{diff} sebesar 0 A dan I_{bias} sebesar 4,36 A serta nilai tripping criteria sebesar 3,96215 A. Perbandingan hasil pengujian rele antara I_{diff} dan I_{bias} tersebut untuk menentukan titik kinerja rele sehingga bentuk kurva karekteristik rele akan menunjukkan bahwa rele bekerja (*trip*) atau tidak (*no trip*). Gambar 3.3 menunjukkan bahwa pada titik yang berwarna orange merupakan titik temu antara I_{diff} dan nilai I_{bias} sehingga titik I_{diff} dan I_{bias} berada di *block area*.

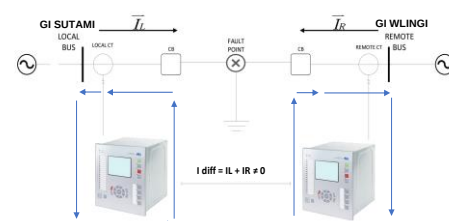


Gambar 3.3 Karakteristik rele dalam kondisi normal

Berdasarkan gambar 3.3, ketika rele dilewati arus beban sebesar 261,6 A (2,18 A dalam sekunder) dengan sudut 0 derajat di sisi GI Sutami dan arus beban sebesar 261,6 A (2,18 A dalam sekunder) dengan sudut 180 derajat di sisi GI Wlingi menunjukkan bahwa rele tidak bekerja (*no trip*), karena nilai I_{diff} berada di bawah nilai setting rele. Rele akan bekerja, ketika sudah mencapai nilai setting rele I_{S1} sebesar 0,725 A sebagai titik penentu kerja rele dengan nilai *tripping criteria* sebesar 3,96215 A dari perhitungan sebagai batas kinerja rele.

3.2.2 Skenario 2 (Internal Fault)

Skema rele *line current differential* menunjukkan bahwa saat terjadi *internal fault* arah dan arus yang mengalir di saluran transmisi akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Skema Rele *Line Current Diffential* Kondisi Internal Fault

Gambar 3.4 diatas menggambarkan kinerja rele saat kondisi gangguan internal, Apabila terjadi gangguan didalam daerah proteksi, maka arus yang masuk yang berasal dari GI Sutami sebagian besar atau seluruhnya akan menuju titik gangguan, sehingga arus yang terukur pada GI Sutami tidak akan sama lagi besarnya dengan arus yang terukur pada GI Wlingi, situasi ini akan menyebabkan rele merasakan adanya perbedaan arus antara kedua trafo arus (CT) tersebut, dimana arah arus di sisi Sutami 0 derajat dan sisi Wlingi 0 derajat (searah). Untuk membuktikan kinerja rele saat terjadi gangguan internal dapat dilakukan pengujian setting rele dan dapat

$$I_{Bias} = |261,6| + |261,6|$$

$$I_{Bias} = 523,2 \text{ A (dalam primer)}$$

$$I_{Bias} = 4,36 \text{ A (dalam sekunder)}$$

Tripping Kriteria :

Kasus 1 :

$$I_{Diff} > I_{lokal} + K_1 \times (I_{Bias} - I_{S1}) (I_{S1} \leq I_{Bias} < I_{S2})$$

$$0 > 2,18 + 0,5 \times (4,36 - 0,725)$$

$$0 > 2,18 + (0,5 \times 3,635)$$

$$0 > 2,18 + 1,8175$$

$$0 > 3,9975 \text{ A}$$

Kasus 2 :

$$I_{Diff} > I_{lokal} + K_1 \times (I_{S2} - I_{S1}) + K_2 \times (I_{Bias} - I_{S2}) (I_{Bias} > I_{S2})$$

$$0 > 2,18 + 0,5 \times (7,25 - 0,725) + 1 \times (4,36 - 7,25)$$

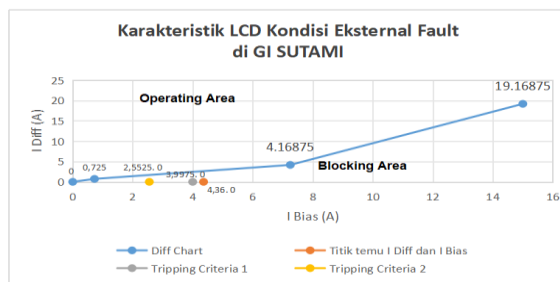
$$0 > 2,18 + 0,5 \times (7,25 - 0,725) + 1 \times (4,36 - 7,25)$$

$$0 > 2,18 + (0,5 \times 6,525) + (1 \times (-2,89))$$

$$0 > 2,18 + 3,2625 + (-2,89)$$

$$0 > 2,5525 \text{ A}$$

Hasil pengujian rele menunjukkan nilai I_{diff} lebih kecil dibandingkan nilai I_{bias} , yaitu sebesar 0 A dan 4,36 A. Hasil pengujian setting rele bahwa nilai I_{diff} diperoleh sebesar 0 A dengan nilai tripping criteria sebesar 3,9975 A dan 2,5525 A. Hasil pengujian tersebut membentuk kurva karakteristik rele untuk menentukan titik kerja rele. Gambar 3.7 menunjukkan bahwa pada titik berwarna orange adalah titik temu antara nilai I_{diff} dan nilai I_{bias} yang berada di bawah setting rele sehingga nilai I_{diff} dan I_{bias} berada di block area.



Gambar 3.7 Karakteristik Rele dalam Kondisi External Fault

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rele tidak bekerja, karena I_{diff} belum mencapai nilai setting rele I_{S1} sebesar 0,725 A dengan nilai tripping criteria 1 sebesar 3,9975 A dan tripping criteria 2 sebesar 2,5525 A sebagai batas kinerja rele.

Dari hasil pengujian rele *line current differential* dengan 3 skenario yang telah dilakukan dapat dirangkum seperti tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Rele dengan 3 skenario

Skenario	Injeksi Arus (Lokal)		Injeksi Arus (Remote)		I Diff (A)	I Bias (A)	Trip/No Trip
	Arus (A)	Sudut (°)	Arus (A)	Sudut (°)			
Kondisi Normal	2,18	0	2,18	180	0	4,36	No Trip
Internal Fault	2,18	0	2,18	0	4,36	4,36	Trip
External Fault	2,18	0	2,18	180	0	4,36	No Trip

Berdasarkan tabel 3.2 diatas, menunjukkan bahwa ketika rele dalam operasi normal atau kondisi gangguan eksternal arus akan mengalir dari GI Sutami ke GI Wlingi dan rele tidak akan bekerja (*no trip*) karena tidak ada perbedaan arus ($I_{Diff} < I_{Bias}$) antara GI Sutami dan GI Wlingi yang melebihi setting rele I_{S1} . Ketika terjadi gangguan internal maka akan mengalir arus gangguan menuju ke titik gangguan. Bila sebelum gangguan arus mengalir dari GI Sutami ke GI Wlingi, maka saat terjadi gangguan arus yang mengalir pada GI Wlingi berbalik 180 derajat menuju titik gangguan. Sehingga rele akan membaca adanya perbedaan arus ($I_{Diff} \geq I_{Bias}$) antara GI Sutami dan GI Wlingi dan rele akan bekerja (*trip*).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan nilai setting arus pick up minimum (I_{S1}) ditentukan 0,725 A dengan slope 1 (K_1) sebesar 50% untuk mendapatkan sensitifitas yang tinggi terhadap kinerja rele. Hasil perhitungan nilai setting arus pick up minimum (I_{S2}) ditentukan 7,25 A dengan slope 2 (K_2) sebesar 100% untuk memberikan kestabilan kinerja rele ketika terjadi arus gangguan yang besar atau gangguan eksternal. Dari hasil pengujian rele menunjukkan bahwa ketika kondisi normal atau gangguan eksternal, rele tidak akan bekerja atau mentripkan PMT karena tidak terdapat perbedaan pembacaan arus (I_{Diff}) antara GI Sutami dan GI Wlingi yang melebihi setting I_{S1} sebesar 0,725 A. Ketika terjadi gangguan internal di area proteksinya, arah dan arus yang mengalir di saluran transmisi akan menuju titik gangguan yang menyebabkan rele akan bekerja atau mentripkan PMT akibat terdapat perbedaan pembacaan arus (I_{Diff}) antara GI Sutami dan GI Wlingi yang melebihi setting I_{S1} sebesar 0,725 A. Hasil pengujian setting rele yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan nilai setting tersebut rele bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ajiatmo Dwi, Robandi, Imam, Ali, Machrus dan Suroya, Betta Aidya, "Analisa Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali 500kV Menggunakan Power World Simulator", Jurnal Intake Vol.10, No.1 Jurusan Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Insitut Teknologi Nopember, April 2019, [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/334444990_Analisis_Gangguan_Pada_Sistem_Tenaga_Listrik_Jawa_Bali_500_kV_Menggunakan_Power_World_Simulator
- [2] Dharmawan, N.B, Ariastina, W.G dan Amrita A.A.N, "Studi Sistem Proteksi Line Current Differential Relay pada Saluran Transmisi 150kV", Jurnal SPEKTRUM Vol.7, No.1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Maret 2020, [Online]. Available : <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1692933&val=955&title=STUDI%20SISTEM%20PROTEKSI%20LINE%20CURRENT%20DIFFERENTIAL%20RELAY%20PADA%20SALURAN%20TRANSMISI%20150%20KV>
- [3] Sirait dan Deviana Fransiska, "Kinerja Proteksi Utama Relay Line Current Differential pada Jaringan Transmisi SUTT 150kV Bay Penghantar GIS Suvarna Sutera-GI Cikupa", Proyek Akhir pada Jurusan Teknologi Listrik Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan Institut Teknologi PLN, Jakarta, 2020, [Online]. Available : <https://id.scribd.com/document/634221654/PROYEK-AKHIR-DEVIANA-FRANSISKA-SIRAIT-201771097-DEVIANA-FRANSISKA-SI>
- [4] Qurtubi Nafis, "Perancangan Sistem Proteksi Line Current Differential untuk SKTT 150kV Menggunakan Rele GE UR L90", Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2015, [Online]. Available : <https://id.scribd.com/document/438358380/Skripsi>
- [5] Setiawan Ari, Mujiman dan Priyambodo Sigit, "Analisa Rele Differensial Pilot pada SKTT GI Kentungan-GIS Gejayan", Jurnal Elektrikal Vol.5 No.1, 2018, 37-45 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, 2018, [Online]. Available : <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2572>
- [6] Karyana, "Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama", Buku proteksi PT.PLN (Persero), 2013.
- [7] Grainger Jhon, J. William D and Stevenson Jr, "Power System Analysis 2nd Edition", Mc. Graw – Hill, 1994.
- [8] Purnomo Hery, "Buku Analisis Sistem Daya Bagian Saluran Transmisi", Daya Elektrik, Universitas Brawijaya Malang , 2016, [Online]. Available : <https://elektro.ub.ac.id/wp-content/uploads/2019/01/Buku-Analisis-Sistem-Daya.pdf>
- [9] Suhadi, "Teknik Distribusi Tenaga Listrik", Jilid 1, Depertemen Pendidikan Nasional, 2008, [Online]. Available : https://ftp.unpad.ac.id/bse/Kurikulum_2006/10_SMK/Teknik%20Distribusi%20Tenaga%20Listrik%20Jilid%201.pdf
- [10] SPLN T5.002 -1: 2010, "Pola Proteksi Saluran Transmisi", Bagian Satu : Tegangan Tinggi 66 kV dan 150 kV, PT PLN (Persero), 2010.
- [11] Roostae Saeed, Thomas Mini S and Mehruz Shabana, "Transmission Line Differential Protection Based On Microprocessor Relays", International Jurnal Series Vol. 2, No.5, 2016, 14-26 pada Research Scholar, Department of Electrical Engineering Jamia Milia Islamia, Delhi, India, 2016, [Online]. Available : <https://www.semanticscholar.org/paper/Transmission-Line-Differential-Protection-Based-on-Roostae-Thomas/804d5f0edfb004b4dc1a94a4a92ec142b18a044d>
- [12] NR Electric Co, Ltd, "PCS-931S Line Differential Relay Technical", Manual Book, Nanjing: China, 2020.
- [13] PT. PLN (Persero), "Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar", SK Dir No.0520.3K/DIR/2014.Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014.
- [14] Ward Solveig M and Erwin, "Current Differential Line Protection Setting", Considerations; RFL Electronics Inc, 2015, [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/237729444_Current_Differential_Line_Protection_Setting_Considerations