
Analisis Sistem Proteksi Relay Diferensial Pada Transformator Daya 30 Mva Di Gardu Induk Bantaeng Menggunakan Etap Apk

Tasya Pramudita¹, Syahrul², Andi Imran³, Massikki⁴, Akhyar Mucktar⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Makassar

tasyapramuditha001@gmail.com

ABSTRACT; Power transformers are equipment in substations that function to maintain the continuity of electrical energy distribution. Therefore, a reliable protection system is needed to prevent damage due to disturbances. This study aims to analyze the performance of the differential relay protection system on a 30 MVA power transformer at the Bantaeng Substation using manual calculation methods and ETAP 19.0.1 simulations. The methods used in this study include collecting data on transformers, current transformers, differential relays, and single-line diagrams. The data is then processed to obtain good relay setting values using manual calculations and simulations with ETAP to determine the performance of the differential relay when internal and external disturbances occur. The calculation results show that the CT secondary current on the 150 kV side is 3.893 A and on the 20 kV side is 4.33 A, with a mismatch error of 4%. This value is within the standard limit because it does not exceed 5%. The calculated slope values were 35% for slope 1 and 70% for slope 2, while the pickup setting current was 0.4 A. These results indicate that the differential relay protection system on the 30 MVA power transformer at the Bantaeng Substation functions well and reliably in maintaining the safe operation of the transformer. In conclusion, the differential relay protection arrangement implemented at the Bantaeng Substation meets standards and provides optimal protection against internal faults without causing damage due to external faults.

Keywords: Protection System, Differential Relay, 30 MVA Power Transformer, Bantaeng Substation, ETAP 19.0.1.

ABSTRAK; Transformator daya merupakan peralatan di Gardu Induk yang berfungsi menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem proteksi yang andal untuk mencegah kerusakan akibat gangguan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem proteksi relay diferensial pada transformator daya 30 MVA di Gardu Induk Bantaeng dengan menggunakan metode perhitungan manual dan simulasi ETAP 19.0.1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data transformator, *current transformer*, relay diferensial dan *single line diagram*. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai *setting* relay yang baik secara perhitungan manual dan simulasi dengan ETAP untuk mengetahui kinerja relay diferensial saat terjadi gangguan internal dan eksternal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa arus sekunder CT pada sisi 150 kV sebesar 3,893 A dan pada sisi 20 kV sebesar 4,33 A, dengan error mismatch 4%. Nilai ini berada dalam batas

standar karena tidak melebihi 5%. Nilai slope hasil perhitungan yaitu slope 1 sebesar 35% dan slope 2 sebesar 70%, sedangkan arus setting pickup diperoleh sebesar 0,4 A. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem proteksi relay diferensial pada transformator daya 30 MVA di GI Bantaeng berfungsi dengan baik, dan andal dalam menjaga keamanan operasi transformator. Kesimpulannya, setting proteksi relai diferensial yang diterapkan pada Gardu Induk Bantaeng telah sesuai standar dan mampu memberikan proteksi optimal terhadap gangguan internal tanpa menimbulkan mal-operasi pada gangguan eksternal.

Kata Kunci: Sistem Proteksi, Relai Diferensial, Transformator Daya 30 MVA, Gardu Induk Bantaeng, ETAP 19.0.1.

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu infrastruktur yang memerlukan keandalan dan keamanan yang tinggi untuk memastikan kontinuitas pasokan listrik kepada masyarakat. Transformator daya merupakan salah satu peralatan penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari satu tingkat ke tingkat lainnya.

Proteksi adalah suatu perlindungan peralatan listrik yang bertujuan agar dapat menghindari kerusakan dan menjaga stabilitas peralatan listrik. Proteksi diferensial adalah perlindungan yang digunakan untuk melindungi transformator daya dari gangguan internal dengan sensitif dan cepat. Relai diferensial adalah relai yang sangat umum digunakan untuk melindungi transformator. Relai diferensial digunakan karena memberikan perlindungan seketika terhadap gangguan internal. Relai diferensial merupakan relai utama karena pemasangan relai diferensial dibatasi oleh *current transformers* pada sisi primer dan sisi sekunder.

Namun, kinerja sistem proteksi relay diferensial dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti setting relay yang tidak tepat, gangguan internal dan eksternal pada transformator, dan lain-lain. Ada beberapa masalah yang sering terjadi di sistem proteksi pada trafo daya di gardu induk Bantaeng di antaranya yaitu, kesalahan setting relay, kesalahan rasio CT dan kesalahan komunikasi relay. Oleh karena itu dengan menggunakan simulasi ETAP, dapat dilakukan analisis yang akurat tentang kinerja relay diferensial dalam mendeteksi gangguan internal dan eksternal pada transformator daya, sehingga dapat ditentukan setting relay yang untuk memastikan kinerja yang baik.

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) adalah software analisis sistem tenaga listrik yang dapat digunakan untuk menganalisis aliran daya, hubung singkat, stabilitas dan

menganalisis proteksi. Pada skripsi ini, penulis menggunakan *software ETAP 19.0.1* untuk menganalisis kinerja dari sistem proteksi relay diferensial dalam kondisi gangguan internal dan eksternal. Selain melakukan simulasi menggunakan *software ETAP*, penulis juga melakukan perhitungan teori atau manual yang bertujuan untuk menguji kebenaran hasil dari simulasi tersebut.

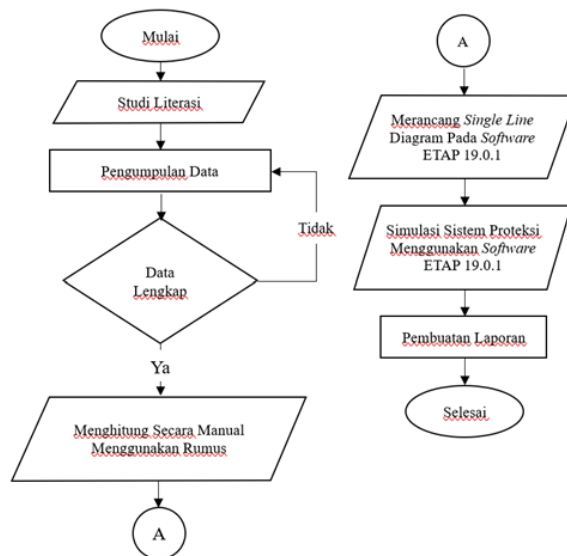
Tujuan analisis ini adalah untuk menganalisa kinerja sistem proteksi relay diferensial pada trafo daya 60 MVA di gardu induk Bantaeng ketika ada gangguan pada daerah internal dan pada daerah eksternal dengan melakukan pengambilan data dan melakukan perhitungan matematis secara manual serta mensimulasikannya menggunakan *software ETAP 19.0.1*.

METODE PENELITIAN

a. Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Penelitian ini merupakan penelitian yang dimana peneliti akan melakukan analisis terhadap sistem proteksi rele diferensial pada trafo daya di GI Bantaeng menggunakan *ETAP Aplikasi (Electrical Transient Analyzer Program)* untuk melakukan simulasi dan analisis teknis terhadap sistem proteksi yang dimaksud. Metode ini dipilih karena *ETAP* dapat memberikan perhitungan yang akurat mengenai: sistem proteksi pada sistem tenaga listrik, termasuk pengaturan relay proteksi dan koordinasi proteksi.

b. Prosedur Penelitian



Gambar 1 Prosedur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan prosedur penelitian yang dirancang untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Tanpa prosedur yang jelas, penelitian tidak akan bekerja efektif karena peneliti tidak memiliki pedoman yang tepat.

c. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui teknik observasi dengan cara melakukan pengumpulan data dan keterangan secara langsung terhadap sesuatu saat berada ditempat penelitian, serta teknik wawancara dimana dilakukan tanya jawab secara langsung dengan pihak-pihak yang bertanggung jawab, dan teknik dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data dan merekap data secara tertulis dan visual dalam penelitian. Dokumentasi digunakan untuk menjangkau dokumen-dokumen yang diperlukan dalam penelitian.

d. Teknik Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan perhitungan manual berdasarkan rumus dan teori yang berlaku pada sistem proteksi relay diferensial, serta didukung oleh data-data yang diperoleh dari sistem proteksi relay diferensial dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_d = I_2 - I_1$$

Rasio current transformator:

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Dimana:

I_n = Arus nominal

S = Sumber

V = Tegangan

Arus sekunder CT merupakan arus yang terbaca oleh transformator daya dan merupakan keluaran arus yang berasal dari CT.

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_{\text{nominal}}$$

Dimana:

I_{sekunder} = Arus sekunder

I_{nominal} = Arus nominal

Error mismatch merupakan kesalahan yang terjadi karena perbedaan rasio CT (*current transformer*) pada proteksi differensial.

Error mismatch:

$$\text{error total} = E_{rasio} + E_{sudut} + E_{mismatch} + E_{saturasi}$$

Dimana:

E_{rasio} = Error rasio

E_{sudut} = Error sudut

$E_{mismatch}$ = Error mismatch

$E_{saturasi}$ = Error saturasi

Arus differensial merupakan hasil pengurangan dari arus sekunder CT dari sisi primer dan sisi sekunder.

$$I_{diff} = I_2 - I_1$$

Dimana:

I_{diff} = Arus diferensial

I_2 = Arus sisi sekunder

I_1 = Arus sisi primer

Arus *restrain* (penahan) merupakan arus penahan berguna dalam parameter kerja dari relay differensial.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

Dimana:

I_r = Arus restrain

I_1 = Arus sisiprimer

I_2 = Arus sisisekunder

Slope ditentukan dari total error arus maksimum agar relay stabil pada kondisi normal dan gangguan luar zona, namun tetap terhadap gangguan internal.

$$\text{slope} = \frac{I_d}{I_r} \times 100\%$$

Dimana:

Slope = Batas ambang kemampuan kumparan penahan

I_d = Arus diferensial

I_r = Arus restrain

Arus *setting* adalah batasan untuk memutuskan apakah relai diferensial dapat bekerja atau tidak dengan metode membandingkan dengan arus diferensial.

$$I_{setting} = \%slope \times I_r$$

Dimana:

I_r = Arus restrain (penahan)

$I_{setting}$ = Arus setting pada relay diferensial

Analisis sistem proteksi relay diferensial saat terjadi gangguan internal ataupun eksternal dapat memanfaatkan *software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)* karena analisis secara manual menggunakan rumus terlalu rumit dan untuk meminimalisir terjadinya human eror. ETAP dirancang khusus untuk memudahkan proses analisis ini. Karena sistem pada ETAP tersebut tentunya sudah ditata dengan baik sehingga memberi kemudahan kepada penggunanya, pengguna dapat dengan mudah memasukkan data yang diperlukan dan mendapatkan hasil analisis yang akurat dan cepat. Dengan menggunakan aplikasi ini, efisiensi kerja dapat meningkat dan risiko kesalahan manusia dapat diminimalkan secara signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan

1) Perhitungan untuk menentukan rasio current tansformator

Arus nominal pada sisi primer 150 kV:

$$\begin{aligned}
 I_{n1} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_1} \\
 &= \frac{30.000}{\sqrt{3} \times 150.000} \\
 &= \frac{30.000}{256.807,62} \\
 &= 116,818 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus nominal pada sisi sekunder 20 kV:

$$\begin{aligned}
 I_{n2} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_2} \\
 &= \frac{30.000}{\sqrt{3} \times 20.000} \\
 &= \frac{30.000}{34.641.01} \\
 &= 866,02 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus rating pada sisi primer 150 kV:

$$\begin{aligned}
 I_{rating} &= 110\% \times 116,818 \text{ A} \\
 &= 128,499 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus rating pada sisi sekunder 20 kV:

$$\begin{aligned}
 I_{rating} &= 110\% \times 866,02 \text{ A} \\
 &= 952,622 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2) Perhitungan arus sekunder pada CT

Arus sekunder di sisi primer 150 kV:

$$\begin{aligned}
 I_{sekunder} &= \frac{1}{rasio \text{ CT}} \times I_{nominal} \\
 &= \frac{1}{\frac{150}{5}} \times 116,818 \text{ A} \\
 &= \frac{1}{30} \times 116,818 \text{ A} \\
 &= 3,893 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Arus sekunder di sisi sekunder 20 kV:

$$\begin{aligned}
 I_{sekunder} &= \frac{1}{rasio \text{ CT}} \times I_{nominal} \\
 &= \frac{1}{\frac{1000}{5}} \times 866,02 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{200} \times 866,02 A \\
 &= 4,33 A
 \end{aligned}$$

3) Perhitungan error mismatch

$$\text{error mismatch} = 10\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{error sudut fasa } (\%) &= \sin(\theta) \times 100\% \\
 &= \sin(2^\circ) \times 100 \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

$$\text{error saturasi} = 10P = 10\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{error total} &= E_{rasio} + E_{sudut} + E_{mismatch} + E_{saturasi} \\
 &= 10\% + 3\% + 4\% + 10\% \\
 &= 27\%
 \end{aligned}$$

4) Perhitungan arus differensial

$$\begin{aligned}
 I_{diff} &= I_2 - I_1 \\
 &= 4,33 A - 3,893 A \\
 &= 0,43 A
 \end{aligned}$$

5) Perhitungan arus restrain (Penahan)

$$\begin{aligned}
 I_r &= \frac{I_1 + I_2}{2} \\
 &= \frac{8,223}{2} \\
 &= 4,11 A
 \end{aligned}$$

6) Perhitungan percent slope

Menentukan percent slope 1:

$$\begin{aligned}
 \text{slope}_1 &= 1,3 \times 27\% \\
 &= 35\%
 \end{aligned}$$

Menentukan percent slope 2:

$$\begin{aligned} slope_2 &= 2 \times 35\% \\ &= 70\% \end{aligned}$$

7) Perhitungan untuk menentukan arus setting

$$\begin{aligned} I_{sett} &= \% slope \times I_r \\ &= 10,4\% \times 4,11 \\ &= 0,104 \times 4,11 \\ &= 0,4 A \end{aligned}$$

a. Hasil perbandingan data hasil perhitungan dan hasil uji

Tabel 1 Perbandingan Data Hasil Perhitungan dan Hasil Uji

Id	Perbandingan	
	Hasil perhitungan	Hasil uji
Arus <i>setting</i>	0,4 A	0,3 A
<i>Slope 1</i>	35%	40%
<i>Slope 2</i>	70%	80%

Sumber: Hasil olah data, 2025

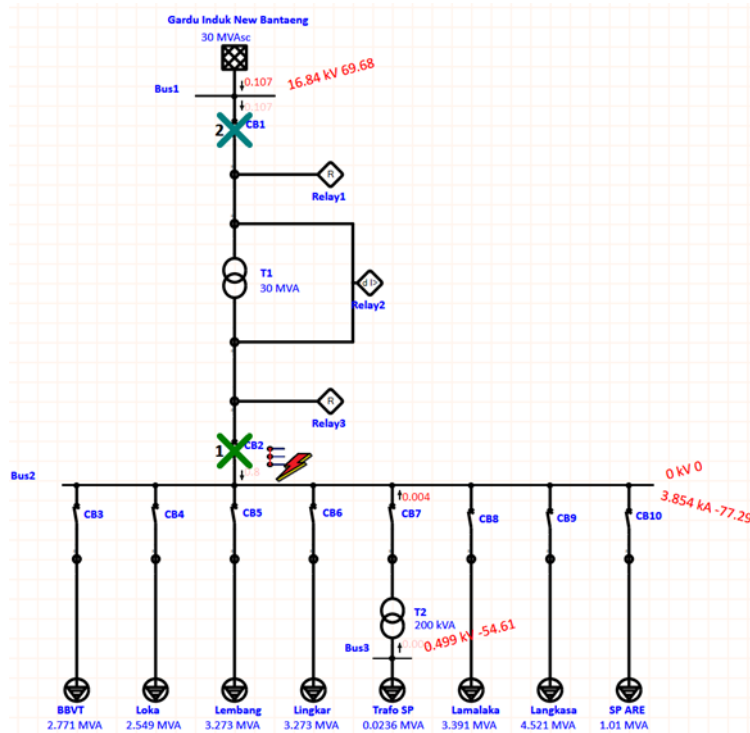
Tabel 1 menunjukkan hasil data perhitungan secara manual dan hasil uji pada sistem proteksi relay diferensial transformator daya 30 MVA di gardu induk Bantaeng. Hasil tersebut masih sesuai dengan IEEE C37.91 karena standar ini menegaskan bahwa setting relay diferensial tidak harus sama persis dengan hasil perhitungan teoritis. Dengan demikian perbedaan tersebut merupakan penyesuaian yang dibenarkan oleh IEEE C37.91 demi meningkatkan keandalan dan keamanan sistem proteksi transformator.

Dari perhitungan, nilai arus *setting* relay diferensial yaitu 0,4 A sedangkan hasil uji yaitu 0,3 A. Nilai slope 1 pada perhitungan sebesar 35% sedangkan nilai slope 1 hasil uji sebesar 40%, untuk nilai slope 2 pada hasil perhitungan sebesar 70%, sedangkan nilai slope 2 hasil uji sebesar 80%.

b. Hasil simulasi kinerja relai diferensial menggunakan *software* ETAP

Simulasi ini dilakukan agar dapat mengetahui bagaimana kinerja dari relai diferensial untuk mengamankan transformator daya yang ada di gardu induk Bantaeng apabila terjadi gangguan dalam dan luar daerah pengaman relai diferensial.

1) Simulasi Ketika terjadi gangguan eksternal



Gambar 2 simulasi kinerja relai diferensial saat terjadi gangguan eksternal

Gambar 2 menunjukkan simulasi kinerja sistem proteksi pada trafo daya menggunakan *software* ETAP saat terjadi gangguan eksternal.

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus2.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10.0	Relay3	0.800	10.0		Phase - OC1 - 50
40.0	Relay1	0.107	40.0		Phase - OC1 - 50
90.0	CB2		80.0		Tripped by Relay3 Phase - OC1 - 50
100.0	CB1		60.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 50

Gambar 3 hasil dari simulasi gangguan eksternal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

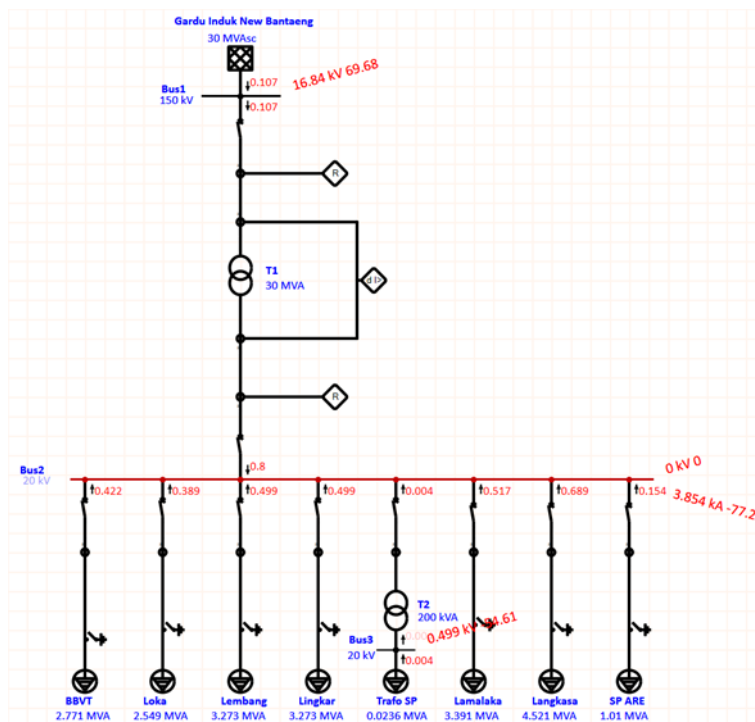
Symmetrical 3-Phase Fault between CT3 and T1. Adjacent to Bus2.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0.0	Relay2		0.0		Phase - 87
10.0	Relay3	3.273	10.0		Phase - OC1 - 50
40.0	Relay1	0.107	40.0		Phase - OC1 - 50
60.0	CB1		60.0		Tripped by Relay2 Phase - 87
90.0	CB2		80.0		Tripped by Relay3 Phase - OC1 - 50
100.0	CB1		60.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 50

Gambar 5 hasil dari simulasi gangguan internal

Gambar 5 menunjukkan bahwa gangguan tiga fasa yang terjadi di dalam zona pengamanan menyebabkan relay diferensial (87) bekerja dan menginstruksikan CB₁ trip pada 60 ms sejak gangguan terdeteksi pada 0 ms. Relay OCR juga mendeteksi arus gangguan, yaitu Relay 3 sebesar 3,273 kA pada 10 ms (trip 90 ms) dan Relay 1 sebesar 0,107 kA pada 40 ms (trip 100 ms). Perbedaan waktu kerja menunjukkan koordinasi proteksi yang baik serta selektivitas sistem yang optimal.

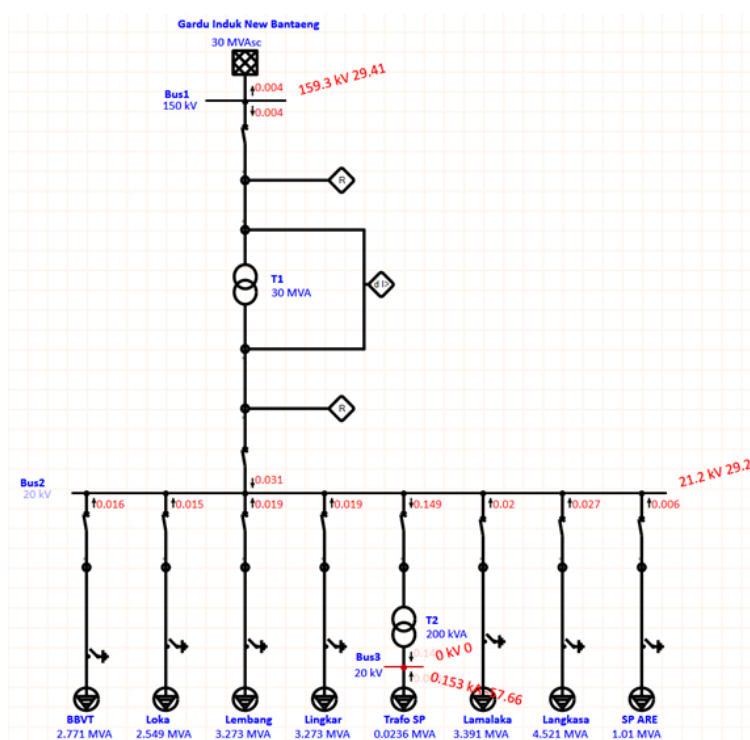
3) Simulasi gangguan 1 fasa ke tanah



Gambar 6 simulasi gangguan 1 fasa ke tanah

Gambar 6 menunjukkan simulasi kinerja sistem proteksi pada trafo daya menggunakan *software* ETAP saat terjadi gangguan 1 fasa ke tanah. Gangguan satu fasa ke tanah (*single line to ground*) merupakan jenis gangguan yang paling sering terjadi dibandingkan gangguan tiga fasa, karena secara fisik dan operasional sistem tenaga listrik jauh lebih rentan mengalami kegagalan isolasi antara satu penghantar dengan tanah daripada kegagalan secara bersamaan pada tiga penghantar sekaligus.

4) Simulasi gangguan 2 fasa



Gambar 7 simulasi gangguan 2 fasa

Gambar 7 menunjukkan simulasi kinerja sistem proteksi pada trafo daya menggunakan *software* ETAP saat terjadi gangguan 2 fasa. Karena gangguan berada di luar zona proteksi transformator, relai diferensial tidak bekerja, dan relai arus lebih (OCR) *feeder* Langkasa akan mendeteksi gangguan dan memerintahkan PMT *feeder* untuk trip, sehingga gangguan terisolasi tanpa memadamkan seluruh sistem.

Pembahasan

Hasil analisis menggunakan ETAP 19.0.1, kinerja relay diferensial transformator daya 30 MVA di Gardu Induk Bantaeng telah sesuai dengan standar IEC 60255, IEEE C37.91, serta standar operasi PLN. Hasil perhitungan arus sekunder CT menunjukkan nilai 3,893 A pada sisi 150 kV dan 4,33 A pada sisi 20 kV dengan *error mismatch* sebesar 4%, masih di bawah batas toleransi 5%. Nilai ini menunjukkan bahwa rasio CT telah tepat dan mampu menjaga keseimbangan arus, sehingga mencegah mal-operasi saat gangguan eksternal.

Nilai slope 1 sebesar 35% dan slope 2 sebesar 70% menunjukkan karakteristik proteksi yang mempertimbangkan stabilitas dan sensitivitas relay diferensial. Kombinasi kedua slope ini penting untuk menjaga keseimbangan antara sensitivitas dan stabilitas sistem proteksi. Arus pickup sebesar 0,4 A dinilai optimal karena mampu mendeteksi gangguan internal tanpa terpengaruh arus beban normal.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada gangguan internal relay bekerja cepat dan selektif, sedangkan pada gangguan eksternal relay tetap stabil dan tidak memberikan perintah trip, sesuai prinsip kerja relay diferensial. Secara keseluruhan, sistem proteksi telah memenuhi prinsip keandalan, kecepatan, sensitivitas, stabilitas, dan selektivitas, sehingga dinilai andal dalam melindungi transformator dari gangguan internal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem proteksi relay diferensial pada transformator daya 30 MVA di Gardu Induk Bantaeng menunjukkan kinerja yang baik dan sesuai dengan prinsip proteksi transformator. Relay mampu membedakan secara selektif antara gangguan internal dan eksternal, dimana pada gangguan internal relay mendeteksi gangguan pada 0 ms dan memberikan perintah trip pada 60 ms, sedangkan pada gangguan eksternal relay tetap dalam kondisi restrain dan tidak mengalami mal-operasi.

Selain itu, setting relay telah memenuhi kriteria standar proteksi, ditunjukkan oleh rasio CT yang tepat dengan *error mismatch* 4% (di bawah batas IEEE 5%), nilai slope 1 sebesar 35%, slope 2 sebesar 70%, serta arus pickup 0,4 A. Parameter tersebut memastikan relay bekerja stabil pada kondisi normal, sensitif terhadap gangguan internal, dan andal dalam melindungi transformator dari potensi kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

Engineering, E., & Engineering, M. (2019). Design and Results of Differential Relay Settings

-
- for Power Transformers. 2, 32–34.
- Hendratmoko, A. (2021). Transformator Daya Di Gardu Induk 150 Kv Blora Menggunakan Software Etap 12.6.0.
- Hendratmoko, A., & Agus Supardi, S. T. (2021). *Analisis Kinerja Proteksi Relai Diferensial Pada Transformator Daya Di Gardu Induk 150 Kv Blora Menggunakan Software Etap 12.6. 0* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta). IEEE Std C37.91, Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.
- Keumala, D., Bintoro, A., Salahuddin, S., & Yusdartono, H. M. (2021). Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Transformator 66 Mva Di Pltmg Sumbagut 2 Peaker Power Plant 250 Mw. *Jurnal Energi Elektrik*, 10(1), 9-13.
- Utomo, H. B. (2021, September). Analisa sistem proteksi rele deferensial pada trafo 60MVA Di Gardu Induk Bandung Utara menggunakan software ETAP 12.6. 0. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 12, pp. 243-249).
- El-Bages, M. S. (2011). Improvement of digital differential relay sensitivity for internal ground faults in power transformers. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 3(3).