

ANALISIS KINERJA PROTEKSI OVER CURRENT RELAY (OCR) PADA SISI 150/20 KV TRANSFORMATOR 30 MVA GARDU INDUK SENGGANG

Fieqrha Putra Perdana Syarifuddin¹, Ahmad Gaffar², Ahmad Rizal Sultan³

Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245

Informasi Artikel

Diterima, 4 April 2023
Direvisi, 2 Februari 2023
Disetujui, 15 Februari 2023
Dipublikasi, 7 April 2023

Abstract

To maintain the continuity of electricity distribution, the performance evaluation of overcurrent relays, or Over Current Relays (OCRs), as a protection system needs to be conducted periodically. The reliability of the protection system is a key factor in improving customer service. This research aims to analyze the performance of OCRs on the 150 KV and incoming 20 KV sides of the Sengkang Main Substation. The research results indicate that the accuracy of the OCR Pick Up current is 3.92% (150 KV) and 1.87% (20 KV), with Drop Off to Pick Up OCR ratios of 95.83% and 95.28%, respectively. The relay's time characteristic on both sides of the transformer has also been tested and meets the standards of PT. PLN (Persero), with an error rate smaller than $\pm 5\%$. Therefore, the performance of OCRs at the Sengkang Main Substation can be considered reliable based on the established standards.

Key words: Over Current Relay, Protection, Transformer.

Abstrak

Dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik, evaluasi kinerja relay arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) sebagai sistem proteksi perlu dilakukan secara berkala. Keandalan proteksi menjadi faktor kunci dalam meningkatkan pelayanan ke konsumen. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja OCR pada transformator sisi 150 KV dan incoming 20 KV di Gardu Induk Sengkang. Hasil penelitian menunjukkan akurasi arus Pick Up OCR sebesar 3.92% (150 KV) dan 1.87% (20 KV), dengan rasio Drop Off terhadap Pick Up OCR masing-masing 95.83% dan 95.28%. Karakteristik waktu kerja relay pada kedua sisi transformator juga telah diuji dan memenuhi standar PT. PLN (Persero), dengan nilai kesalahan yang lebih kecil dari $\pm 5\%$. Dengan demikian, kinerja OCR pada Gardu Induk Sengkang dapat dianggap andal berdasarkan kriteria standar yang telah ditetapkan.

Kata kunci: Proteksi, Relai Arus Lebih, Transformator.

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan suatu sistem instalasi listrik yang terdiri dari susunan dan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja switching rangkaian suatu sistem tenaga listrik. Di dalam suatu gardu induk terdiri atas beberapa peralatan listrik yang sangat besar nilai investasinya, salah satunya adalah transformator tenaga.[1]

Dalam pengoperasiannya, transformator tidak hanya dioperasikan dengan efisiensi yang semaksimal mungkin, akan tetapi juga harus diamankan dan dilindungi dari kerusakan. Dalam sistem penyaluran, tidak menutup kemungkinan terjadinya gangguan terutama gangguan hubung singkat yang disebabkan arus lebih, sehingga untuk menjaga keandalan dan melindungi peralatan digunakan sistem proteksi. Sistem proteksi bertujuan mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian yang masih sehat sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. [2]

Proteksi OCR (*Over Current Relay*) merupakan salah satu jenis proteksi paling umum yang digunakan di gardu induk. Fungsinya adalah untuk mendeteksi dan merespon secara cepat ketika terjadi arus lebih dari batas yang ditentukan. Proteksi ini harus secara tepat mengidentifikasi gangguan dan mengisolasi sirkuit yang terkena gangguan agar bagian lain dari sistem kelistrikan tetap berfungsi normal. [3]

Dalam fungsinya sebagai sistem proteksi, evaluasi kinerja relay arus lebih atau *Over Current Relay* harus dilakukan secara berkala. Keandalan sebuah sistem proteksi sangat diperlukan demi terjaminnya kontinuitas penyaluran energi listrik. Untuk itu diperlukan adanya pengujian sistem proteksi yang dapat mengetahui keandalan kinerja pada peralatan sistem proteksi tersebut. Keandalan proteksi menjadi bagian yang penting untuk dikaji atau dianalisis dalam upaya meningkatkan pelayanan ke konsumen. [4] Berdasarkan hal tersebut, Skripsi ini mengangkat tema tentang Analisis Kinerja Proteksi *Over Current Relay* (OCR) pada sisi 150 KV dan

*Fieqrha Putra Perdana Syarifuddin
e-mail : fieqrha77@gmail.com

incoming 20 KV transformator 30 MVA untuk mengetahui keandalan sistem proteksi khususnya pada area kerja Gardu Induk Sengkang

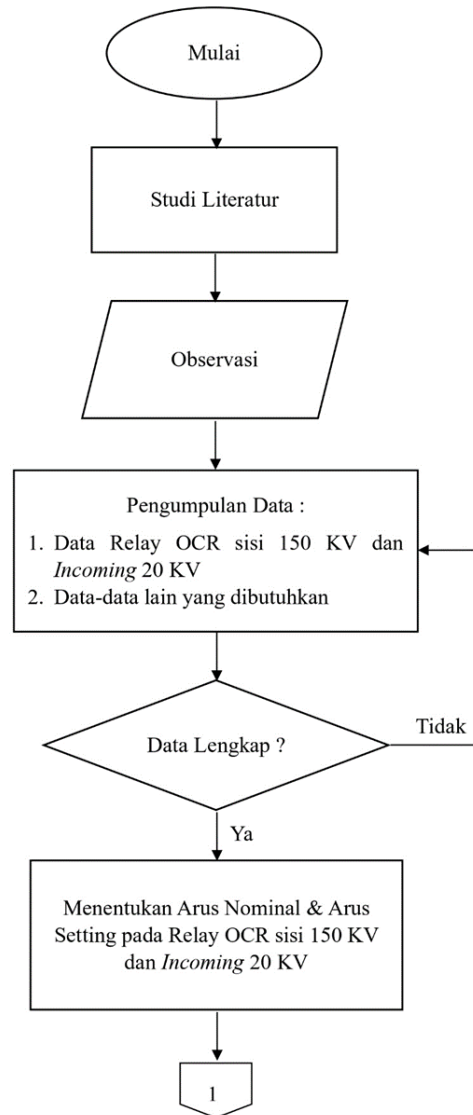
Adapun alat uji yang biasa digunakan di Unit PT. PLN (Persero) adalah Universal Test Set Tool Relay Omicron CMC 356 dan Software Electric Transient and Analysis Program (ETAP).

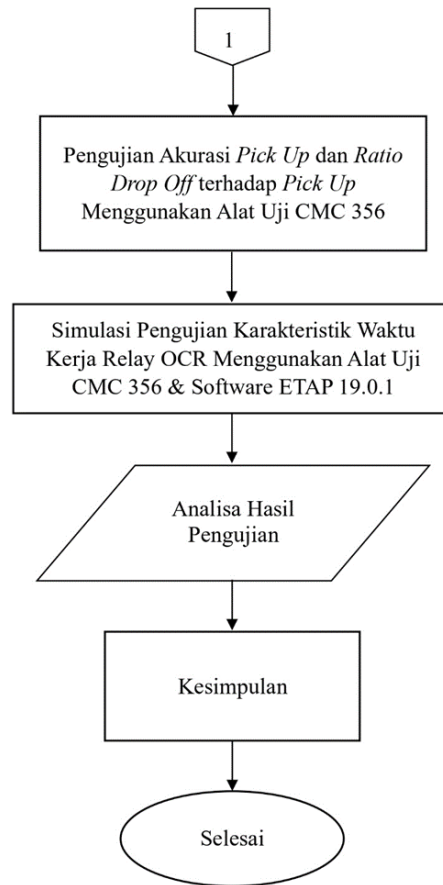
2. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang terkait dengan Analisis Kinerja Proteksi *Over Current Relay* (OCR) Pada Sisi 150/20 KV Transformator 30 MVA akan dilaksanakan di PT PLN (Persero) Gardu Induk (GI) Sengkang yang beralamat di Patila, Kec. Pammana, Kabupaten Wajo, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian dan pengumpulan data telah dilaksanakan selama bulan Januari sampai Agustus 2023.

Diagram Alir Penelitian





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Prosedur Penelitian

2.3.1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi jurnal atau teori (jurnal, buku dan browsing internet) yang berkaitan sistem proteksi Over Current Relay dan pengujian kinerja proteksi Over Current Relay..

2.3.2. Pengumpulan Data

1. Data Setting Relay OCR Sisi 150 KV

Merk : Siemens
Serial Number : BF1012107918
Ratio CT : 150/1 A
Iset : $1.2 \times I_n$ (arus nominal)
TMS : 0.41
Frekuensi : 50 Hz
Kurva : Standard Inverse
Jenis Relay : Numeric

2. Data Setting Relay OCR Sisi 20 KV (Incoming)

Merk : Schneider
Serial Number : 36194270/03/13
Ratio CT : 1000/1 A
Iset : $1.2 \times I_n$ (arus nominal)
TMS : 0.28
Frekuensi : 50 Hz
Kurva : Standard Inverse
Jenis Relay : Numeric

3. Arus Nominal

Perhitungan arus nominal menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_n = S / (\sqrt{3} \times V)$$

Keterangan :

I_n = Arus nominal

S = Daya semu

V = Tegangan

Arus nominal pada sisi 150 KV

$$I_n = 30000 \text{ KVA} / (\sqrt{3} \times 150 \text{ KV})$$

$$I_n = 115.47 \text{ A}$$

Arus nominal pada sisi 20 KV

$$I_n = 30000 \text{ KVA} / (\sqrt{3} \times 20 \text{ KV})$$

$$I_n = 867.05 \text{ A}$$

4. Arus Setting OCR

Arus setting pada sisi 150 KV dengan Ratio CT 150/5 A

$$\begin{aligned} I_{set} &= 1.2 \times I_n \\ &= 1.2 \times 115.47 \text{ A} \\ &= 138.56 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk arus setting pada sisi primer adalah 138.56 A dan untuk arus setting pada sisi sekunder adalah 0.92 A.

Arus setting pada sisi 20 KV dengan Ratio CT 1000/1 A

$$\begin{aligned} I_{set} &= 1.2 \times I_n \\ &= 1.2 \times 867.05 \text{ A} \\ &= 1040.46 \text{ A} \end{aligned}$$

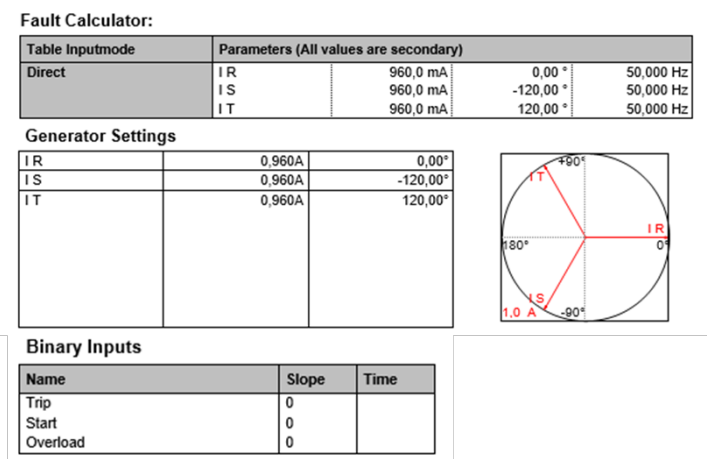
Untuk arus setting pada sisi primer adalah 1040.46 A dan untuk arus setting pada sisi sekunder adalah 1.04 A.

3. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

3.1 Pengujian Akurasi Pick Up dan Ratio Drop Off terhadap Pick Up

3.1.1 Hasil Pengujian Arus Pick Up relay OCR pada sisi 150 KV

Pada pengujian Arus Pick Up OCR sisi 150 KV, telah ditentukan arus setting relay sebesar 0.92 Ampere pada sisi sekunder atau 138.56 Ampere pada sisi primer, kemudian langkah selanjutnya yaitu dengan cara menaikkan arus gangguan melebihi arus setting pada OCR dengan kelipatan 0.01 Ampere sampai relay-nya bekerja atau alarm pada relay aktif. Pada Gambar 10 menunjukkan hasil uji arus Pick Up dengan menggunakan alat uji CMC 356 relay bekerja pada 0.96 Ampere pada sisi sekunder atau 144 Ampere pada sisi primer.



Gambar 2. Hasil Uji CMC 356 Arus Pick Up pada sisi 150 KV

Berdasarkan standar PT. PLN (Persero) No. 0520-3.K/DIR/2014 tentang akurasi arus Pick Up yaitu nilai persentase kesalahan standar sebesar $\pm 5\%$ dari arus setting. Berdasarkan hasil uji pada Gambar 10, maka dapat diketahui nilai persentase akurasi arus pick up sisi 150 KV Transformator 30 MVA Gardu Induk Sengkang sebagai berikut:

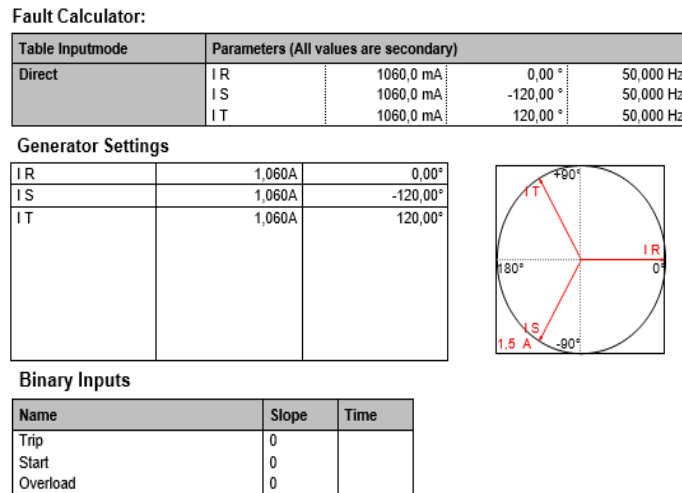
$$\text{Nilai Persentase (\%)} = \frac{\text{Nilai Arus Pick Up} - \text{Nilai Arus Setting}}{\text{Nilai Arus Setting}} \times 100\%$$

$$= 144 \text{ A} - 138.56 \text{ A} / 138.56 \text{ A} \times 100\% = 3.92\%$$

Berdasarkan hasil pengujian, akurasi arus Pick Up OCR pada sisi 150 KV masih dalam standar $\pm 5\%$ dari arus setting yaitu pada nilai 3.92%. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai persentase kesalahan standar sebesar $\pm 5\%$. Oleh karena nilai persentase kesalahan realita < persentase kesalahan standar, sehingga akurasi arus Pick Up relay OCR pada sisi 150 KV dapat dikatakan andal.

3.1.2 Hasil Pengujian Arus Pick Up relay OCR pada sisi 20 KV

Pada pengujian Arus Pick Up OCR sisi incoming 20 KV, telah ditentukan arus setting relay sebesar 1.04 Ampere pada sisi sekunder atau 1040.46 Ampere pada sisi primer, kemudian langkah selanjutnya yaitu dengan cara menaikkan arus gangguan melebihi arus setting pada OCR dengan kelipatan 0.01 Ampere sampai relay-nya bekerja atau alarm pada relay aktif. Pada Gambar 11 menunjukkan hasil uji arus Pick Up dengan menggunakan alat uji CMC 356 relay bekerja pada 1.06 Ampere pada sisi sekunder atau 1060 Ampere pada sisi primer.



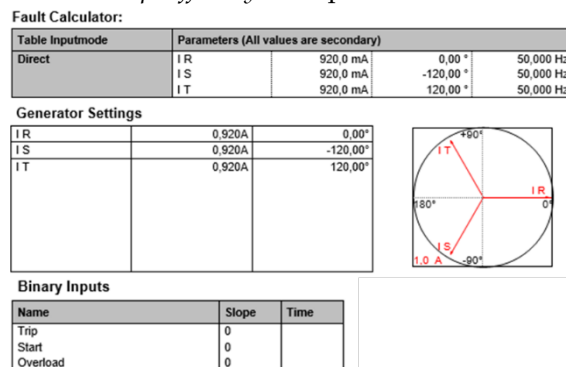
Gambar 3. Hasil Uji CMC 356 Arus Pick Up pada sisi incoming 20 KV

Berdasarkan standar PT. PLN (Persero) No. 0520-3.K/DIR/2014 tentang akurasi arus *Pick Up* yaitu nilai persentase kesalahan standar sebesar $\pm 5\%$ dari arus setting. Berdasarkan hasil uji pada Gambar 11, maka dapat diketahui nilai persentase akurasi arus *pick up* sisi 150 KV Transformator 30 MVA Gardu Induk Sengkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai Persentase (\%)} &= \text{Nilai Arus Pick Up} - \text{Nilai Arus Setting} / \text{Nilai Arus Setting} \times 100\% \\ &= 1060 \text{ A} - 1040.46 \text{ A} / 1040.46 \text{ A} \times 100\% \\ &= 1.87\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian, akurasi arus Pick Up OCR pada sisi Incoming 20 KV masih dalam standar $\pm 5\%$ dari arus setting yaitu pada nilai 1.87%. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai persentase kesalahan standar sebesar $\pm 5\%$. Oleh karena nilai persentase kesalahan realita < persentase kesalahan standar, sehingga akurasi arus Pick Up relay OCR pada sisi Incoming 20 KV dapat dikatakan andal.

3.1.3 Hasil Pengujian Arus Drop Off relay OCR pada sisi 150 KV



Gambar 3. Hasil Uji CMC 356 Arus Drop Off pada sisi 150 KV

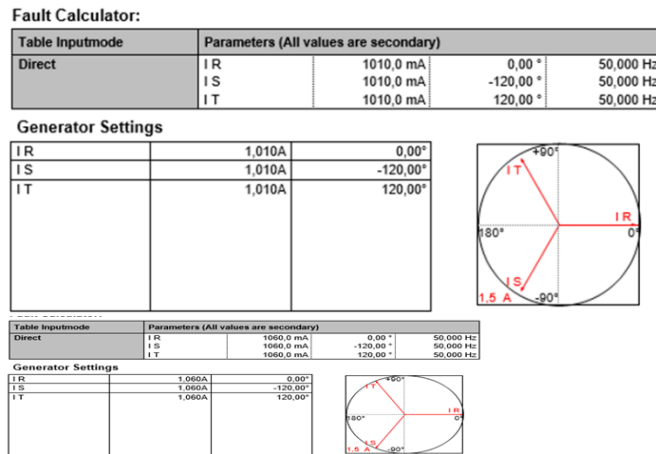
Pada pengujian arus Drop Off sisi 150 KV menggunakan nilai hasil pengujian arus Pick Up, kemudian langkah selanjutnya yaitu dengan menurunkan arus gangguan dengan kelipatan 0.01 Ampere sampai alarm Pick Up

pada relay berhenti bekerja. Berdasarkan hasil uji pada Gambar 12 di atas arus Drop Off bekerja pada 0.92 Ampere pada sisi sekunder atau 138 Ampere pada sisi primer.

Berdasarkan hasil uji arus Pick Up dan arus Drop Off (arus reset), maka dapat diketahui nilai persentasi akurasi rasio Drop Off terhadap Pick Up (Drop Off to Pick Up ratio) relay OCR pada sisi 150 KV sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Drop Off/Pick Up} &= \text{Nilai Drop Off/Nilai Pick Up} \times 100\% \\ &= 138 \text{ A}/144\text{A} \times 100\% \\ &= 95.83\% \end{aligned}$$

3.1.4 Pengujian Arus Drop Off relay OCR pada sisi Incoming 20 KV



Gambar 4. Hasil Uji CMC 356 Arus Drop Off pada sisi Incoming 20 KV

Pada pengujian arus Drop Off sisi Incoming 20 KV menggunakan nilai hasil pengujian arus Pick Up, kemudian langkah selanjutnya yaitu dengan menurunkan arus gangguan dengan kelipatan 0.01 Ampere sampai alarm Pick Up pada relay berhenti bekerja. Berdasarkan hasil uji pada Gambar 13 di atas arus Drop Off bekerja pada 1.01 Ampere pada sisi sekunder atau 1010 Ampere pada sisi primer.

Berdasarkan hasil uji arus Pick Up dan arus Drop Off (arus reset), maka dapat diketahui nilai persentasi akurasi rasio Drop Off terhadap Pick Up (Drop Off to Pick Up ratio) relay OCR pada sisi Incoming 20 KV sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Drop Off/Pick Up} &= \text{Nilai Drop Off/Nilai Pick Up} \times 100\% \\ &= 1010 \text{ A}/1060\text{A} \times 100\% \\ &= 95.28\% \end{aligned}$$

Berdasarkan standar PT. PLN (Persero) No.0520-3.K/DIR/2014 tentang rasio Drop Off terhadap Pick Up (Drop Off to Pick Up ratio) dengan jenis relay numeric adalah 95% - 98%. Nilai persentasi rasio Drop Off terhadap Pick Up pada relay OCR sisi 150 KV adalah 95.83% dan nilai persentasi rasio Drop Off terhadap Pick Up pada relay OCR sisi Incoming 20 KV adalah 95.28%. Hasil ini menunjukkan bahwa rasio Drop Off terhadap Pick Up relay OCR pada sisi 150 KV dan sisi Incoming 20 KV dapat dikatakan andal

3.2 Perhitungan Karakteristik Waktu Kerja OCR pada sisi 150 KV

3.2.1 Hasil perhitungan arus hubung singkat 1.5x dari arus setting

Perhitungan arus hubung singkat dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan:

$$\text{Standard Invers (SI)} = t = \text{TMS} \times (0.14) / (I_f / I_s^{0.02} - 1)$$

Keterangan:

t = waktu kerja relay dengan satuan detik

I_f = arus hubung singkat dengan satuan Amper e

$$= 1.5 \times I_{set}$$

$$= 1.5 \times 0.92$$

$$= 1.38 \text{ A}$$

I_{set} = arus setelan relay dengan satuan Ampere

TMS = Time Multiple Setting

$$t = 0.41 \times (0.14) / (1.38 / 0.92^{0.02} - 1)$$

$$= 0.41 \times 17.28$$

$$= 7.0848 \text{ s}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 1.5 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 0.92 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 7.0848 s.

3.2.2 Hasil perhitungan arus hubung singkat 2x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 2 \times I_{set} \\
 &= 2 \times 0.92 \\
 &= 1.84 \text{ A} \\
 t &= 0.41 \times (0.14) / (1.84 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.41 \times 10.07 \\
 &= 4.1287 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 2 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 0.92 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 4.1287 s.

3.3.3 Hasil perhitungan arus hubung singkat 3x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 3 \times I_{set} \\
 &= 3 \times 0.92 \\
 &= 2.76 \text{ A} \\
 t &= 0.41 \times (0.14) / (2.76 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.41 \times 6.30 \\
 &= 2.583 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 3 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 0.92 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 2.583 s.

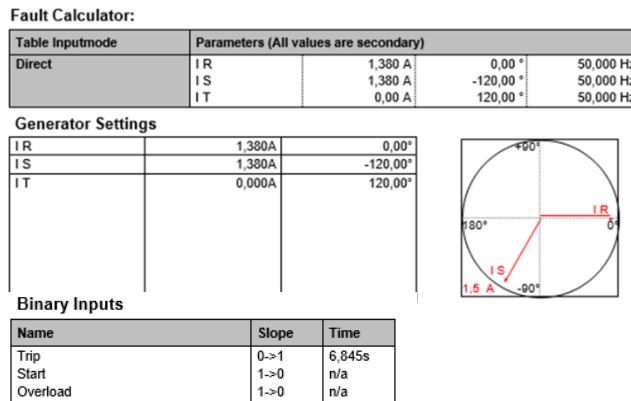
3.2.4 Hasil perhitungan arus hubung singkat 4x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 4 \times I_{set} \\
 &= 4 \times 0.92 \\
 &= 3.68 \text{ A} \\
 t &= 0.41 \times (0.14) / (3.68 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.41 \times 4.98 \\
 &= 2.042 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 4 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 0.92 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 2.042 s.

3.3 Simulasi Pengujian Karakteristik Waktu OCR pada sisi 150 KV

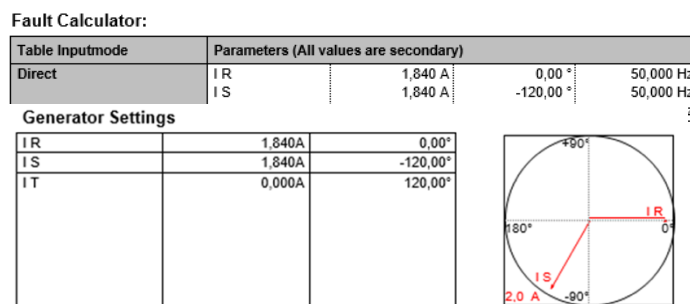
3.3.1 Hasil uji arus hubung singkat 1.5x dari arus setting



Gambar 5. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 1.5 kali Arus Setting

Pada pengujian 1.5 kali arus setting relay OCR diuji dengan gangguan Overcurrent dengan arus setting yang digunakan 0.92 Ampere, kemudian dilakukan pengujian pada relay dengan memberikan gangguan 1.5 kali arus setting yaitu 1.38 Ampere. Selanjutnya relay akan bekerja dan menghitung waktu trip relay tersebut, dari gambar 14 waktu yang didapatkan dari pengujian 1.5 kali arus setting yaitu 6.485 second

3.3.2 Hasil uji arus hubung singkat 2x dari arus setting



Binary Inputs

Name	Slope	Time
Trip	0->1	4,054s
Start	1->0	n/a
Overload	1->0	n/a

Gambar 6. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 2 kali Arus Setting

Pada pengujian 2 kali arus setting relay OCR diuji dengan gangguan Overcurrent dengan arus setting yang digunakan 0.92 Ampere, kemudian dilakukan pengujian pada relay dengan memberikan gangguan 2 kali arus setting yaitu 1.84 Ampere. Selanjutnya relay akan bekerja dan menghitung waktu trip relay tersebut, dari gambar 15 waktu yang didapatkan dari pengujian 2 kali arus setting yaitu 4.054 second

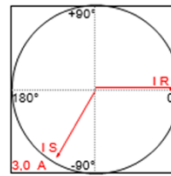
3.3.3 Hasil uji arus hubung singkat 3x dari arus setting

Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I R	2,780 A	0,00 °	50,000 Hz
	I S	2,780 A	-120,00 °	50,000 Hz
	I T	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz

Generator Settings

I R	2,780A	0,00°
I S	2,780A	-120,00°
I T	0,000A	120,00°



Binary Inputs

Name	Slope	Time
Trip	0->1	2,533s
Start	1->0	n/a
Overload	1->0	n/a

Gambar 7. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 3 kali Arus Setting

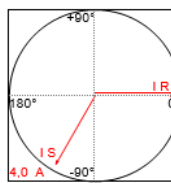
3.3.4 Hasil uji arus hubung singkat 4x dari arus setting

Fault Calculator:

Table Inputmode	Parameters (All values are secondary)			
Direct	I R	3,680 A	0,00 °	50,000 Hz
	I S	3,680 A	-120,00 °	50,000 Hz
	I T	0,00 A	120,00 °	50,000 Hz

Generator Settings

I R	3,680A	0,00°
I S	3,680A	-120,00°
I T	0,000A	120,00°



Binary Inputs

Name	Slope	Time
Trip	0->1	2,023s
Start	1->0	n/a
Overload	1->0	n/a

Gambar 8. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 4 kali Arus Setting

Pada pengujian 4 kali arus setting relay OCR diuji dengan gangguan Overcurrent dengan arus setting yang digunakan 0.92 Ampere, kemudian dilakukan pengujian pada relay dengan memberikan gangguan 4 kali arus setting yaitu 3.68 Ampere. Selanjutnya relay akan bekerja dan menghitung waktu trip relay tersebut, dari gambar 17 waktu yang didapatkan dari pengujian 4 kali arus setting yaitu 2.023 second.

3.4 Perhitungan Karakteristik Waktu Kerja OCR pada sisi incoming 20 KV

3.4.1 Hasil perhitungan arus hubung singkat 1.5x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 1.5 \times I_{set} \\
 &= 1.5 \times 1.04 \\
 &= 1.56 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= 0.28 \times (0.14) / (1.56 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.28 \times 17.28 \\
 &= 4.8384 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 1.5 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 1.04 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 4.8384 s.

3.4.2 Hasil perhitungan arus hubung singkat 2x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 2 \times I_{set} \\
 &= 2 \times 1.04 \\
 &= 2.08 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= 0.28 \times (0.14) / (2.08 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.28 \times 10.07 \\
 &= 2.8196 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 2 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 1.04 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 2.8196 s.

3.4.3 Hasil perhitungan arus hubung singkat 3x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 3 \times I_{set} \\
 &= 3 \times 1.04 \\
 &= 3.12 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= 0.28 \times (0.14) / (3.12 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.28 \times 6.30 \\
 &= 1.764 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 3 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 1.04 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 1.764 s.

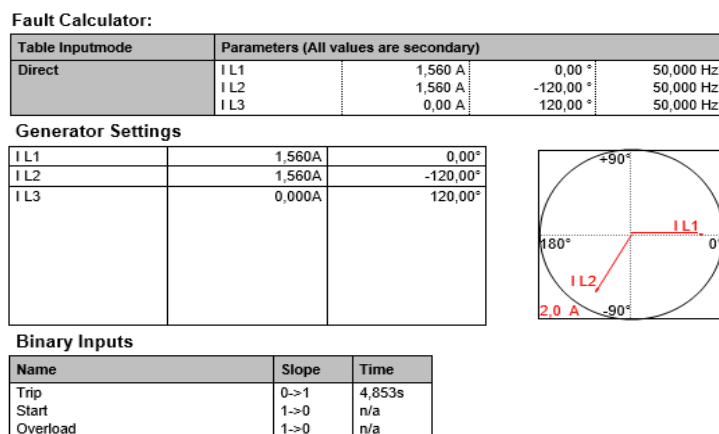
3.4.4 Hasil perhitungan arus hubung singkat 4x dari arus setting

$$\begin{aligned}
 I_f &= \text{ arus hubung singkat dengan satuan Amper e} \\
 &= 4 \times I_{set} \\
 &= 4 \times 1.04 \\
 &= 4.16 \text{ A}
 \end{aligned}$$

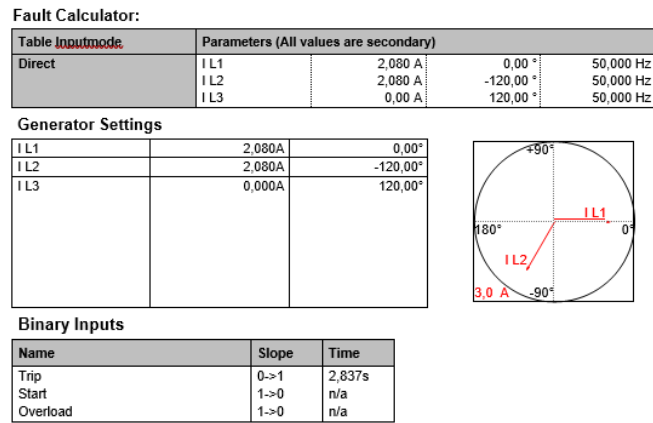
$$\begin{aligned}
 t &= 0.28 \times (0.14) / (4.16 / 0.92^{0.02} - 1) \\
 &= 0.28 \times 4.98 \\
 &= 1.3944 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan 4 kali dari arus setting dengan arus setting yang digunakan yaitu 1.04 Ampere, selanjutnya didapatkan hasil waktu trip relay yaitu 1.3944 s

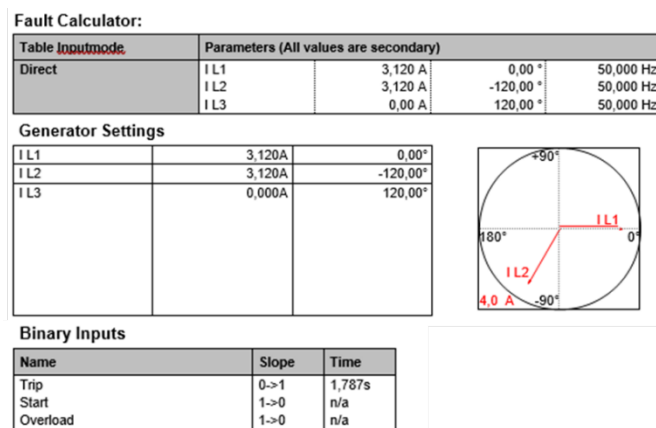
3.5 Simulasi Pengujian Karakteristik Waktu OCR pada sisi *incoming* 20 KV



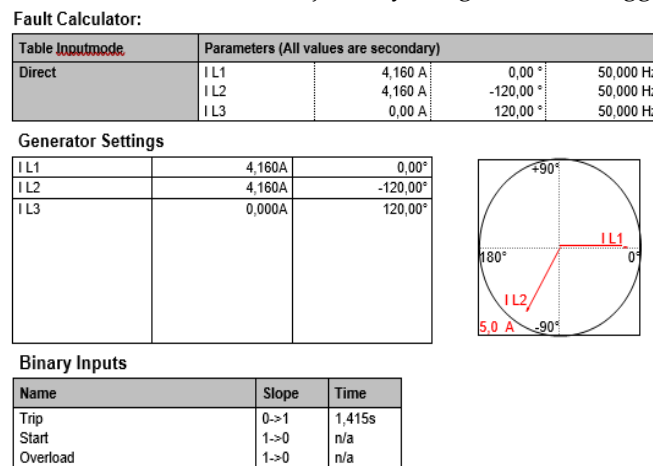
Gambar 9. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 1.5 kali Arus Setting



Gambar 10. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 2 kali Arus Setting



Gambar 11. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 3 kali Arus Setting



Gambar 12. Hasil Uji Simulasi CMC 356 Waktu Kerja Relay dengan Arus Gangguan 4 kali Arus Setting

3.6. Analisis Kinerja Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu Kerja Relay

Pada pengujian kinerja relay berdasarkan karakteristik waktu kerja relay OCR sisi 150 KV dan Incoming 20 KV Transformator 30 MVA Gardu Induk Sengkang berdasarkan hasil perhitungan secara teori yang dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan alat uji CMC 356, maka data – data tersebut disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini.

Tabel 1 Kinerja Relay OCR Sisi 150 KV Berdasarkan Karakteristik Waktu Kerja dengan TMS = 0.41, Tipe Kurva = SI (Standard Inverse), Ratio CT = 150/1 A dan Arus Setting (Iset) = 138.56 / 0.92 A

Injeksi Arus Gangguan	Waktu Kerja Relay (second)		n = (X0 - X1) / X1	Persentase Error (%)
	Hasil Perhitungan (X0)	Hasil Pengujian (X1)		
1,5 x Iset (1.38 A)	7.0848	6.845	0.035	3.503
2 x Iset (1.84 A)	4.1287	4.054	0.018	1.843
3 x Iset (2.76 A)	2.583	2.533	0.020	1.974
4 x Iset (3.68 A)	2.042	2.023	0.009	0.939

Tabel 2 Kinerja Relay OCR Sisi Incoming 20 KV Berdasarkan Karakteristik Waktu Kerja dengan TMS = 0.28, Tipe Kurva = SI (Standard Inverse), Ratio CT = 1000/1 A dan Arus Setting (Iset) = 1040.46 / 1.04 A

Injeksi Arus Gangguan	Waktu Kerja Relay (second)		n = (X0 - X1) / X1	Persentase Error (%)
	Hasil Perhitungan (X0)	Hasil Pengujian (X1)		
1,5 x Iset (1.56 A)	4.8384	4.853	-0.003	0.301
2 x Iset (2.08 A)	2.8196	2.837	-0.006	0.613
3 x Iset (3.12 A)	1.764	1.787	-0.013	1.287
4 x Iset (4.16 A)	1.3944	1.415	-0.015	1.456

Dari

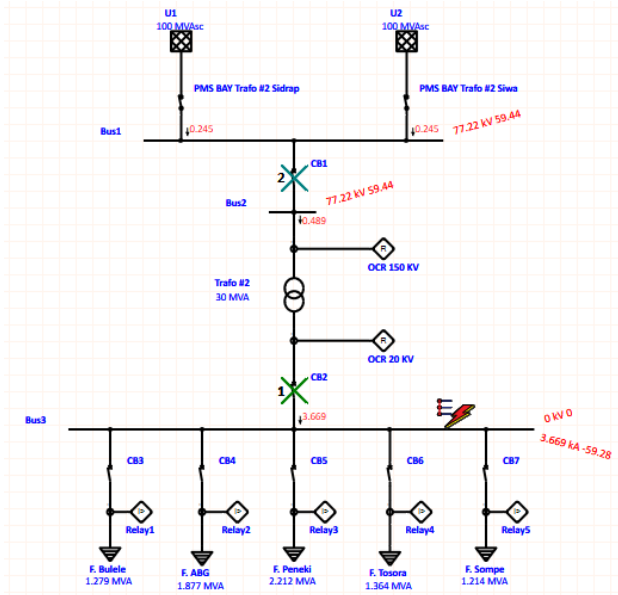
hasil data yang telah didapatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 di atas, nilai persentase akurasi kinerja relay berdasarkan karakteristik waktu kerja relay dengan karakteristik Standard Inverse adalah sebagai berikut :

- a. Akurasi kinerja relay OCR berdasarkan karakteristik waktu kerja sisi 150 KV
 - a) Nilai persentase untuk gangguan 1,5 x Iset adalah = 3.503 %
 - b) Nilai persentase untuk gangguan 2 x Iset adalah = 1.843 %
 - c) Nilai persentase untuk gangguan 3 x Iset adalah = 1.974 %
 - d) Nilai persentase untuk gangguan 4 x Iset adalah = 0.939 %

- b. Akurasi kinerja relay OCR berdasarkan karakteristik waktu kerja sisi Incoming 20 KV
 - a) Nilai persentase untuk gangguan 1,5 x Iset adalah = 0.301 %
 - b) Nilai persentase untuk gangguan 2 x Iset adalah = 0.613 %
 - c) Nilai persentase untuk gangguan 3 x Iset adalah = 1.287 %
 - d) Nilai persentase untuk gangguan 4 x Iset adalah = 1.456 %

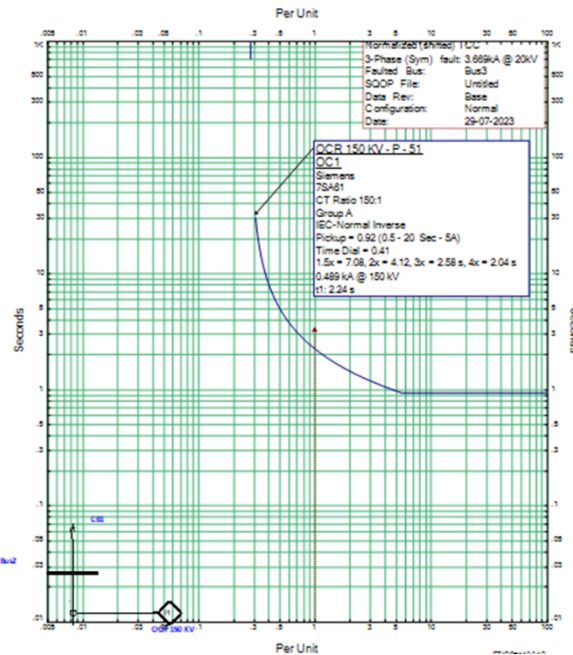
Berdasarkan standar PT. PLN No. 0520-3.K/DIR/2014 tentang akurasi kinerja relay berdasarkan karakteristik waktu kerja relay dengan jenis relay numeric adalah persentase kesalahan standar sebesar $\pm 5\%$ dari hasil perhitungan secara teori. Nilai persentase akurasi kinerja relay OCR berdasarkan karakteristik waktu kerja relay pada sisi 150 KV adalah 3.503 % untuk arus gangguan 1,5 kali dari arus setting, 1.843 % untuk arus gangguan 2 kali dari arus setting, 1.974 % untuk arus gangguan 3 kali dari arus setting, dan 0.939 % untuk arus gangguan 4 kali dari arus setting. Sedangkan untuk sisi Incoming 20 KV persentase akurasi kinerja relay OCR berdasarkan karakteristik waktu kerja relay adalah -0.301 % untuk arus gangguan 1,5 kali dari arus setting, -0.613 % untuk arus gangguan 2 kali dari arus setting, -1.287 % untuk arus gangguan 3 kali dari arus setting, dan -1,456 % untuk arus gangguan 4 kali dari arus setting. Oleh karena nilai persentase kesalahan realita < persentase kesalahan standar, sehingga hasil ini menunjukkan bahwa akurasi kinerja relay berdasarkan karakteristik waktu kerja relay OCR pada sisi 150 KV dan sisi Incoming 20 KV dapat dikatakan andal.

3.7 Analisis Kinerja Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu Kerja Relay Menggunakan ETAP 19.0.1



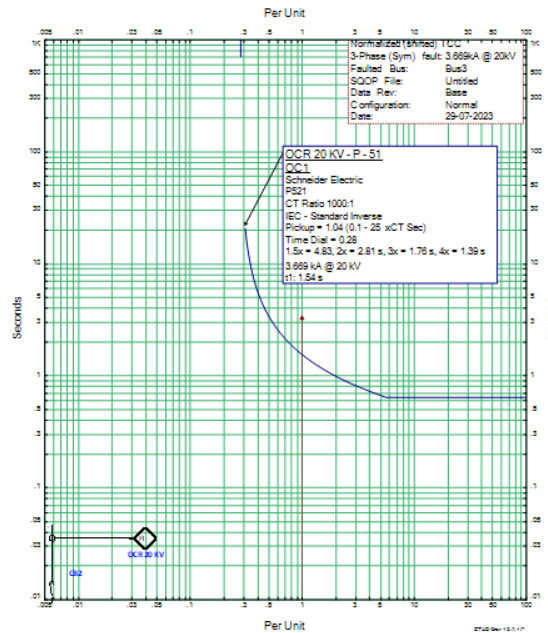
Gambar 13. Simulasi Kinerja Proteksi OCR pada ETAP 19.0.1

Simulasi kinerja Over Current Relay menggunakan software ETAP 19.0.1 pada gambar diatas dengan memasukkan nilai-nilai setting OCR baik arus setting maupun time multiple setting serta rasio transformator arus masing-masing OCR sisi Incoming 20 KV maupun sisi 150 KV untuk memproteksi sistem tenaga listrik tersebut. Maka berdasarkan simulasi tersebut dihasilkan kinerja proteksi OCR sisi 150 KV dan Incoming 20 KV berdasarkan karakteristk waktu kerja relay dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 14. Grafik Hasil Simulasi Waktu Kerja OCR sisi 150 KV

Grafik diatas menunjukkan kerja relay berdasarkan karakteristk waktu kerja yaitu menggunakan karakteristk standard inverse. Dapat dilihat bahwa untuk gangguan arus lebih transformator sisi 150 KV dengan arus gangguan 1.5x dari arus setting, relay OCR memutus CB pada waktu 7.08 s, arus gangguan 2x dari arus setting, relay OCR memutus CB pada waktu 4.12 s, arus gangguan 3x dari arus setting, relay OCR memutus CB pada waktu 2.58 s, dan arus gangguan 4x dari arus setting, relay OCR memutus CB pada waktu 2.04 s. Hasil ini sama dengan hasil perhitungan secara teori.



Gambar 15. Grafik Hasil Simulasi Waktu Kerja OCR sisi Incoming 20 KV

Sedangkan untuk gangguan arus lebih transformator sisi Incoming 20 KV dengan arus gangguan 1.5x dari arus setting, relay OCR memutuskan CB pada waktu 4.83 s, arus gangguan 2x dari arus setting, relay OCR memutuskan CB pada waktu 2.81 s, arus gangguan 3x dari arus setting, relay OCR memutuskan CB pada waktu 1.76 s, dan arus gangguan 4x dari arus setting, relay OCR memutuskan CB pada waktu 1.39 s. Hasil ini juga sama dengan hasil perhitungan secara teori.

Dengan hasil ini dapat diketahui bahwa kinerja relay berdasarkan karakteristik waktu kerja relay sisi 150 KV dan Incoming 20 KV Transformator 30 MVA Gardu Induk Sengkang dapat dikatakan andal.

Penutup

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis, maka dapat ditarik kesimpulan yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Dari hasil perbandingan antara pengujian dengan standar terhadap akurasi Arus Pick Up dengan rasio Drop Off terhadap Pick Up (Drop Off to Pick Up ratio) menggunakan alat uji Universal Test Set Tool Relay Omicron CMC 356 pada sisi 150/20 KV Transformator 30 MVA pada Gardu Induk Sengkang terlihat bahwa kinerja akurasi arus Pick Up OCR dan persentase rasio Drop Off terhadap Pick Up OCR sisi 150 KV dan sisi Incoming 20 KV Transformator 30 MVA Gardu Induk Sengkang dapat dikatakan andal, dengan persentase akurasi arus kerja (Pick Up) relay OCR transformator sisi 150 KV adalah 3.92% dan pada transformator incoming 20 KV adalah 1.87%. Sedangkan untuk persentase rasio Drop Off terhadap Pick Up OCR pada transformator sisi 150 KV dan transformator sisi Incoming 20 KV adalah 95.83% dan 95.28%. Dimana angka tersebut telah sesuai dengan standar dari PT. PLN (Persero).
2. Berdasarkan hasil simulasi kinerja relay dengan pengujian karakteristik waktu kerja proteksi Over Current Relay pada saat gangguan arus lebih sisi 150/20 KV Transformator 30 MVA yang dilakukan langsung di lapangan dengan menggunakan alat uji Universal Test Set Tool Relay Omicron CMC 356 dengan tipe karakteristik standard inverse, nilai persentase kesalahan dari hasil perhitungan secara teori dengan hasil pengujian menggunakan alat uji CMC 356 pada relay sisi transformator 150 KV untuk arus gangguan 1.5 kali dari arus setting sebesar 3.503 %, arus gangguan 2 kali dari arus setting sebesar 1.843 %, arus gangguan 3 kali dari arus setting sebesar 1.974 % dan arus 73 gangguan 4 kali dari arus setting sebesar 0.939 %. Adapun untuk transformator sisi Incoming 20 KV arus gangguan 1.5 kali dari arus setting sebesar 0.301 %, arus gangguan 2 kali dari arus setting sebesar 0.613 %, arus gangguan 3 kali dari arus setting sebesar 1.287 % dan arus gangguan 4 kali dari arus setting sebesar 1.456%. Hasil ini lebih kecil dari pada persentase kesalahan standar sebesar $\pm 5\%$, sehingga kinerja relay OCR berdasarkan karakteristik waktu kerja sisi 150 KV dan sisi Incoming 20 KV Transformator 30 MVA Gardu Induk Sengkang dengan menggunakan alat uji Universal Test Set Tool Relay Omicron CMC 356 dapat dikatakan andal berdasarkan standar PT. PLN (Persero). Sedangkan hasil simulasi kinerja relay dengan pengujian karakteristik waktu kerja proteksi Over Current Relay pada saat gangguan arus lebih sisi 150/20 KV Transformator 30 MVA menggunakan

Software Electric Transient and Analysis Program (ETAP) 19.0.1 dengan memasukkan nilai-nilai setting OCR baik arus setting maupun time multiple setting serta rasio transformator arus masing-masing OCR sisi Incoming 20 KV maupun sisi 150 KV dapat dilihat bahwa kinerja proteksi OCR sisi 150 KV dan Incoming 20 KV berdasarkan karakteristik waktu kerja relay sama dengan perhitungan secara teori, maka dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi menggunakan ETAP 19.0.1 dapat dikatakan andal.

3.

Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk memperluas pengumpulan data dengan melakukan pengujian dalam berbagai kondisi operasional yang berbeda.
2. Melengkapi analisis dengan studi kasus atau simulasi tambahan guna membantu memperkuat temuan dari pengujian lapangan. Simulasi dapat menggambarkan skenario-skenario yang berbeda dan membantu memprediksi kinerja proteksi OCR dalam situasi yang mungkin jarang terjadi namun kritis.

Daftar Referensi

- [1] M. M. Amin, "Gardu Induk Semester 3," 2014.
- [2] L. N. Cahyani, "Simulasi Over Current Relay Menggunakan Karakteristik Standard Inverse Sebagai Proteksi Bay Transformator Pada Gardu Induk 150 Kv Dengan Konfigurasi Double Busbar Berbasis Arduino Mega 2560," undip, 2018.
- [3] R. Wahyudi, "Analisa Koordinasi Proteksi Relay Overcurrent (Ocr) Sebagai Pengaman Trafo 43 Mva Di Pltgu Gunung Megang Dengan Menggunakan Software Etap 16.0. 0," Politeknik Negeri Sriwijaya, 2021.
- [4] L. Noveri, "Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti," Riau University, 2017.