

Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga

Muhammad Maulana Zulfarhain¹, Supriyanto^{2*}, Yudi Prana Hikmat³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : muhammad.maulana.tilis19@polban.ac.id

²E-mail : *supriyanto_suhono@polban.ac.id

³E-mail : yudipranahikmat@yahoo.com

*E-mail korespondensi

ABSTRAK

Transformator tenaga merupakan peralatan listrik yang membutuhkan proteksi terhadap gangguan arus lebih. Pada transformator tenaga relai arus lebih digunakan sebagai pengaman *backup* ketika pengaman utama mengalami kegagalan fungsi. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun proteksi arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah untuk simulator koordinasi proteksi transformator tenaga, untuk keperluan bahan ajar dan modul praktikum. Metode penelitian ini menggunakan *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) sebagai relai proteksi arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah. Relai proteksi arus lebih yang digunakan dipasangkan pada sisi primer transformator tenaga. Simulasi percobaan yang dilakukan adalah simulasi gangguan internal (hubung singkat tiga fasa, hubung singkat dua fasa, dan hubung singkat satu fasa ke tanah) dan simulasi gangguan eksternal (hubung singkat tiga fasa) menggunakan tahanan. Berdasarkan hasil pengujian, setting OCR sisi primer trafo di set pada 0,75 A dengan TMS 0,5 (*standard inverse*) dan arus setting GFR di set pada 0,5 A dengan TMS 0,025 (*standard inverse*). Pada hasil pengujian gangguan eksternal, relai arus lebih bekerja mengamankan transformator tenaga terhadap gangguan arus lebih. Sedangkan pada hasil pengujian gangguan internal, relai arus lebih sisi primer transformator tenaga bekerja lebih lambat dari pengaman utama differensial yang dimana relai arus lebih ini akan bekerja hanya ketika pengaman utama differensial mengalami kegagalan fungsi.

Kata Kunci

Arus Lebih, *Over Current Relay*, *Ground Fault Relay*, *Transformator Tenaga*

1. PENDAHULUAN

Transformator tenaga merupakan peralatan listrik yang digunakan pada sistem tenaga listrik. Pada sistem tersebut transformator tenaga berfungsi sebagai penyalur energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut transformator tenaga merupakan salah satu peralatan listrik yang penting dalam sistem tenaga listrik.

Untuk menjaga sebuah transformator tenaga dari gangguan arus lebih/hubung singkat, relai proteksi arus lebih digunakan untuk memproteksi terhadap gangguan tersebut. Gangguan hubung singkat yang terjadi pada transformator tenaga dapat berupa gangguan hubung singkat internal dan eksternal.

Over Current Relay (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) adalah relai proteksi arus lebih yang memproteksi terhadap arus lebih

gangguan fasa dan gangguan tanah. Gangguan arus lebih yang terjadi dapat berupa gangguan hubung singkat tiga fasa, hubung singkat dua fasa, dan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Over Current Relay (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) sisi primer transformator tenaga berfungsi sebagai pengaman *backup* ketika pengaman utama differensial mengalami kegagalan fungsi dalam mengisolasi gangguan.

Terdapat penelitian sebelumnya dengan topik simulator proteksi arus lebih pada transformator yang sudah pernah dibuat pada Laboratorium Politeknik Negeri Bandung. Penelitian sebelumnya berisi mengenai pembuatan simulator proteksi arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah pada transformator tenaga dengan kapasitas 7,5 kVA. Perbedaannya pada rancang bangun ini

memfokuskan pada relai arus lebih yang berkedudukan sebagai pengaman cadangan transformator, yang nantinya waktu kerja relai akan dikoordinasikan dengan relai pengaman lainnya dikarenakan pada simulator koordinasi proteksi trafo yang dibuat terdapat pengaman utama differensial yang dipasang. Dalam operasi kerjanya terhadap gangguan hubung singkat di internal, OCR dan GFR sisi primer transformator akan bekerja lebih lambat dari pengaman utama dan bekerja hanya ketika pengaman utama differensial mengalami kegagalan fungsi. Maka dari itu pemilihan setting perlu diperhatikan agar OCR dan GFR tidak mendahului operasi kerja dari pengaman utama differensial.

2. TEORI PENDUKUNG

2.1 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih merupakan peralatan proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik. Relai arus lebih merupakan relai proteksi yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi setting dari relai, dimana relai ini digunakan untuk mengamankan peralatan listrik terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat fasa ke tanah, dan pengaman beban lebih [2].

Dalam memproteksi sebuah transformator tenaga, relai arus lebih digunakan sebagai pengaman cadangan yang dimana akan bekerja ketika pengaman utama mengalami gagal fungsi ketika terjadi gangguan hubung singkat internal. Relai arus lebih pun bekerja ketika terjadi gangguan hubung singkat eksternal. Pada persamaan 1 menunjukkan arus setting untuk OCR. Pada persamaan 2 menunjukkan arus setting untuk GFR.

$$I_{Set} = (110\% - 120\%) \times \frac{I_n}{Rasio CT} \quad (1)$$

$$I_{Set} = (30\% - 40\%) \times \frac{I_n}{Rasio CT} \quad (2)$$

Dimana:

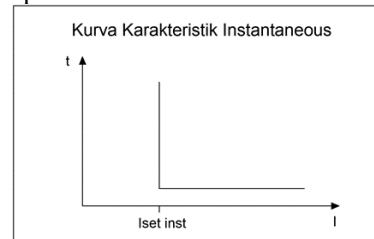
I_{Set} = Arus setting relai (A)

I_n = Arus nominal (A)

2.2 Relai Arus Lebih Waktu Seketika

Relai arus lebih dengan karakter seketika bekerja ketika terjadi gangguan arus hubung singkat yang dimana besar arus gangguannya mencapai arus settingnya dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai relai bekerja sangat singkat (20-60 ms) tanpa tunda waktu [3]. Relai waktu seketika biasanya tidak berdiri sendiri, relai ini biasanya

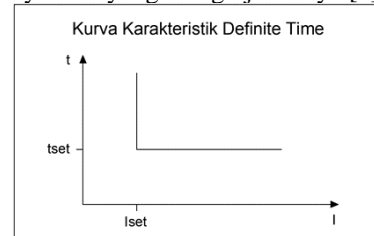
dikombinasikan dengan karakteristik yang lain seperti karakteristik waktu tunda.



Gambar 1. Kurva Karakteristik Waktu Seketika

2.3 Relai Arus Lebih Waktu Tertentu

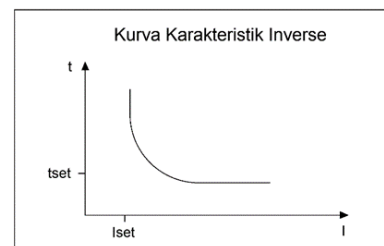
Relai arus lebih waktu tertentu bekerja ketika terjadi gangguan hubung singkat yang besar arus gangguannya melebihi arus setting. Jangka dari waktu relay mulai pick-up hingga selesainya kerja relay dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya [1].



Gambar 2. Kurva Karakteristik Waktu Tertentu

2.4 Relai Arus Lebih Waktu Tunda

Relai arus lebih waktu tunda atau *inverse* berdasarkan *standard* IEC 60255 terdapat empat macam. Pada persamaan 3 menunjukkan waktu operasi dari *standard inverse*. Pada persamaan 4 menunjukkan waktu operasi dari *very inverse*. Pada persamaan 5 menunjukkan waktu operasi dari *extreme inverse*. Pada persamaan 6 menunjukkan waktu operasi dari *long time inverse*.



Gambar 3. Kurva Karakteristik Waktu Tunda

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02-1}} \times TMS \quad (3)$$

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{-1}} \times TMS \quad (4)$$

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^2 - 1} \times TMS \quad (5)$$

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^2 - 1} \times TMS \quad (6)$$

Dimana:

t = Waktu operasi (s)

TMS = *Time multiple setting*

I_{fault} = Arus gangguan (A)

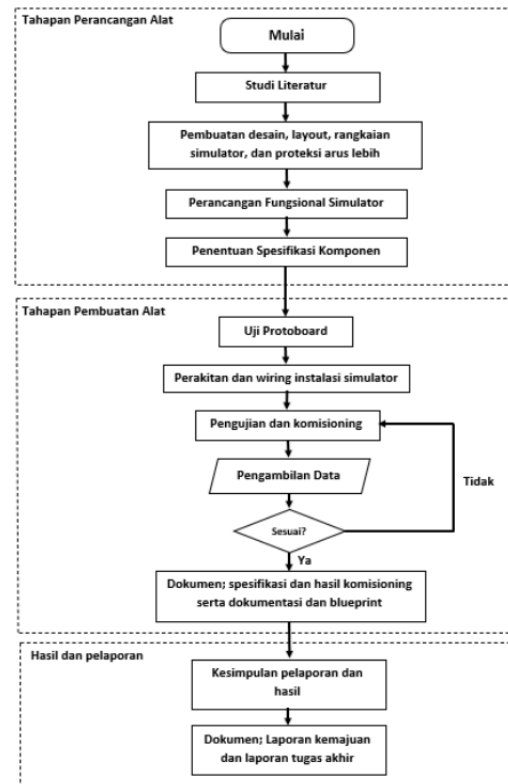
2.5 Gangguan Arus Lebih

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan arus lebih yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang dimana penghantar yang memiliki arus listrik bersentuhan dengan penghantar lain atau tanah, hal tersebut dapat mengakibatkan timbulnya arus listrik yang sangat besar dibandingkan arus nominalnya [3]. Gangguan hubung singkat terbagi menjadi dua yaitu gangguan hubung singkat simetris dan gangguan hubung singkat tidak simetris.

Gangguan hubung singkat simetris terjadi pada sistem tiga fasa saja. Disebut sebagai gangguan simetris dikarenakan ketika terjadi gangguan, arus dan tegangan pada ketiga saluran penghantar fasa tetap seimbang [4]. Gangguan hubung singkat asimetris dapat terjadi pada sistem satu fasa dan juga tiga fasa. Gangguan hubung singkat asimetris terbagi menjadi tiga yaitu gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan satu fasa ke tanah, dan gangguan dua fasa ke tanah.

3. METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 4 menunjukkan tahapan proses penelitian yang terdiri dari tahapan perancangan alat, tahapan pembuatan alat, dan tahapan hasil dan pelaporan. Pada tahapan perancangan alat meliputi pembuatan desain alat, rancangan proteksi arus lebih, serta rancangan fungsional simulator. Setelah itu pada tahapan pembuatan alat meliputi pengujian *protoboard*, perakitan alat, pengujian alat, dan pengambilan data. Terakhir pada tahap hasil dan pelaporan, terdapat kesimpulan yang didapat dari penelitian yang dilakukan.

3.2 Deskripsi Kerja Alat

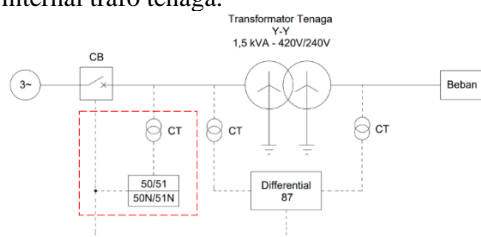
Relai proteksi arus lebih yang digunakan adalah relai ALSTOM tipe MCGG 53 dengan dua OCR dan satu GFR. Rasio CT yang digunakan adalah 5/5 A. Transformator tenaga yang digunakan pada simulator berkapasitas 1,5 kVA (hubungan Y-Y) dengan rasio belitan 420/240. OCR dan GFR dipasang pada sisi primer transformator.

Simulasi gangguan yang dilakukan adalah simulasi hubung singkat di internal dan eksternal menggunakan tahanan. Pada gangguan internal akan dilakukan simulasi hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu

fasa ke tanah. Sedangkan untuk gangguan eksternal dilakukan hubung singkat tiga fasa. Pada simulator koordinasi proteksi transformator tenaga relai OCR/GFR sisi primer trafo bekerja sebagai proteksi cadangan terhadap gangguan arus lebih. OCR/GFR tersebut bekerja ketika pengaman utama differensial mengalami kegagalan fungsi dalam mengisolasi gangguan arus lebih di internal trafo tenaga. Sedangkan pada gangguan di eksternal, OCR saja yang akan mengisolasi gangguan arus lebih.

3.3 Rancangan Fungsional

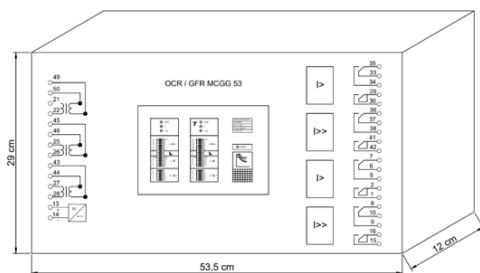
Rancangan fungsional menunjukkan kedudukan dan fungsi komponen pada simulator koordinasi proteksi transformator tenaga. Pada gambar 5 menunjukkan pemasangan dari OCR/GFR yang dipasangkan pada sisi primer transformator yang dimana berkedudukan sebagai pengaman cadangan yang bekerja ketika pengaman utama mengalami kegagalan fungsi dalam mengisolasi gangguan hubung singkat di internal trafo tenaga.



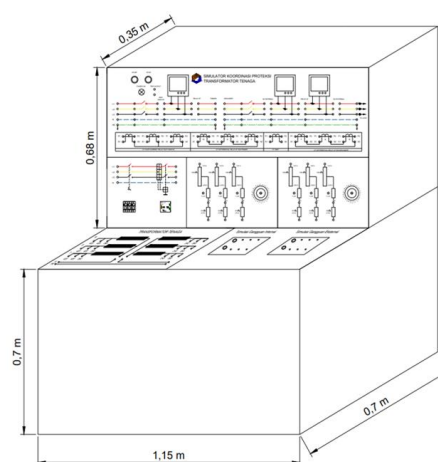
Gambar 5. Rancangan Fungsional Simulator

3.4 Desain Alat simulator

Pada desain alat terdapat konstruksi dari relai arus lebih tipe MCGG 53 dan konstruksi alat simulator koordinasi proteksi transformator tenaga. Relai arus lebih dan alat simulator koordinasi proteksi transformator terpasang secara terpisah. Pada gambar 6 dan 7 menunjukkan masing-masing konstruksi dari relai arus lebih dan alat simulator koordinasi proteksi trafo tenaga.



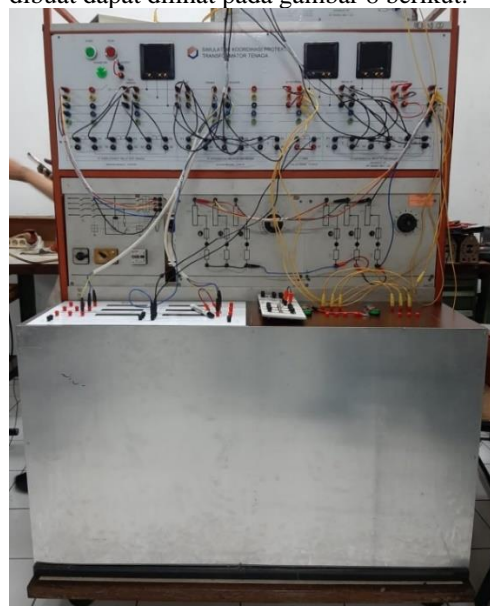
Gambar 6. Kontruksi Box Relai Arus Lebih MCGG53



Gambar 7. Rancangan Kontruksi Simulator

3.5 Realisasi Alat

Realisasi alat merupakan tahapan perancangan konstruksi alat yang sudah direalisasikan menjadi simulator koordinasi proteksi transformator tenaga. Simulator yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Simulator Koordinasi Proteksi Transformator

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian karakteristik relai arus lebih dan pengujian proteksi arus lebih pada alat simulator koordinasi proteksi transformator tenaga.

4.2 Pengujian Karakteristik *Standard Inverse*

Pengujian karakteristik relai arus lebih menggunakan alat uji karakteristik proteksi yang tersedia di Lab POLBAN. Tujuan dilakukannya pengujian karakteristik untuk melihat perbandingan waktu kerja relai saat pengujian dengan hasil perhitungan yang didapat.



Gambar 9. Pengujian Menggunakan Alat Uji Karakteristik

Tabel 1. Pengujian Karakteristik *Standard Inverse*

Iset (A)	TM S	Ifault It (A)	Ifault/Iset (A)	Pengujian t (s)	Perhitungan t (s)
1	0.5	1.5	1.5	8.25	8.597
1	0.5	2	2	5	5.015
1	0.5	2.5	2.5	3.9	3.785
1	0.5	3	3	3.1	3.151
1	0.5	3.5	3.5	2.85	2.759
1	0.5	4	4	2.5	2.490
1	0.5	4.5	4.5	2.35	2.292
1	0.5	5	5	2.2	2.140
1	0.5	5.5	5.5	2.1	2.018
1	0.5	6	6	1.925	1.919
1	0.5	6.5	6.5	1.85	1.835
1	0.5	7	7	1.8	1.764
1	0.5	7.5	7.5	1.7	1.702
1	0.5	8	8	1.625	1.648
1	0.5	8.5	8.5	1.525	1.601
1	0.5	9	9	1.475	1.558
1	0.5	9.5	9.5	1.45	1.520
1	0.5	10	10	1.437	1.485

Perhitungan dari waktu operasi *standard inverse* didapat dari persamaan berikut;

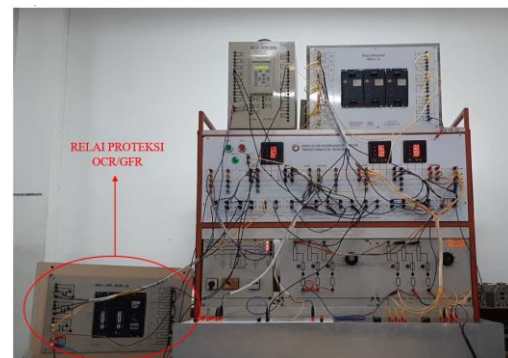
$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{Set}}\right)^{0,02}-1} \times TMS$$

Berdasarkan tabel 1 pada hasil pengujian karakteristik *standard inverse* menunjukkan perbandingan waktu pemutusan saat

pengujian dengan hasil perhitungan terdapat selisih yang tidak begitu jauh berbeda. Selisih tersebut dapat terjadi dikarenakan salahnya pengukuran atau performa dari relai arus lebih yang sudah menurun.

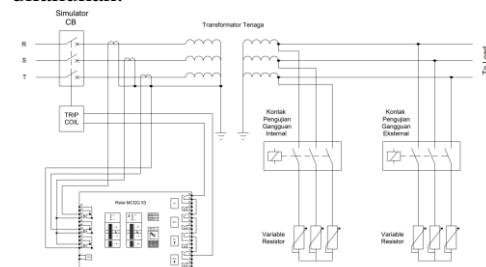
4.3 Pengujian Relai Arus Lebih Pada Simulator

Pengujian relai arus lebih pada simulator dilakukan untuk mengetahui operasi kerja relai arus lebih terhadap gangguan yang disimulasikan dan koordinasi dengan relai pengaman yang lainnya. Simulasi gangguan yang dilakukan yaitu gangguan hubung singkat di internal dan eksternal trafo.



Gambar 10. Pengujian Relai Arus Lebih pada Simulator

Simulasi gangguan hubung singkat internal dilakukan di belitan trafo pada daerah pengaman utama differensial, sedangkan untuk gangguan hubung singkat eksternal dilakukan pada bagian paling hilir jaringan mendekati beban. Pada gambar 11 memperlihatkan rangkaian pengujian yang dilakukan.



Gambar 11. Rangkaian Pengujian

Pada pengujian, arus beban yang ditentukan untuk simulasi kondisi normal yaitu sebesar 1 A. Arus setting OCR/GFR di set berdasarkan data arus yang mengalir pada primer trafo, dikarenakan relai arus lebih dipasang pada sisi primer trafo. Pada tabel 2 menyajikan data arus yang mengalir pada primer trafo.

Tabel 2. Arus Kondisi Normal Sisi Primer Trafo Tenaga

Arus Penghantar Fasa R (A)	Arus Penghantar Fasa S (A)	Arus Penghantar Fasa T (A)
0.7	0.7	0.73

4.4 Hasil Pengujian OCR dan GFR pada Simulator

Pada penyetingan OCR agar menjadi backup untuk pengaman utama differensial, setting dibuat berdasarkan data dari gangguan hubung singkat internal dua fasa dengan waktu pemutusan yang diinginkan 0,4 detik. Sedangkan pada penyetingan GFR, setting dibuat berdasarkan data dari gangguan hubung singkat internal satu fasa ke tanah dengan waktu pemutusan 0,4 detik.

Arus setting OCR di set pada 0,75 A dengan TMS 0,05 (SI). Arus setting GFR di set pada 0,5 A dengan TMS 0,025 (SI).

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan waktu operasi OCR/GFR ketika disimulasikan gangguan internal.

Tabel 3. Pengujian OCR Pada Gangguan Internal

Jenis Gangguan	TMS (SI)	Iset (A)	Ifault (A)	Ifault/Iset (A)	t (s)
Hubung singkat Tiga Fasa	0.05	0.75	2.43	3.24	0.3
Hubung Singkat Dua Fasa	0.05	0.75	2.22	2.96	0.34

Tabel 4. Pengujian GFR Pada Gangguan Internal

Jenis Gangguan	TMS (SI)	Iset (A)	Ifault (A)	Ifault/Iset (A)	t (s)
HS Satu Fasa-Tanah	0.025	0.5	0.75	1.5	0.45

Pengujian gangguan hubung singkat di internal dilakukan untuk melihat waktu kerja dari relai arus lebih. Dikarenakan OCR/GFR sisi primer trafo berkedudukan sebagai pengaman cadangan maka waktu pemutusan ketika terjadi gangguan internal harus lebih lambat dari pengaman utama.

Selanjutnya pada gangguan eksternal dilakukan untuk melihat koordinasi antara kerja pengaman differensial dengan relai arus lebih. Pada simulasi gangguan ini pengaman utama differensial tidak akan bekerja dikarenakan gangguan dilakukan diluar daerah pengaman utama, maka dalam

mengisolasi gangguan di eksternal trafo, relai arus lebih yang akan bekerja.

Tabel 4. Pengujian OCR Pada Gangguan Eksternal

Jenis Gangguan	TMS (SI)	Iset (A)	Ifault (A)	Ifault/Iset (A)	t (s)
Hubung singkat Tiga Fasa	0.05	0.75	0.94	1.25	1.6

Tabel 6. Perbandingan Waktu Operasi Relai Proteksi

Relai Proteksi	Karakteristik Pemutusan	Jenis Gangguan Internal	Waktu Operasi (ms)	Keterangan
Pengaman Utama	<i>Instantaneous</i>	HS Tiga Fasa	<25	Relai Differensial Bekerja
Pengaman Utama	<i>Instantaneous</i>	HS Dua Fasa	<25	Relai Differensial Bekerja
Pengaman Utama	<i>Instantaneous</i>	HS Satu Fasa Tanah	<25	Relai Differensial Bekerja
OCR/GFR	<i>Standard Inverse</i>	HS Tiga Fasa	300	OCR Bekerja
OCR/GFR	<i>Standard Inverse</i>	HS Dua Fasa	340	OCR Bekerja
OCR/GFR	<i>Standard Inverse</i>	HS Satu Fasa	450	GFR Bekerja

Pada tabel 6 menyajikan data perbandingan waktu operasi dari pengaman utama dan OCR/GFR berdasarkan dari pengujian gangguan internal yang dilakukan. OCR/GFR sisi primer trafo sebagai pengaman cadangan bekerja dengan waktu pemutusan yang lebih lambat dari pengaman utama differensial. Dikarenakan hal tersebut maka OCR/GFR akan bekerja mengisolasi gangguan di internal hanya ketika pengaman utama mengalami kegagalan fungsi.

5. KESIMPULAN

Dalam rancang bangun proteksi arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah pada simulator koordinasi proteksi trafo tenaga, relai arus lebih sisi primer trafo tenaga bekerja sebagai pengaman cadangan sesuai dengan rancangan yang dibuat. Pada alat simulator koordinasi proteksi transformator tenaga, OCR/GFR yang terpasang pada sisi primer trafo digunakan sebagai proteksi terhadap arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah. Dalam penyetingan relai arus lebih sisi primer trafo haruslah diperhatikan karena sebagai pengaman cadangan, relai arus lebih tidak boleh bekerja lebih cepat dari pengaman utama ketika terjadi gangguan hubung singkat di internal trafo. Dari hasil pengujian, relai

arus lebih tersebut bekerja dengan waktu pemutusan yang lebih lambat dari pengaman differensial ketika dilakukan simulasi gangguan di internal. Sebagai pengaman cadangan trafo tenaga, OCR/GFR sisi primer trafo hanya akan bekerja ketika pengaman utama mengalami kegagalan fungsi dalam mengisolasi gangguan hubung singkat di internal trafo. Relai arus lebih ini pun bekerja ketika dilakukan simulasi gangguan hubung singkat di eksternal trafo yang dimana pengaman differensial tidak dapat mengisolasi terhadap gangguan di eksternal trafo.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022 kelompok A1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. Sunaya and I. G. S. Widharma, "Analisis Koordinasi *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* Terhadap Keandalan Sistem," *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, vol. 3, no. 1, pp. 30-40, 2020.
- [2] F.J. Tasiem, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosain, 2017.
- [3] G. P Arka, N. Mudiana, and G. K. Abasana, "Analisis arus gangguan hubung singkat pada penyulang 20 KV dengan *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR)," *Jurnal Logic*, vol 16, no. 1, pp. 46-52, 2017.
- [4] S. Sampeallo, N. Nursalim, and P. J. Fischer, "Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok PT. Smse (Ipp) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6.0," *Jurnal Media Elektro*, pp. 76-85, 2019.
- [5] R. A. Yani and D. E. Putra, "Analisis Proteksi Gangguan Arus Lebih Pada Transformator Daya Di PT. Pupuk Sriwidjaja (Persero) Palembang," *Jurnal Teknik Elektro*, vol 8, no. 1, pp. 35-42, 2018.
- [6] E. Dermawan and D. Nujagroho, "Analisa koordinasi *over current relay* dan *ground fault relay* di sistem proteksi *feeder* gardu induk 20 kV Jababeka," *eLEKTUM*, vol. 14, no. 2, pp. 43-48, 2017.