

Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Gangguan Frekuensi

Reisa Asylla Makmur¹, Suriadi², Syahrizal³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Banda Aceh, 23111, Indonesia

¹reisa.am@mhs.usk.ac.id

²suriadimali@usk.ac.id

³syahrizal.ee@usk.ac.id

Abstrak— Komponen pembangkit sering menghadapi gangguan yang mengakibatkan pembangkit tidak mampu bekerja sebagaimana mestinya. Gangguan dapat terjadi secara bersamaan disebabkan oleh beberapa komponen pembangkit yang besar, maka daya yang tersedia pada sistem akan mengalami pengurangan sedemikian besarnya, kemudian akan membuat sistem tidak mampu menanggapi beban. Sehingga, perancangan suatu sistem tenaga listrik sangat memerlukan pertimbangan yang optimal serta kondisi lapangan yang bisa terjadi gangguan, baik secara faktor luaran juga faktordalam suatu sistem tenaga listrik. Gangguan tersebut dapat diminimalisir dengan menggunakan hasil studi analisis. Relai frekuensi dapat didefinisikan sebagai relai yang beroperasi ketika frekuensi sistem melebihi nilai yang telah ditentukan. Menurut American National Standard Institute (ANSI) dan Standar IEEE (ANSI/IEEE C37.2), relai frekuensi ditetapkan dengan nomor perangkat 81. Relai ini beroperasi ketika frekuensi sistem kurang dari atau melebihi nilai yang telah ditentukan. Relai frekuensi memiliki dua jenis yang dikenal sebagai relai frekuensi bawah dan relai frekuensi lebih.

Kata Kunci— Gangguan, pembangkit, proteksi, relai frekuensi

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik mempunyai komponen pembangkit yang memiliki tugas mampu menyuplai daya agar beban dapat terlayani. Setiap periode komponen pembangkit terjadi gangguan sehingga tidak mampu beroperasi. Ketika beberapa komponen pembangkit yang besar terjadi gangguan dan mengalami secara bersamaan, maka akan terdapat kemungkinan bahwa daya yang tersedia dalam sistem mengalami pengurangan sedemikian besarnya kemudian sistem tidak mampu mengimbangi beban [1].

Berdasarkan Standar ANSI atau IEEE Nomor 100 tahun 1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisik yang disebabkan oleh peralatan, komponen, atau komponen yang tidak dapat bekerja sesuai fungsinya. Salah satu bentuk gangguan yang terjadi adalah gangguan hubung singkat, gangguan tiga fasa, gangguan fasa ke fasa, atau gangguan fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat memang kecil, tetapi akan mempengaruhi sistem distribusi tenaga listrik. Mengingat jika sistem terganggu (operasi abnormal), sistem tenaga listrik harus dapat memprediksi kondisi abnormal, dan peralatan keselamatan (proteksi) harus diperhatikan untuk

mencegah gangguan sedini mungkin dan menempatkan area gangguan seminimal mungkin [2].

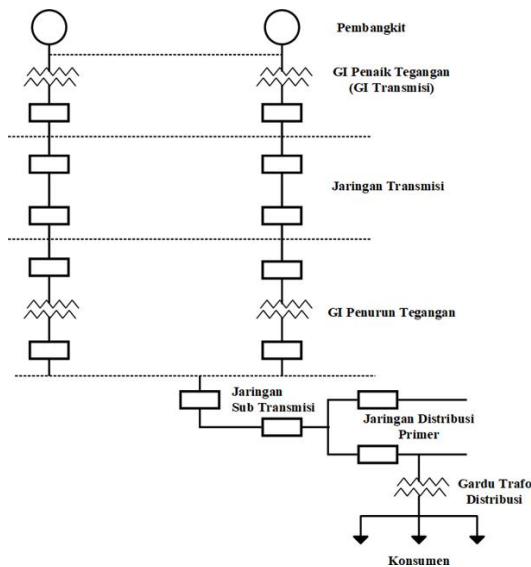
Penelitian mengenai kinerja sistem proteksi pernah ada dilakukan dan terdapat riset yang berada di daerah luar. Berdasarkan penelitian [3] untuk menentukan kuantitas gangguan dan keandalan sistem proteksi area trafo tenaga yang akan diperoleh persentase gangguan yang mempengaruhi sistem proteksi yang terdapat pada gangguan non teknis dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Penelitian [4] untuk mengetahui kinerja relai SPAJ 140 C sebagai relai cadangan dalam melindungi transformator. Jika terdapat gangguan maka akan berdampak pada kinerja OCR. Semakin besar nilai gangguan yang terjadi maka OCR akan semakin cepat bekerja. Sebaliknya, semakin kecil nilai interferensi, semakin lama waktu kerja OCR. Penelitian [5] berfokus pada pencegahan terjadinya gangguan dengan mengoptimalkan setting relai pada jaringan transmisi, yang mana akan ada perubahan nilai aliran daya yang terjadi disistem.

Pada jurnal [6] yang menganalisis data gangguan sistem tenaga dari alat perekam dinamis di Northfield pada sistem tenaga listrik New England AS dan fitur-fiturnya diekstraksi. Dengan menggunakan metode klasifikasi untuk mengidentifikasi gangguan tersebut. Pada jurnal [7] yang mempelajari tentang pengaruh peralatan listrik dan gangguan frekuensi yang disebabkan oleh gangguan Line to Line pada sistem tenaga listrik. Dengan mengambil situasi aktual Metropolitan Electricity Authority (MEA) pada saluran transmisi listrik 115 V.

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu induk PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh, yang mana penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem proteksi yang diakibatkan oleh gangguan frekuensi sistem, maka dari itu penulis mengangkat judul “Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Gangguan Frekuensi”.

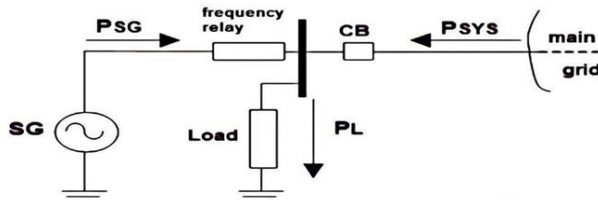
Terdapat beberapa jenis gangguan terhadap sistem kelistrikan salah satunya ialah gangguan frekuensi yang mana jika dibiarkan dapat menyebabkan blackout sehingga akan merugikan, hal ini dapat dicegah dengan memiliki kinerja sistem proteksi yang baik. Salah satunya dengan penggunaan *under frequency relay* yang dapat mendeteksi penurunan frekuensi pada sistem.

Berikut diagram sistem proteksi terhadap gangguan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram sistem proteksi terhadap gangguan

Pada Gambar 1 di atas menunjukkan diagram bagaimana sistem proteksi terhadap gangguan. Dan untuk memberikan kinerja terbaik pada sistem, pengaturan UFR (Under Frequency Relay) diperlukan. Terdapat beberapa parameter yang diperlukan frekuensi kerja relai, waktu kerja relai, dan sistem pemutus tenaga. Relai frekuensi telah diakui sebagai salah satu perangkat paling sensitif dan ekonomis yang digunakan untuk teknik pendeteksian. Namun, pengaturan relai ini harus dipilih dengan cermat untuk menghindari kesalahan saat trip seperti pada Gambar 2.



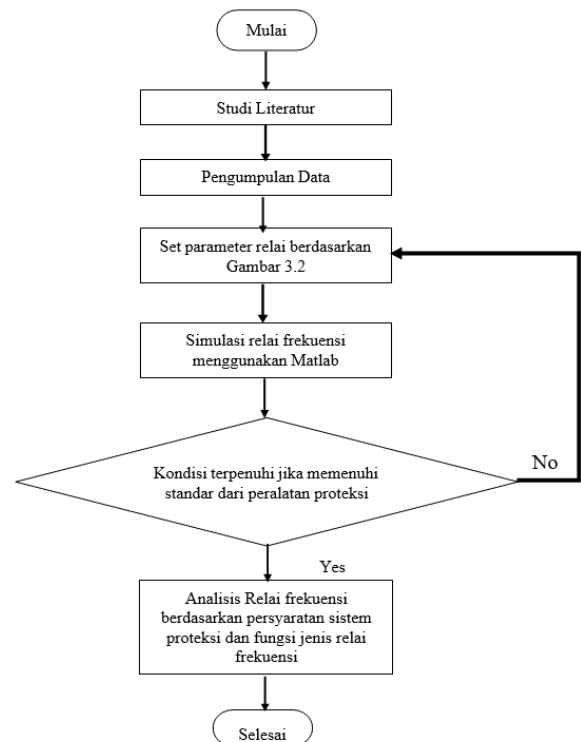
Gambar 2. Rangkaian ekivalen generator terdistribusi relai frekuensi

Sinyal input dan blok perhitungan frekuensi tergantung pada algoritma yang berbeda yang digunakan oleh relai untuk mengukur frekuensi. Biasanya, relai frekuensi menghitung frekuensi sistem dengan mempertimbangkan jendela pengukuran selama beberapa siklus dan sinyal yang dihasilkan diproses oleh filter [7].

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan penelitian yang telah dilakukan. Penelitian dimulai dari tahap pengambilan data pada PT. PLN UPT Banda Aceh. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur Penelitian

B. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat yang dibutuhkan meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), sebagai berikut:

- Laptop dengan spesifikasi yang cukup untuk bisa menjalankan Microsoft word.
- Aplikasi Matlab R2020a untuk simulasi data yang telah dikumpulkan pada saat penelitian.

Bahan penelitian yang dibutuhkan adalah data SLD (*Single Line Diagram*), data gangguan, data beban dan data relai PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh. Data yang diperoleh kemudian disimulasikan pada aplikasi matlab R2020a untuk menganalisis relai frekuensi.

C. Data Studi

Adapun data-data trafo, tegangan, serta beban yang digunakan dalam penelitian ini dideskripsikan pada Tabel I, sedangkan Tabel II menggambarkan *setting* rele frekuensi.

TABEL I
DATA TRAFU DAYA

No.	Trafo Daya (60 MVA)	Tegangan (kV)	Beban (MW)
1	TD 1	20.76	23.60
2	TD 2	21.00	19.60
3	TD 3	21.00	24.62

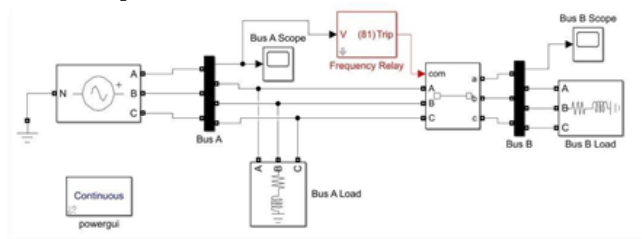
TABEL II
DATA SETTING RELE FREKUENSI

Tegangan	Data Peralatan Proteksi		Setting
	Peralatan	Kode	
20.76	Relay	81 O/U	Under Frequency: 47.5 Hz (90%)
			Over Frequency: 52.5 Hz (105%)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Desain Simulasi

Berikut merupakan hasil simulasi gangguan frekuensi yang dirancang untuk menganalisis relai frekuensi. Berdasarkan simulasi yang terdapat pada Gambar 4, terlihat simulasi dengan software MATLAB R2020a yang menggunakan relai frekuensi tipe 81u.



Gambar 5. Rancangan relai frekuensi menggunakan Matlab simulink

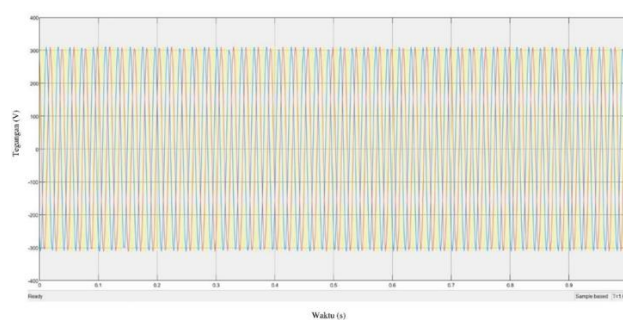
Pada Gambar 5, terlihat bahwa model ini berisi sumber tegangan tiga fasa yang dapat diprogram pada bagian three phase programmable voltage source data pertama terdiri dari amplitudo tegangan urutan positif, sudut, dan frekuensi dengan masing-masing nilai sebesar 380 V untuk amplitudo, dengan sudut dan frekuensi yang digunakan sebesar 0° dan 50 Hz. Kemudian parameter kedua terdiri dari variasi waktu dari berbagai parameter, untuk memodelkan relai frekuensi yang akan memiliki variasi dalam hal frekuensi. Sedangkan untuk tipe variasi menggunakan step. Selanjutnya banyak variasi dalam besaran frekuensi yang akan disimulasikan dengan menggunakan -2.5 Hz, kemudian penurunan frekuensi dimulai dari 0.1 s sampai 0.5 s.

B. Pengujian Simulasi

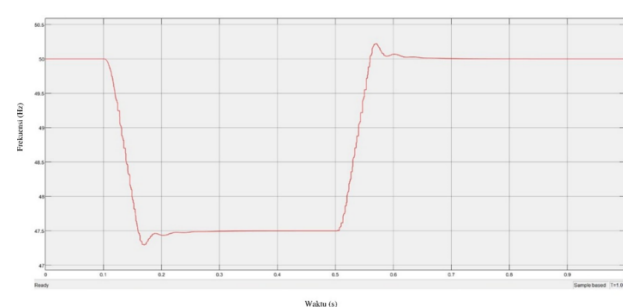
Dalam Pengujian simulasi ini dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2020a, dimana setiap tahapan atau langkah untuk kinerja sistem proteksi dan kesesuaian persyaratan proteksi oleh gangguan frekuensi sistem yang dilakukan sudah terdapat pada software ini. Berikut hasil pengujian dari hasil desain dengan data yang telah diinput.

Berdasarkan hasil pengujian simulasi pada Gambar 6 tegangan fasa yang digunakan sebesar 220 V menunjukkan tegangan lebih tinggi dari 220 V, hal tersebut dikarenakan scope ini mengukur tegangan puncak. Sedangkan 220 V adalah tegangan RMS, maka tegangan puncak 220 V adalah 311 V. Untuk ruang lingkup di Bus 2 agar memeriksa tegangannya yang menunjukkan bahwa relay under frequency telah

berhasil dioperasikan dan memutus beban. Kemudian batas variasi 5% berarti frekuensi 47.5 Hz.



Gambar 6. Hasil pengujian simulasi relai frekuensi



Gambar 7. Hasil pengujian simulasi pada sub sistem relai frekuensi

Berdasarkan hasil pengujian simulasi pada Gambar. 7 frekuensi yang dicapai 47.5 Hz dapat dicatat lebih lanjut bahwa relai frekuensi beroperasi ketika frekuensi sistem turun 48 Hz, dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai frekuensi 48 Hz membutuhkan 0.16 detik. Ketika menggunakan variasi waktu 0.1 detik dan 0.5 detik, untuk variasi waktu 0.5 detik frekuensi sistem kembali ke nilai aslinya yaitu 50 Hz.

C. Kinerja Sistem Proteksi PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh

Setelah Rele dinyatakan memiliki keandalan apabila persentase keandalan mencapai 90%- 100%. Persentase kinerja proteksi PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh 2015-2020 dihitung menggunakan persamaan deskripsi persentase kinerja proteksi seperti pada persamaan 1.

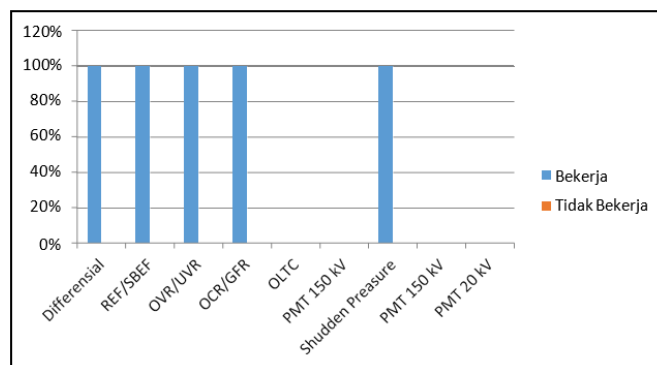
$$DPv = \frac{np}{Np} \times 100\% \quad (1)$$

Untuk persentase kinerja relai di PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh tahun 2015-2020 diunjukkan pada Table III. Grafik persentase kinerja relai di PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh tahun 2015-2020 dapat dilihat pada Gambar 7.

Relai proteksi yang bekerja adalah Relai differensial, Relai REF/SBEF, Relai OVR/UVR, Relai OCR/GFR, dan Relai Shudden Pressure. Semua relai bekerja sebanyak jumlah gangguan dengan persentase 100% untuk masing-masing relai. Pada trafo tenaga memiliki keandalan kinerja sistem proteksi terhadap gangguan yang terjadi yaitu sebanyak 11 kali dengan 100% dari jumlah sistem proteksi.

TABEL III
PERSENTASE KINERJA RELAI DI PT.PLN (PERSERO) UPT BANDA ACEH TAHUN 2015-2020

No	Relay Proteksi	Kinerja Relay Proteksi		Jumlah Gangguan	Persentase Kinerja Relay (%)
		Bekerja	Tidak Bekerja		
1	Differensial	3	-	3	100
2	REF/SBEF	4	-	4	100
3	OVR/UVR	1	-	1	100
4	OCR/GFR	2	-	2	100
5	OLTC	-	-	-	-
6	PMT 150 kV	-	-	-	-
7	Shudden Pressure	1	-	1	100
8	PMT 150 kV	-	-	-	-
9	PMT 20 kV	-	-	-	-
Jumlah		11	-	11	100



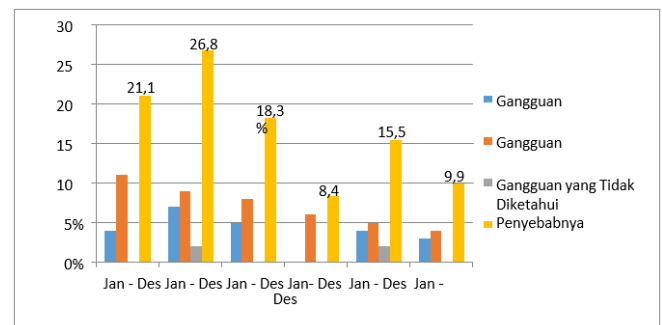
Gambar 8. Grafik persentase kinerja relai di PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh tahun 2015-2020

D. Penyebab Gangguan

Banyaknya gangguan yang terjadi pada area trafo tenaga di PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh yang dapat menyebabkan sistem proteksi bekerja, seperti yang digambarkan pada tabel IV untuk tahun 2015-2020.

Grafik persentase gangguan yang terjadi pada area trafo tenaga di PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh tahun 2015-

2020 dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan Gambar. 9 Penyebab gangguan yang terjadi pada area trafo di gardu Induk 150 kV Banda Aceh dikelompokkan menjadi 3 jenis gangguan yaitu berdasarkan gangguan teknis, gangguan nonteknis, dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Yang mana pada tahun 2015 terjadi 4 kali gangguan secara teknis, 11 kali gangguan secara nonteknis. Pada tahun 2016 terjadi 7 kali gangguan secara teknis, 9 kali gangguan secara nonteknis dan 2 kali gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Pada tahun 2017 terjadi 5 kali gangguan secara teknis, dan 8 kali gangguan secara nonteknis. Pada tahun 2018 terjadi 6 kali gangguan secara nonteknis yang berstatus recloser. Pada tahun 2019 terjadi 4 kali gangguan secara teknis, 5 kali gangguan secara nonteknis dan 2 kali gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Pada tahun 2020 terjadi 3 kali gangguan secara teknis, dan 4 kali gangguan secara nonteknis.



Gambar 9. Grafik persentase gangguan yang terjadi pada area trafo tenaga di PT.PLN (Persero) UPT Banda Aceh tahun 2015-2020

E. Penyetelan Relai Frekuensi

Relai frekuensi berfungsi dapat mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar nilai yang diperbolehkan. Ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting* yang ditentukan, relai akan bekerja dalam waktu 0,5 detik. Diketahui bahwa $f_n = 50$ Hz, dan $V = 380$ Volt. Untuk *under frequency*, maka nilai waktu seketika dihitung dengan menggunakan persamaan 2, sehingga didapatkan 19 V, dan didapatkan *Voltage Level Cutoff* sebesar $380 - 19 = 361$ V.

$$\text{Voltage Level Cutoff} = 0.05 \times \text{Rated} \quad (2)$$

TABEL IV
GANGGUAN PADA SISTEM PROTEKSI DI PT.PLN (PERSERO) UPT BANDA ACEH TAHUN 2015-2020

No.	Tahun	Penyebab Gangguan			Jumlah Gangguan				
		Teknis	Non Teknis	Tidak Di-ketahui	PHT	TD	KPL	Kali	%
1	Januari-Desember 2015	4	11	-	10	5	-	15	21.1
2	Januari-Desember 2016	7	9	2	13	6	-	19	26.8
3	Januari-Desember 2017	5	8	-	10	1	2	13	18.3
4	Januari-Desember 2018	-	6	-	6	-	-	6	8.4
5	Januari-Desember 2019	4	5	2	9	2	-	11	15.5
6	Januari-Desember 2020	3	4	-	4	4	-	7	9.9
Jumlah Gangguan								71	100

Untuk mengetahui frekuensi pada saat tegangan level terendah maka digunakan persamaan 3 dan penyelesaian dibawah ini, sehingga dengan $n = 120f/p$ didapatkan frekuensi sebesar 47.5 Hz. Berdasarkan perhitungan tersebut, maka perhitungan setting untuk relay dengan *under frequency* dapat dilihat pada table V.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

$$\frac{3.000}{n_2} = \frac{380}{361}$$

$$n_2 = \frac{3000 \times 361}{380}$$

$$n_2 = 2.850 \text{ rpm}$$

$$f = \frac{n_2 \times p}{120} = \frac{2850 \times 2}{120} = \frac{5700}{120} = 47.5 \text{ Hz}$$

TABEL V
PERHITUNGAN SETTING RELAI UNDER FREQUENCY

No.	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1	47.5	0.5
2	47	0.5
3	46.5	0.5
4	46	0.5

Untuk *over frequency*, maka nilai waktu seketika dihitung dengan menggunakan persamaan 4, sehingga didapatkan 19 V, dan didapatkan *Voltage Level Cutoff* sebesar $380 + 19 = 399$ V. Dengan menggunakan persamaan 3, maka didapatkan frekuensi pada saat tegangan level terendah adalah 52.5 Hz.

$$\frac{3.000}{n_2} = \frac{380}{361}$$

$$n_2 = \frac{3000 \times 399}{380}$$

$$n_2 = 3.150 \text{ rpm}$$

$$f = \frac{n_2 \times p}{120} = \frac{3150 \times 2}{120} = \frac{6300}{120} = 52.5 \text{ Hz}$$

TABEL VI
PERHITUNGAN SETTING RELAI OVER FREQUENCY

No.	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)
1	52,5	0,5
2	43	0,5
3	43,5	0,5
4	54	0,5

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pada pemodelan sistem tiga fasa dengan variasi frekuensi yang digunakan -2.5 Hz didapatkan frekuensi 47,5 Hz dan kembali menjadi 50 Hz pada 0.5 s. Hasil simulasi dan perhitungan sesuai dengan ketentuan, waktu yang digunakan sistem proteksi untuk mengembalikan frekuensi sistem sebesar 0.5 s. Sistem proteksi pada area trafo tenaga dari tahun 2015-2020 memiliki keandalan dengan predikat cukup baik dalam mengatasi kuantitas gangguan.

REFERENSI

- [1] Marsudi and Djiteng. Operasi Sistem Tenaga Listrik. 3rd ed. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2016.
- [2] IEEE. Standard Definitions for Power Switchgear. C37.100-19. 1992.
- [3] Desember J, Aryanto T, Sunardiyo S, Proteksi APS. Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi Di Gardu Induk 150 KV Jepara. J Tek Elektro Unnes. 2013;5(2).
- [4] Panjaitan susi imalawati, Mujahidin M, Pramana R. Studi Pengaruh Beban Lebih Terhadap Kinerja Relai Arus Lebih Pada Transformator Daya (studi kasus transformator daya 1 150/20 kv (30 MVA) di Gardu Induk Batu Besar PT.PLN Batam. Stud Pengaruh Beban Lebih Terhadap Kinerja Relai Arus Lebih Pada Transform Daya. 2012;1-13.
- [5] Kuncoro RD. Analisis Resetting Relay Dan Load Presentase Terhadap Pola Pelaksanaan Dan Pemeliharaan Pada Gardu Induk 150 Kv Saketi Banten. ELPOSYS J Sist Kelistrikan. 2021;8(2):16-22.
- [6] Bykhovsky A, Chow JH. Power system disturbance identification from recorded dynamic data at the Northfield substation. Int J Electr Power Energy Syst. 2003;25(10):787-95.
- [7] Hassan AAM, Kandeel TA. Effectiveness of frequency relays on networks with multiple distributed generation. J Electr Syst Inf Technol. 2015;2(1):75-85.