

SIMULASI KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN ETAP

SIMULATION OF ELECTRIC POWER SYSTEM PROTECTION COORDINATION USING ETAP

Pertiwi Nurul Utami¹, Yonki Alexander Volta², Muhammad Hanif Fatim³

^{1) 2) 3)} Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

Alamat korespondensi: Pertiwi.nurul@polsri.ac.id

Abstrak

Sistem tenaga listrik harus sangat andal, baik dalam aspek pembangkitan, transmisi, maupun distribusi. Dengan begitu maka supply daya listrik yang menuju konsumen dapat terjamin kontinuitasnya. Salah satu cara yang bisa ditempuh adalah dengan memperhatikan proteksi sistem tenaga listrik itu sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui koordinasi peralatan proteksi sistem tenaga listrik sudah optimal atau belum. Dalam penelitian ini, metode yang diterapkan adalah simulasi menggunakan aplikasi ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) prosesnya meliputi pembuatan suatu rangkaian sistem tenaga kemudian menerapkan beberapa gangguan pada sistem tenaga tersebut selanjutnya dilakukan pengamatan pada peralatan proteksi yang ada dan analisis terhadap data daya sistem, gangguan, dan peralatan proteksi tenaga listrik. Analisis ini dilakukan dengan memperhatikan urutan kerja peralatan proteksi pada beberapa gangguan dan jugawaktu kerja peralatan proteksi tersebut. Koordinasi peralatan proteksi sistem tenaga bekerja dengan baik. Pada sistem simulasi sesuai dengan urutan kerjanya yaitu *fuse*, *recloser* dan *circuit breaker* (CB). Urutan terakhir peralatan proteksi yang bekerja adalah CB yang telah disetting pada 0,2 detik. Pada setiap simulasi gangguan, peralatan proteksi yang pertama kali bekerja adalah *fuse* di detik 10 ms. Apabila terjadi kegagalan pengamanan oleh fuse maka *recloser* akan bekerja di detik 110ms.

Kata Kunci: peralatan proteksi, *fuse*, *circuit breaker*, ETAP

Abstract

The electric power system must be very reliable, both in the aspects of generation, transmission and distribution. In this way, continuity of the electrical power supply to consumers can be guaranteed. One way that can be taken is to pay attention to the protection of the electric power system itself. This research aims to determine whether the coordination of electrical power system protection equipment is optimal or not. In this research, the method applied is simulation using the ETAP (Electric Transient Analysis Program) application. The process includes creating a power system circuit then applying several disturbances to the power system, then observing the existing protection equipment and analyzing system power data, disturbances, and electrical power protection equipment. This analysis is carried out by paying attention to the working order of the protective equipment during several disturbances and also the working time of the protective equipment. Coordination of power system protection equipment works well. In the simulation system according to the order of work, namely fuse, recloser and circuit breaker (CB). The last sequence of protective equipment that works is CB which has been set at 0.2 seconds. In each fault simulation, the first protection device to work is the fuse at 10 ms. If there is a security failure by the fuse, the recloser will work in 110ms seconds.

Keywords: protection equipment, fuse, circuit breaker, ETAP

I. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik harus sangat andal, baik dalam aspek pembangkitan, transmisi, maupun distribusi. Dengan begitu maka supply daya listrik yang menuju konsumen dapat terjamin kontinuitasnya. Salah satu cara yang bisa ditempuh adalah dengan memperhatikan proteksi sistem tenaga listrik itu sendiri. Perangkat proteksi yang dimaksud

dapat berupa relay, *fuse*, trafo instrumen, *recloser*, dan pemutus tenaga (*circuit breaker*).

Penting untuk mengetahui besarnya arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam sistem tenaga listrik dan koordinasi peralatan proteksi sebelum gangguan tersebut benar-benar

terjadi. Pengaturan peralatan proteksi dilakukan dengan menghitung arus gangguan hubung singkat.

Berdasarkan hal itulah maka dilakukan simulasi untuk mengetahui koordinasi peralatan proteksi sistem tenaga listrik sudah baik atau belum menggunakan aplikasi ETAP (*Electric Transient Analysis Program*). Dalam program ETAP, urutan kerja peralatan proteksi saat terjadi gangguan dapat diamati. Misalnya, recloser akan bekerja terlebih dahulu, diikuti oleh fuse, dan kemudian OCR pada sisi penyulang yang bertindak sebagai cadangan pengamanan jika recloser dan fuse gagal mengatasi gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa. (1)

II. Landasan Teori

A. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi adalah perangkat yang dibuat untuk mendeteksi atau mengukur adanya gangguan atau ketidaknormalan bagian dari sistem tenaga listrik. Setelah mendeteksi gangguan, relay proteksi secara otomatis memerintahkan circuit breaker (CB) untuk membuka dan memutus tegangan sehingga dapat memisahkan bagian yang mengalami gangguan. Meskipun sistem proteksi tidak mencegah terjadinya gangguan, ia bertindak untuk mengatasi dampaknya setelah gangguan terjadi. (2)(3)

Sistem proteksi harus memenuhi beberapa persyaratan untuk dapat melindungi peralatan dengan efektif. Persyaratan tersebut meliputi kepekaan, keandalan, selektifitas, dan kecepatan. (1)

B. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah kondisi yang memicu relay untuk mengaktifkan pemutus tenaga (PMT) dan menyebabkan aliran daya terputus melalui PMT tersebut. Gangguan ini ada yang berasal dari dalam sistem dan ada yang berasal dari luar sistem.

Berdasarkan durasi gangguan, gangguan dapat dibagi menjadi gangguan sementara (*Temporary*) dan gangguan permanen (*Stationary*). Gangguan sementara hanya berlangsung dalam waktu singkat sebelum sistem kembali normal. Sebaliknya, gangguan permanen adalah gangguan yang hanya bisa diatasi setelah circuit breaker (CB) dioperasikan untuk memutus area yang terdampak. Gangguan sementara yang sering terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan sistem dan berpotensi menjadi gangguan permanen karenanya. (4)(5)

Empat jenis gangguan sistem tenaga listrik yang umum terjadi, antara lain gangguan beban lebih (*overload*), gangguan tegangan lebih (*over voltage*), gangguan hubung singkat (*short circuit*), dan gangguan hubung terbuka (*open circuit*). Dalam

sistem distribusi tenaga listrik, gangguan hubung singkat dapat berupa gangguan tiga fasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, atau dua fasa ke tanah. (6)(7)

Gangguan hubung singkat atau *short circuit* adalah salah satu penyebab utama gangguan dalam sistem tenaga listrik. Terjadinya gangguan ini disebabkan oleh pertemuan dua polaritas yang menciptakan sirkuit dengan resistansi sangat rendah. Akibatnya, arus yang mengalir menjadi sangat besar, yang dapat merusak peralatan karena tegangan sistem tidak berada pada kondisi nominal. (8)

C. Peralatan Sistem Proteksi

a. Relay

Relay arus lebih adalah perangkat proteksi yang mendeteksi adanya arus lebih, baik akibat gangguan hubung singkat maupun overload. Keandalan proteksi dipengaruhi oleh koordinasi antar relay. (9)(10)

b. Recloser

Recloser merupakan rangkaian listrik yang mencakup pemutus tenaga serta memiliki kotak kontrol elektronik (*Electronic Control Box*). Kotak kontrol ini adalah peralatan elektronik yang mendukung fungsi recloser, tanpa terhubung langsung dengan tegangan menengah. (11)

c. Fuse

Fuse Cut Out (FCO) merupakan peralatan yang memutuskan rangkaian listrik berbeban pada jaringan distribusi dengan cara melelehkan bagian komponennya (*fuse link*) yang didesain dan disesuaikan ukurannya agar dapat memutuskan arus berlebih dalam waktu tertentu. (11)

d. Software ETAP

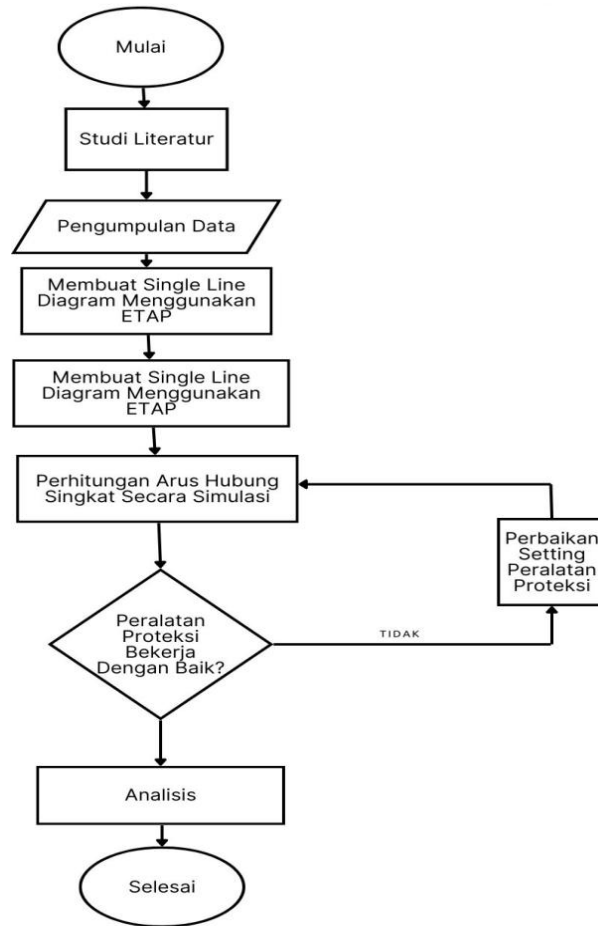
ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah aplikasi untuk mendukung sistem tenaga listrik. Jika tidak terhubung ke internet (*offline*) aplikasi ini dapat digunakan untuk mensimulasikan tenaga listrik, sedangkan jika terhubung ke internet (*online*) dapat digunakan untuk mengolah atau mengendalikan data secara langsung. Simulasi pengaturan relay menggunakan ETAP dilakukan dengan memasukkan data ke dalam diagram satu garis yang telah disiapkan, kemudian mensimulasikan gangguan hubung singkat, menghitung pengaturan relay, dan akhirnya melakukan simulasi tersebut. (12)(13)

III. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang diterapkan adalah simulasi menggunakan aplikasi

ETAP dengan cara membuat suatu rangkaian sistem tenaga kemudian menerapkan beberapa gangguan

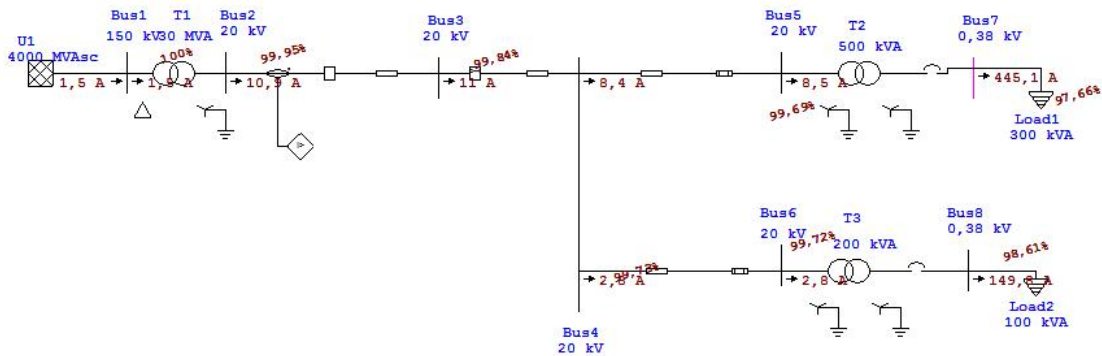
pada sistem tenaga tersebut selanjutnya dilakukan pengamatan pada peralatan proteksi yang ada dan analisis terhadap data daya sistem, gangguan, dan peralatan proteksi tenaga listrik. Diagram Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

IV. Hasil Dan Pembahasan

Sebuah sistem tenaga listrik 20kV memiliki aliran daya seperti gambar di bawah ini:

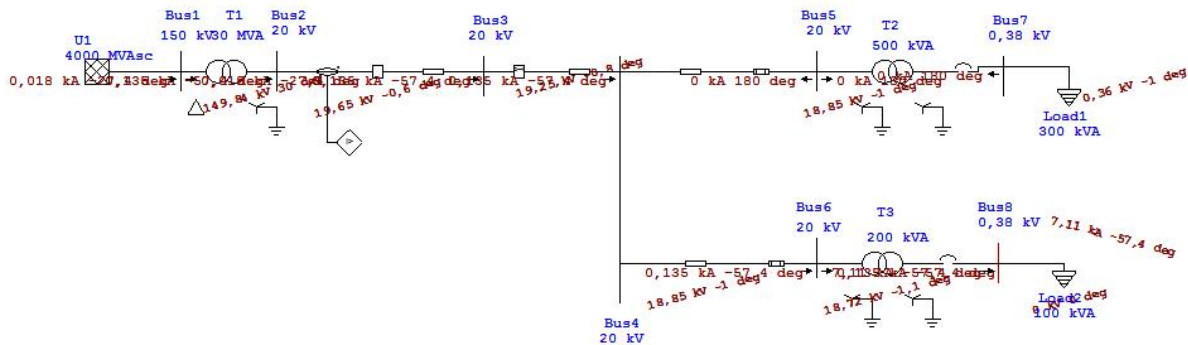


Gambar 2. Analisis Aliran Daya

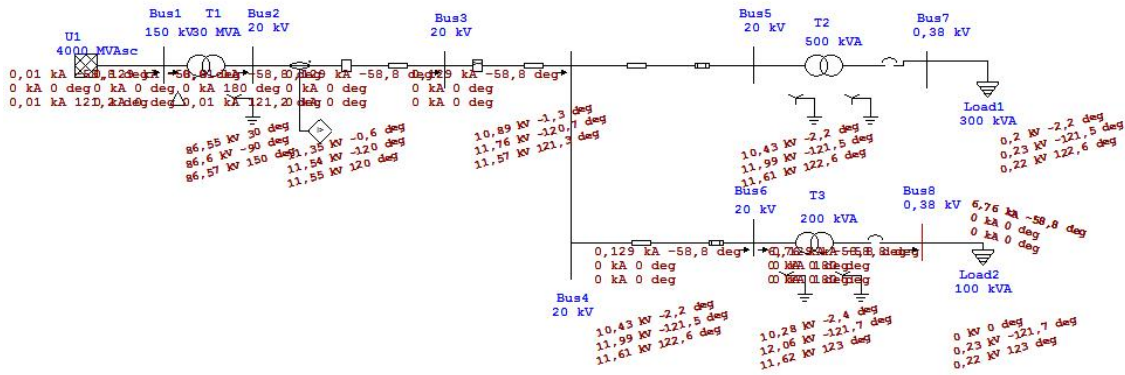
Dari Gambar 2 di atas dapat dilihat aliran daya pada Bus 1 mencapai 100%, Bus 2 mencapai 99,95%, Bus 3 mencapai 99,84%, Bus 4 mencapai 99,73%, Bus 5 mencapai 99,69%, Bus 6 mencapai 99,72%, Bus 7 mencapai 97,66% dan Bus 8 mencapai 98,61%.

A. Analisis Hubung Singkat 3 Fasa dan 1 Fasa

Hal yang perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi peralatan proteksi bekerja dengan baik atau tidak adalah dengan melakukan analisis gangguan hubung singkat baik 3 fasa maupun 1 fasa.



Gambar 3. Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa



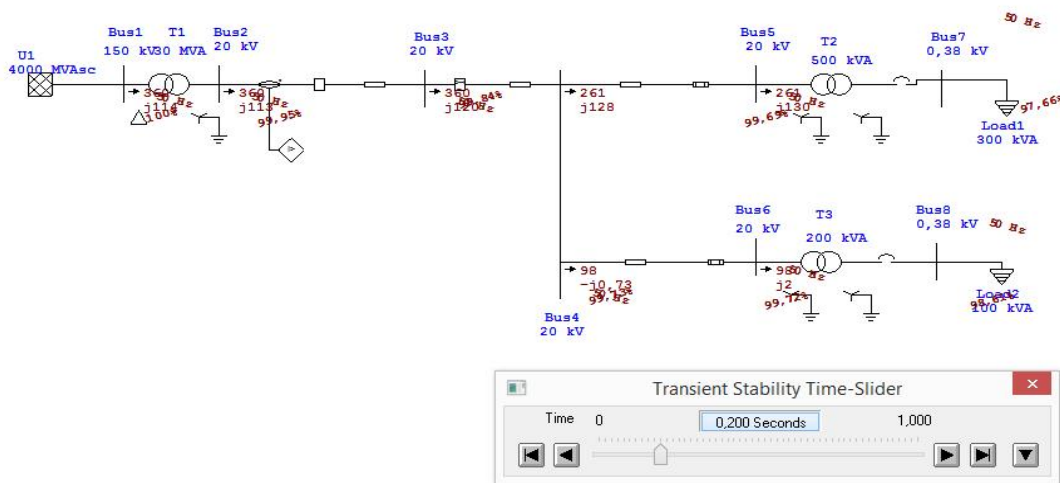
Gambar 4. Analisis Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa

Perbedaan nilai arus hubung singkat yang terjadi dapat dilihat dari Gambar 4 di atas. Arus gangguan pada beban sebesar 7,11 kA terjadi pada hubung singkat tiga fasa, sedangkan arus gangguan pada hubung singkat satu fasa adalah 6,76 kA, 0 kA, dan 0 kA pada masing-masing phasanya. Semakin banyak

jumlah phasanya, semakin besar pula arus hubung singkat yang terjadi.(14)

B. Koordinasi Peralatan Proteksi

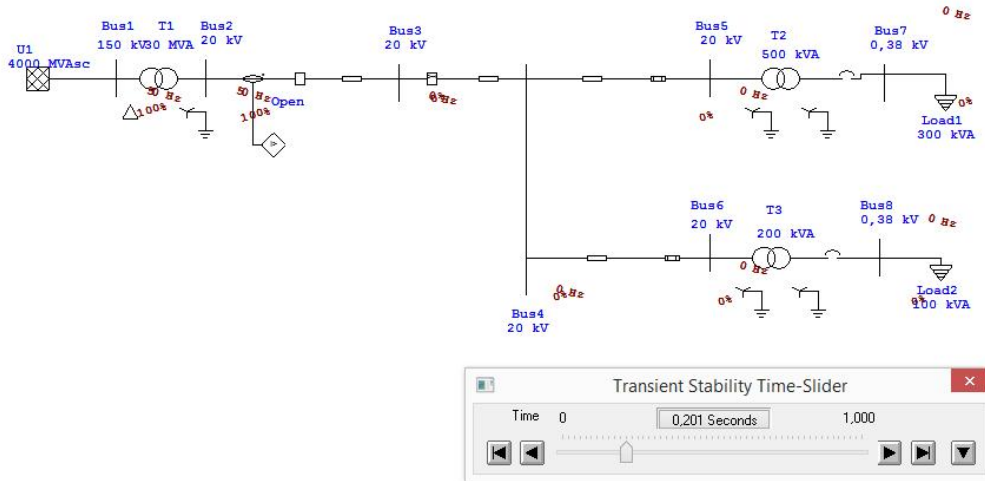
- a. Gangguan Temporer 1 Fasa di Line 3



Gambar 5. Gangguan temporer 1 fasa di line 3

Setelah dilakukan simulasi terjadinya gangguan temporer 1 fasa di line 3 menggunakan aplikasi ETAP maka selanjutnya dilakukan setting *circuit*

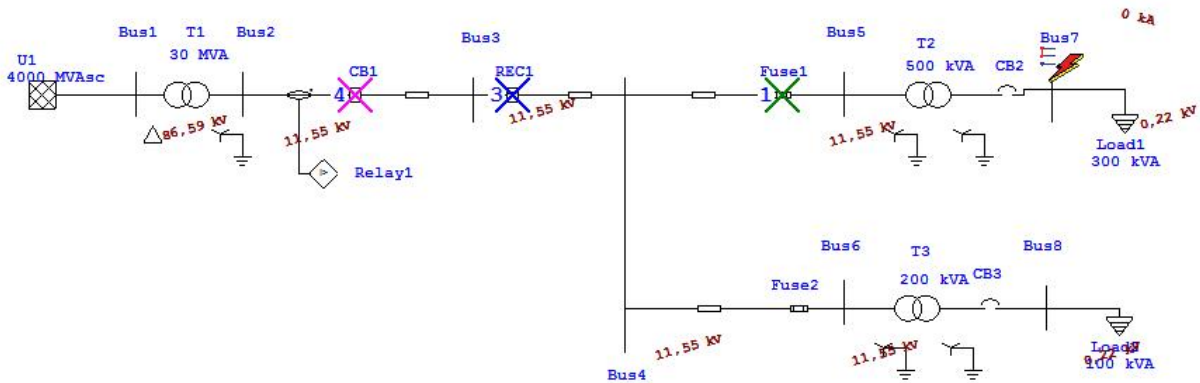
breaker (CB) agar terbuka pada 0,2 detik sebagai peralatan proteksi.



Gambar 6. Setting CB terbuka pada 0,2 detik

Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa ketika CB terbuka di detik 0,2 maka di detik 0,201 CB mulai bekerja dan menyebabkan line yang menjadi daerah proteksi tidak akan mengalir arus dan tegangan.

b. Gangguan Permanent 2 fasa di bus 7



Gambar 7. Gangguan 2 fasa di bus 7

Ketika terjadi gangguan di Bus 7 maka urutan peralatan proteksi yang pertama kali bekerja adalah fuse 1, lalu disusul dengan recloser 1 dan CB 1. Hal

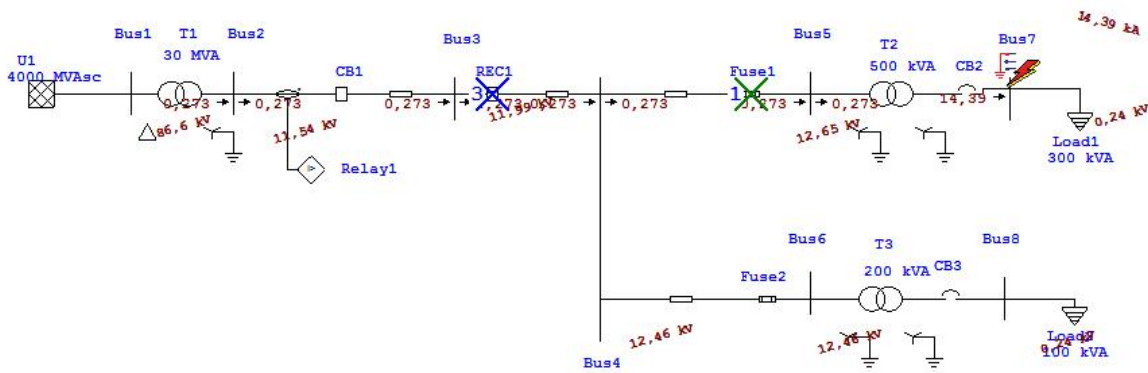
tersebut dapat dilihat dari *output report* seperti gambar di bawah ini:

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10.0	Fuse1	0.266	< 10,0		
110	REC1	0.266	50,0	110	1st Operation - Phase - Trip 1 - TOC
110	REC1	0,0	0,0		1st Recloser
181	Relay1	0,266	181		Phase - OC1 - 51
191	CB1	0,266	10,0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51
220	REC1	0,266	50,0	110	2nd Operation - Phase - Trip 1 - TOC

Gambar 8. Output report peralatan proteksi yang bekerja

Dari report tersebut dapat lihat bahwa fuse 1 akan bekerja di detik 10 ms, recloser 1 bekerja di detik 110 ms dan CB 1 bekerja di detik 191 ms. Semua peralatan bekerja dengan baik hingga arus dan tegangannya menjadi sangat kecil.

- c. Gangguan Permanent 1 fasa ke tanah di Bus 7



Gambar 9. Gangguan permanent 1 fasa ke tanah di Bus 7

Gambar 9 di atas menunjukkan bahwa saat terjadi gangguan permanent 1 fasa ke tanah pada Bus 7 urutan peralatan proteksi yang yang bekerja adalah

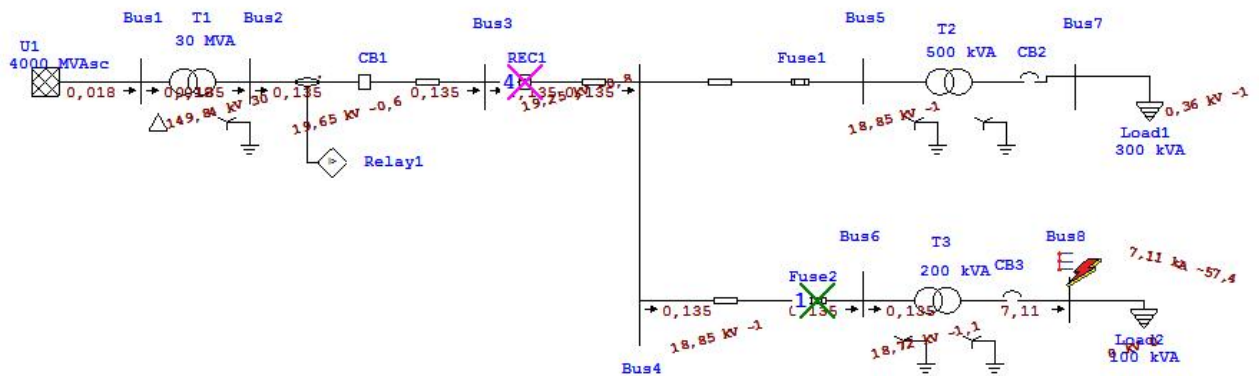
fuse 1, lalu disusul dengan recloser 1 kemudian CB 1. Hal tersebut bisa dilihat dari Gambar 10:

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Fuse1	0,273	< 10,0		
110	REC1	0,273	50,0	110	1st Operation - Ground - Trip 1 - TOC
110	REC1	0,273	0,0		1st Recloser
113	Relay1	0,273	113		Ground - OC1 - 51
123	CB1	0,273	10,0		Tripped by Relay1 Ground - OC1 - 51
179	Relay1	0,273	179		Phase - OC1 - 51
189	CB1	0,273	10,0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51
220	REC1	0,273	50,0	110	2nd Operation - Ground - Trip 1 - TOC

Gambar 10. Output report peralatan proteksi yang bekerja

Dari report tersebut dapat lihat bahwa fuse 1 akan bekerja di detik 10 ms, recloser 1 bekerja di detik 110 ms dan CB 1 bekerja di detik 123 ms. Adanya gangguan akan memerintahkan fuse bekerja, recloser dan CB pun akan trip.(15)

d. Gangguan Permanent 3 fasa di Bus 8



Gambar 11. Gangguan permanent 3 fasa di Bus 8

Gambar 11 di atas menunjukkan bahwa pada saat terjadi gangguan permanent 3 fasa di Bus 8 maka urutan peralatan proteksi yang bekerja adalah

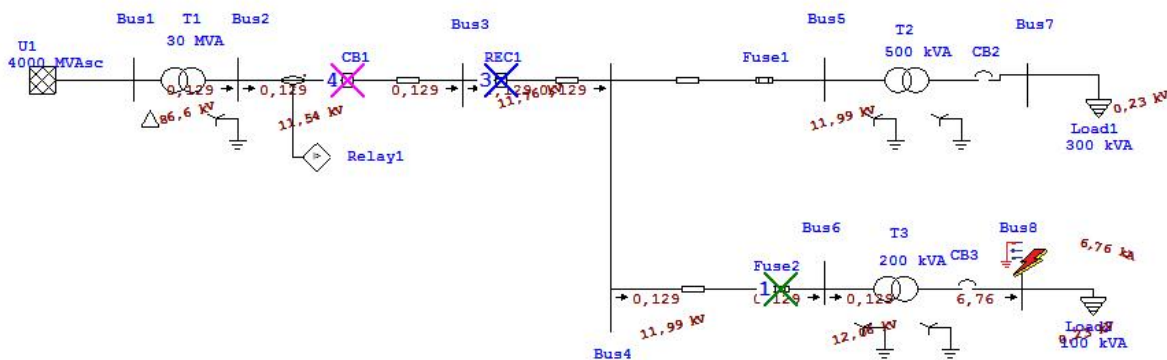
fuse 2, lalu disusul dengan recloser 1 kemudian CB 1. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 12:

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Fuse2	0,135	< 10,0		
110	REC1	0,135	50,0	110	1st Operation - Phase - Trip 1 - TOC
110	REC1	0,0	0,0		1st Recloser
220	REC1	0,135	50,0	110	2nd Operation - Phase - Trip 1 - TOC
284	Relay1	0,135	284		Phase - OC1 - 51
294	CB1	10,0	10,0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51

Gambar 12. Output report peralatan proteksi yang bekerja

Dari report tersebut dapat lihat bahwa fuse 2 akan bekerja di detik 10 ms, recloser 1 bekerja di detik 110 ms dan CB 1 bekerja di detik 294 ms.

e. Gangguan Permanent 1 Phasa Ke Tanah Di Bus 8



Gambar 13. Gangguan permanent 1 phasa ke tanah di Bus 8

Gambar 13 di atas menunjukkan bahwa pada saat terjadi gangguan permanent 1 phasa ke tanah di Bus 8 maka urutan peralatan proteksi yang

bekerja adalah fuse 2, lalu disusul dengan recloser 1 kemudian CB 1. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 14:

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10,0	Fuse2	0,129	< 10,0		
110	REC1	0,129	50,0	110	1st Operation - Ground - Trip 1 - TOC
110	REC1	0,0	0,0		1st Recloser
113	Relay1	0,129	113		Ground - OC1 - 51
123	CB1	0,0	10,0		Tripped by Relay1 Ground - OC1 - 51
220	REC1	0,129	50,0	110	2nd Operation - Ground - Trip 1 - TOC
296	Relay1	0,129	296		Phase - OC1 - 51
306	CB1	0,0	10,0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51

Gambar 14. Output report peralatan proteksi yang bekerja

Dari *report* tersebut dapat dilihat bahwa *fuse* 2 akan bekerja di detik 10 ms, *recloser* 1 bekerja di detik 110 ms dan CB 1 bekerja di detik 123 ms. Peningkatan 0,3 - 0,5 detik disesuaikan pada puncak setiap perangkat proteksi sesuai dengan standar IEC 60225, dapat disimpulkan bahwa semua peralatan proteksi bekerja dengan baik karena memenuhi standar tersebut.(16)

V. Kesimpulan

Kesimpulan berikut dapat diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan:

1. Koordinasi peralatan proteksi sistem tenaga bekerja dengan baik. Pada sistem simulasi sesuai dengan urutan kerjanya yaitu *fuse*, *recloser* dan *circuit breaker* (CB). Urutan terakhir peralatan proteksi yang bekerja adalah CB yang telah disetting pada 0,2 detik.
2. Pada setiap simulasi gangguan, peralatan proteksi yang pertama kali bekerja adalah *fuse* di detik 10 ms. Apabila terjadi kegagalan pengamanan oleh *fuse* maka *recloser* akan bekerja di detik 110ms.

Daftar Pustaka

1. Ibrahimusa. Ganesha Ardha, Joko, Wrahatnolo. Tri, Agung. Achmad Imam. 2022. Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Brenggolo Di PT.PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare. Jurnal Teknik Elektro. Volume 12 No. 01.
2. Arif, Wi'am Rizqi Tsaniy, dan Yahya, Satria Nur. 2021. Simulasi Proteksi Transformator Daya Dengan Relai

Diferensial Dual-Bias Presentase Menggunakan Perangkat Lunak PSCAD. Vertex Elektro, Vol.13, No.01.

3. Hidayatullah. Kholid , Hartati. Rukmi Sari, dan Sukerayasa. I.W. 2019. Analisis Penentuan Setting Distance Relay Penghantar Sutt 150 kV GIS Pesanggaran – GI Pemecutan Kelod. Jurnal SPEKTRUM, Vol. 6, No. 1.
4. Irawan, Denny. Klasifikasi Gangguan Pada Saluran Transmisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Metode Kohonen. Jurnal Teknik Elektro dan Informatika.
5. Setiawati. Novie Elok, Pujiantara. Margo, Anam. Sjamsjul. 2016. Koordinasi Proteksi Directional Overcurrent Relay dengan Mempertimbangkan Gangguan Arah Arus di Pabrik PT. Petrokimia Gresik. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2.
6. K. P. P. Fajar, Andreas Dianto. 2016. Analisis Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa PT. Vico Indonesia Unit Operasi Mutiara Akibat Penambahan Generator. (Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016). Diakses dari https://repository.its.ac.id/72865/1/2212100115-Undergraduate_Thesis.pdf.
7. Saputro. Jonatan Martino Windi, Winardi. Bambang, Handoko. Susatyo. 2018 Analisis Koordinasi Proteksi Relay Ocr Dan Recloser Pada Penyulang SGN 04 Sanggrahan Menggunakan Etap 12.6.0. TRANSIENT, VOL. 7, NO. 2.

8. Purnomo, Arbiantoko Permadi. 2017. Analisis Dan Perencanaan Sistem Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya. (Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017). Diakses dari https://repository.its.ac.id/45083/1/2215105052Undergraduate_Theses.pdf.
9. Rauf, Mustari. 2021. Evaluasi Kinerja Setting Proteksi *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* Jaringan Distrbusi 20 kV pada Gardu Induk Pankkukang. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI).
10. Putra. Adhitya Indrajaya, Karnoto, Winardi. Bambang. 2017. Evaluasi Setting Relay Arus Lebih Dan Setting Relay Gangguan Tanah Pada Gardu Induk 150kV Bawen. TRANSIENT, VOL. 6, NO. 3.
11. Arif. Nurfadilla, Aksan, Hamdani. 2021. Analisis Koordinasi Recloser Dan FCO (*Fuse Cut Out*) Pada *Feeder Express Mangkutana Out* Kalaena PT. PLN (Persero) ULP Tomoni. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI).
12. Gumilang. Fajar, Purnomo. Bayu, Prakoso. Ilham Tri. 2023. Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Menggunakan Software Etap Untuk Meningkatkan Keandalan Jaringan Distribusi Listrik 20 kV Pada Perusahaan Yang Bergerak Di Bidang Pengolahan Makanan. Jurnal Teknik Elektro, Vol. 7 No. 2.
13. Saputro. Teguh Dwi, Hermawan, Handoko, Susatyo. 2015. Evaluasi Setting Relay Proteksi Generator Pada Plan PT. Petrochina International Jabung LTD. Betara Complex Development Project Menggunakan Simulasi Etap 12.6.0. TRANSIENT, VOL.4, NO. 4.
14. Juandika. Baldwin Krisna, dkk. 2023. Analisis Sistem Proteksi Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Menggunakan Aplikasi Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) Di PT. PLN (Persero) ULP Ngunut. Jurnal Teknik Elektro, Volume 12 No 02.
15. Adnanti, Afifah Noorma. 2022. Analisis Sistem Proteksi Relai Diferensial Pada Transformator Daya 60 MVA Di Gardu Induk Jajar Menggunakan Software ETAP. (Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2022). Diakses dari <https://eprints.ums.ac.id/101879/2/NASKAH%20PUBLIKASI.pdf>.
16. Laksono. Andri, Hermawan, Nugroho. Agung. 2018. Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Dan Relay Gangguan Tanah Pada Penyulang Kedonganan Dan Gardenia Gi Nusa Dua Menggunakan Etap 12.6.0. TRANSIENT, VOL. 7, NO. 1.