

# **TRAINER KIT KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK MENGGUNAKAN TEORI GRAPH**

**Urip Mudjiono<sup>1\*</sup>, Lilik Subiyanto<sup>2</sup>, Anggara Trisna Nugraha<sup>3</sup>, Hendro Agus Widodo<sup>4</sup>, Edy Prasetyo Hidayat<sup>5</sup>, Annas Singgih Setiyoko<sup>6</sup>, Joessinato Eko Poetro<sup>7</sup>, M Basuki Rahmat<sup>8</sup>, Egy Kurniawan<sup>9</sup>, Muhammad Bilhaq Ashlah<sup>10</sup>, Rama Arya Sobhita<sup>11</sup>**

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11</sup> Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
Email : urip@ppns.ac.id

## **Abstrak**

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem distribusi listrik harus memiliki keandalan yang tinggi. Untuk memperoleh tingkat keandalan yang tinggi perlu dipasang peralatan proteksi yang dapat meminimalisir terjadinya gangguan pada jaringan distribusi. Proteksi yang handal harus memiliki tingkat selektifitas, ekonomis, kecepatan bereaksi dan tingkat kepekaan yang tinggi. Peralatan proteksi digunakan sebagai perlindungan atau pengaman terhadap gangguan yang terjadi. Permasalahan yang sering terjadi dalam sistem proteksi biasanya disebabkan oleh adanya dua jaringan yang berbeda karakteristik bebannya. Dalam hal ini bisa saja terjadi perbedaan *setting over current relay* sebagai salah satu proteksi. Dalam penelitian ini akan merancang sebuah *trainer kit* koordinasi proteksi pada suatu jaringan listrik untuk menangani permasalahan koordinasinya dalam penelitian ini menggunakan teknik teori graph. Perancangan ini menggunakan *single line diagram* versi kecil yang ada pada PT. X. Penelitian ini mampu berjalan sesuai dengan rencana *trainer kit* sistem koordinasi proteksi yang ada pada sistem distribusi perusahaan. Tujuan dibuatnya alat adalah kemampuan memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang koordinasi, pengujian, validasi dan optimalisasi sistem proteksi kelistrikan secara menyeluruh.

**Kata kunci :** *trainer kit, overcurrent relay, teori graph, koordinasi proteksi*

## **Abstract**

*The power electrical distribution system is an electric power system that distributes electrical energy to consumers. The electricity distribution system must have high reliability. To obtain a high level of reliability, it is necessary to install protection equipment that can minimize the occurrence of disturbances in the distribution network. Reliable protection must have a high level of selectivity, economy, speed of reaction and sensitivity. Protection equipment is used as protection or safety against disturbances that occur. Problems that often occur in protection systems are usually caused by the existence of two networks with different load characteristics. In this case there could be a difference in the setting of the over current relay as one of the protections. In this study, we will design a protection coordination trainer kit on an electrical network to handle coordination problems in this study using graph theory techniques. This design uses a small version of the single line diagram at PT X. This research is able to run according to the plan of the protection coordination system trainer kit that exists in the company's distribution system. The purpose of making the tool is the ability to gain a better understanding of the coordination, testing, validation and optimization of the electrical protection system as a whole.*

**Keywords:** *trainer kit, overcurrent relay, graph theory, protection coordination*

## **1. Pendahuluan**

Listrik merupakan sumber tenaga energi yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini. Hampir semua peralatan menggunakan energi listrik, hal ini menyebabkan peningkatan kebutuhan pemakaian energi listrik karena efisien untuk membantu dalam kegiatan sehari-hari. Seiring dengan peningkatan pemakaian energi listrik diperlukan pendistribusian energi listrik terhadap konsumen yang optimal dan berkualitas.

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem distribusi listrik harus memiliki keandalan yang tinggi. Untuk memperoleh tingkat keandalan yang tinggi perlu dipasang peralatan proteksi yang dapat meminimalisir terjadinya gangguan pada jaringan distribusi. Proteksi yang handal harus memiliki tingkat selektifitas, ekonomis, kecepatan bereaksi dan tingkat kepekaan yang tinggi. Peralatan proteksi digunakan sebagai perlindungan atau pengaman terhadap gangguan yang terjadi.

Permasalahan yang sering terjadi dalam sistem proteksi biasanya di sebabkan oleh adanya dua jaringan yang berbeda karakteristik bebannya. Dalam hal ini bisa saja terjadi perbedaan *setting over current relay* sebagai salah satu proteksi. Menurut artikel yang ditulis oleh Reynato, Vaithilingam, dan Chin berjudul “*System Protection Coordination*

"Study for Electrical Distribution System" penempatan perangkat proteksi dan koordinasi relai yang tepat diperlukan untuk memastikan pengoperasian sistem yang benar. Dalam upaya meminimalkan gangguan dan waktu pemulihan, koordinasi perangkat pelindung sangat diperlukan (Gamboa dkk., 2018).

Kendala yang terjadi dalam mengoordinasikan sistem proteksi yang handal terletak pada waktu operasi yang sangat berdekatan antara *relay primer* yang ada pada suatu bus dengan relay primer lainnya serta relay back-up yang merupakan back-up dari relay primer tersebut.

Untuk menyelesaikan permasalahan koordinasi relay arus lebih, berbagai metode dan teknik yang telah dilakukan diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu teknik curve fitting, teknik teori graph dan teknik optimasi. Teknik optimasi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu teknik optimasi konvensional, teknik optimasi interior point, dan teknik optimasi menggunakan *artificial intelligence*.

Dalam penelitian tugas akhir ini akan merancang sebuah *trainer kit* koordinasi proteksi dengan menggunakan teknik teori graph yang penggunaannya dapat membantu memvisualisasikan dan menganalisis interaksi antara peralatan proteksi yang berbeda, sehingga memudahkan pemahaman tentang koordinasi proteksi. Dengan menggunakan *trainer kit*, dapat dilakukan simulasi dan pengujian berbagai skenario gangguan, serta menganalisis hasilnya menggunakan konsep teori graph. Perancangan ini mengambil single line diagram yang ada pada PT.X dan penelitian dapat berjalan sesuai rencana yaitu *trainer kit* sistem koordinasi proteksi pada sistem distribusi PT.X dan nantinya bisa memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang koordinasi proteksi, menguji dan memvalidasi sistem proteksi, serta mengoptimalkan keandalan sistem kelistrikan secara keseluruhan..

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Sistem Koordinasi Proteksi

Relay arus lebih merupakan relay yang bekerja terhadap arus lebih. Relay akan bekerja apabila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya ( $I_{set}$ ). Memiliki prinsip kerja dari relay arus lebih yang bekerja dengan cara menganalisa input berupa besaran arus yang kemudian hasil arus yang lewat akan dibandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus terbaca oleh relay melebihi nilai setting maka relay akan mengirim perintah trip kepada CB (Circuit Breaker) sebagai pemutus daya setelah waktu tunda yang diterapkan pada setting.

Relay arus lebih ini akan memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Dan relay arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

$I_f > I_p$  relay bekerja (trip)  $I_f < I_p$  tidak bekerja (block)

Dimana saat  $I_p$  adalah arus kerja yang digunakan sebagai parameter harga arus maksimal dan  $I_f$  merupakan arus gangguan yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder transformator. Relay arus lebih berfungsi untuk mengamankan bagian peralatan dari system tenaga listrik, seperti : generator, utility, transformator, motor

### 2.2 Teori Graph

Teori graph merupakan salah satu cabang ilmu matematika yang sangat penting, dimana teori ini memiliki manfaat serta penerapan dalam kehidupan sehari-hari sampai saat ini. Leonard Euler pada tahun 1736, seorang matematikawan yang berasal dari Swiss merupakan orang yang pertama kali memperkenalkan graph dalam upaya menyelesaikan masalah jembatan Konigsberg dan tercatat dalam sejarah pertama kali menggunakan graph (Munir, 2016). Graph merupakan himpunan tidak kosong antara sisi-sisi yang menghubungkan sepasang simpul dan pasangan simpul- simpul. Himpunan simpul tidak boleh kosong, akan tetapi himpunan sisi boleh kosong (Mira Kusmira dan Taufiqurrochman, 2017).

Suatu graph terdiri dari suatu himpunan tak kosong yang masing-masing unsurnya disebut titik (vertex) dan suatu himpunan pasangan tak berurutan dari titik- titik tersebut yang disebut sisi (*edge*). (Rahayuningsih, 2011)

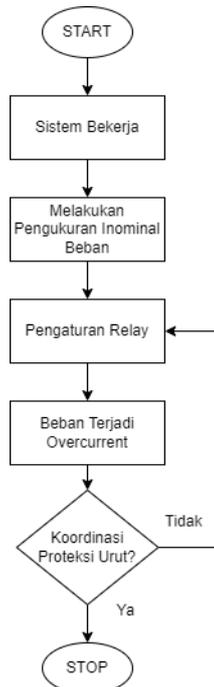
Teori graph melibatkan konsep dasar seperti simpul, sambungan, graph berarah dan tak berarah, graf berbobot, jalur, siklus, dan lainnya. Beberapa konsep dan topik yang penting dalam teori graph meliputi:

1. Simpul (*node*): Merepresentasikan entitas atau objek dalam graph.
2. Sambungan (*edge*): Merepresentasikan hubungan antara dua simpul dalam graph. Sambungan dapat berupa sambungan tunggal (*edge tunggal*) atau sambungan ganda (*edge ganda*).
3. Graph berarah dan tak berarah: Graph berarah memiliki arah pada sambungan sedangkan graph tak berarah tidak memiliki arah yang ditentukan.
4. Graph berbobot: Setiap sambungan dalam graph diberi bobot (nilai numerik) yang menunjukkan karakteristik atau jarak antara dua simpul yang terhubung.
5. Jalur dan siklus: Jalur adalah urutan sambungan yang menghubungkan dua simpul dalam graph. Siklus adalah jalur yang membentuk sebuah lingkaran dengan simpul awal dan akhir yang sama.

6. Graph terhubung dan komponen terhubung: Graph terhubung adalah graph di mana setiap pasang simpul memiliki jalur yang menghubungkan mereka. Komponen terhubung adalah kelompok simpul dan sambungan yang saling terhubung dalam graph.
7. Pohon (*tree*): Graph tak berarah yang terhubung tanpa siklus.
8. Graph bipartit: Graph yang dapat dibagi menjadi dua himpunan simpul, di mana setiap sambungan menghubungkan simpul dari himpunan yang berbeda.

### 2.3 Flowchart Kerja Alat

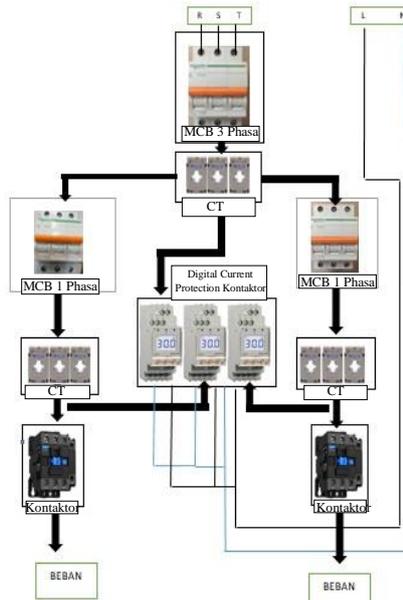
Prinsip kerja alat pada Penelitian setelah sistem/rangkaian bekerja. Selanjutnya melakukan pengukuran Inominal beban dengan menggunakan clampmeter digital untuk digunakan sebagai pertimbangan pengaturan relay. Setelah melakukan pengaturan relay digital current protection diinginkan beban dapat mengalami *overcurrent*. Terakhir yaitu melakukan pemantauan kinerja proteksi apakah sudah urut atau belum. Jika masih terjadi kesalahan maka akan dilakukan pengaturan relay kembali.



Gambar 1 Flowchart kerja alat

## 3. Hasil dan Diskusi

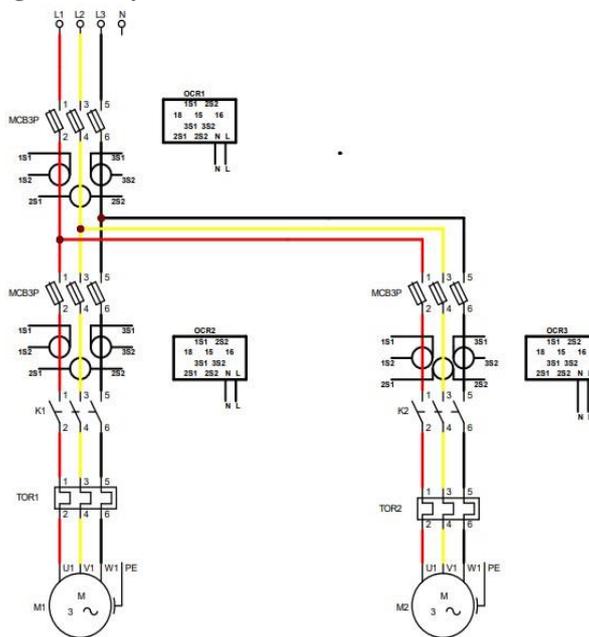
### 3.1. Desain *Trainer kit* Koordinasi Proteksi



**Gambar 2** Desain *Trainer kit* Koordinasi Proteksi

Pada gambar 1 merupakan gambaran desain alat yang akan digunakan dalam pembuatan *trainer kit* koordinasi proteksi yang antara lain komponennya meliputi: MCB 3 Fasa/1 Fasa, CT, Digital Current Protection Kontaktor, TOR (*Thermal Overload Relay*).

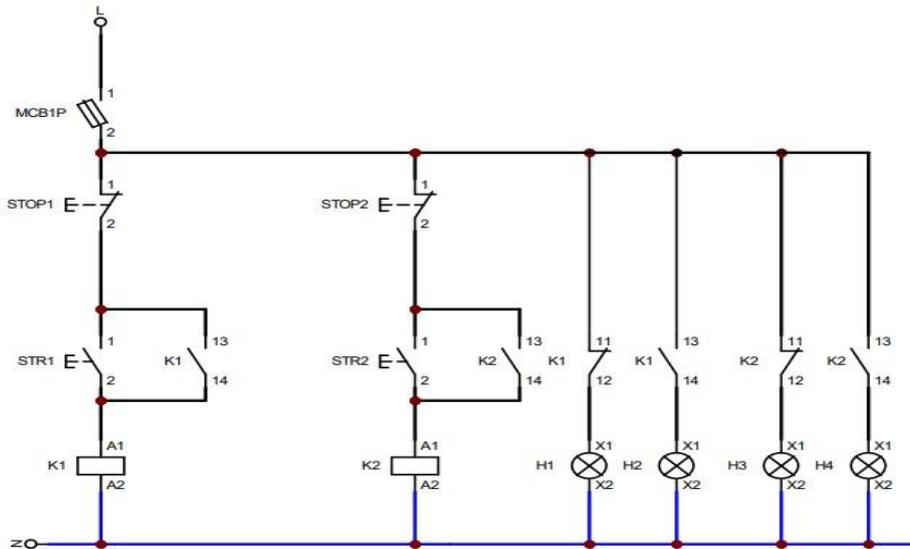
**3.2. Single Line Diagram Rangkaian Daya *Trainer kit* Koordinasi Proteksi**



**Gambar 3** *Single Line Diagram* Alat

Dalam konteks koordinasi proteksi, SLD digunakan untuk memperlihatkan lokasi dan jenis peralatan proteksi yang digunakan dalam sistem daya. SLD juga memperlihatkan urutan dan koordinasi antara peralatan proteksi yang berbeda dalam sistem daya. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem proteksi dapat berfungsi secara efektif dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan gangguan listrik pada sistem daya.

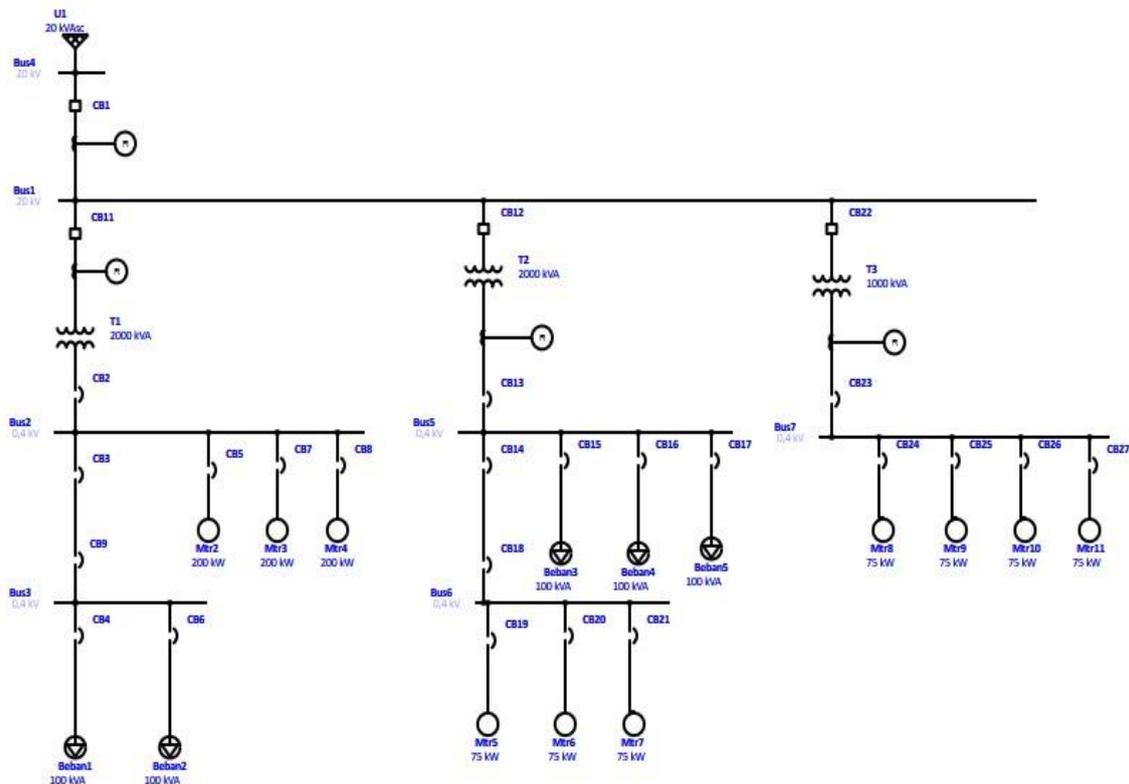
**3.3. Single Line Rangkaian Kontrol *Trainer kit* Koordinasi Proteksi**



**Gambar 3** Single Line Diagram Kontrol

Pada gambar 3 Rangkaian kontrol digunakan untuk mengendalikan operasi sistem secara keseluruhan, berperan dalam menjaga keamanan sistem serta peralatan dari kerusakan dan juga memberikan perlindungan terhadap motor, seperti pengamanan terhadap beban berlebih, korsleting, atau hilangnya fase. Perlindungan motor ini membantu menjaga kinerja dan umur motor, serta mencegah kerusakan yang bisa terjadi.

### 3.4. Single Line Diagram Simulasi ETAP



**Gambar 6** Single Line Diagram Simulasi ETAP

Pada Gambar 4 merupakan rangkaian yang digunakan untuk melakukan simulasi pada ETAP sehingga nantinya didapatkan hasil dan analisa terhadap sistem koordinasi proteksi yang ada pada *Trainer kit*.

### 3.5. Implementasi *Trainer kit*

Penelitian ini memiliki hasil akhir berupa *Trainer kit* koordinasi proteksi dengan menggunakan teknik teori graph. *Trainer kit* penelitian ini merupakan hasil penerapan solusi dari permasalahan pada perusahaan. Teori graph pada *trainer kit* digunakan dalam membantu memvisualisasikan dan menganalisis interaksi antara peralatan proteksi yang berbeda. Dengan menggunakan *trainer kit*, dapat dilakukan simulasi dan pengujian berbagai skenario gangguan. Tujuan dibuatnya *trainer kit* guna meningkatkan pemahaman yang baik tentang koordinasi proteksi, menguji dan memvalidasi sistem proteksi, serta mengoptimalkan keandalan sistem kelistrikan secara keseluruhan.

**3.6. Penerapan metode graph**

Permasalahan koordinasi proteksi pada sistem distribusi dilakukan menggunakan metode graph. Metode ini merepresentasikan jaringan tenaga listrik sebagai graph, dimana bus (simpul) mewakili peralatan seperti suplai, transformator, atau beban, dan saluran (sisi) mewakili saluran distribusi yang menghubungkan peralatan dalam sistem proteksi. Incidence matriks adalah cara untuk merepresentasikan hubungan antara simpul dan sisi dalam graph tersebut.

Permisalan graph yang terdiri dari n simpul (bus) dan m sisi (sistem proteksi). Incidence matriks berukuran n x m, di mana setiap baris mewakili simpul dan setiap kolom mewakili sisi. Selanjutnya, nilai elemen dalam matriks menunjukkan hubungan antara simpul dan sisi. Konvensi yang umum digunakan dalam menyusun incidence matriks adalah sebagai berikut:

1. Angka 1 menunjukkan bahwa ada hubungan langsung antara perangkat proteksi dan elemen sistem
2. Angka 0 Menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara perangkat proteksi dan elemen sistem tertentu.

**3.7. Reperesntasi Matriks pada simulasi ETAP**

Pada tahap awal simulasi, matriks insidensi akan menggambarkan entri- entri yang menunjukkan apakah suatu perangkat proteksi memiliki hubungan langsung dengan elemen-elemen tertentu dalam sistem. Setiap baris dalam matriks mewakili satu perangkat proteksi, sementara setiap kolom merepresentasikan satu elemen sistem. Jika terdapat hubungan antara perangkat proteksi dan elemen sistem tertentu, maka elemen tersebut akan memiliki entri angka 1 di baris yang sesuai dalam matriks. Berikut adalah hasil tabel matriks yang didapat dari simulasi ETAP.

ID	BUS																						
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
CB1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CB2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB3	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
CB11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
CB12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
CB16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
CB17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
CB18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
CB19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
CB20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
CB21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
CB22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

**Gambar 7** Matriks pada simulasi ETAP

Pada gambar ditampilkan data metode graph pada simulasi ETAP. Data diatas dapat dibaca seperti berikut :

“Pada bus23 menunjukkan nilai I pada sistem proteksi CB22, CB19 dan CB1 menunjukkan bahwa bila terjadi gangguan di bus23 maka sistem proteksi yang akan trip adalah CB22, bila terjadi kelolosan CB19 yang akan trip dan backup terakhir CBI saat CB22 dan CB19 tidak bisa memproteksi.”

**3.8. Representasi Matriks pada Trainer kit**

Dalam simulator *trainer kit* koordinasi proteksi yang penulis rancang representasi matriks sebagai metode untuk menggambarkan interaksi antara berbagai elemen proteksi dan pengaman dalam sistem tenaga listrik. Matriks ini tidak hanya memetakan saling ketergantungan antara peringkat proteksi seperti relay arus lebih, relay arus hubung singkat, relay waktu, dan perangkat lainnya, tetapi juga mempertimbangkan koordinasi waktu di antara mereka. Dalam simulasi, Berikut adalah hasil tabel matriks yang didapat dari simulator *trainer kit*.

ID	BUS				
	2	3	4	5	6
R1	1	1	1	1	1
R2	0	1	1	0	0
R3	0	0	1	0	0
R4	0	0	0	1	1
R5	0	0	0	0	1

**Gambar 8** Matriks pada *trainer kit*

Pada gambar ditampilkan data metode graph pada simulator *trainer kit*. Data diatas dapat dibaca seperti berikut :  
“Pada bus 6 menunjukkan nilai 1 pada sistem proteksi R5, R4 dan R1 menunjukkan bahwa bila terjadi gangguan di bus 6 maka sistem proteksi yang akan trip adalah R5, bila terjadi kelolosan R4 yang akan trip dan backup terakhir R1 saat R5 dan R4 tidak bisa memproteksi.”

#### 4. Kesimpulan

Melalui *trainer kit* koordinasi proteksi, mampu melakukan pengujian dan pemecahan masalah terhadap sistem proteksi dengan berbagai skenario gangguan. Dengan begitu, *Trainer kit* bermanfaat dalam meminimalisir terjadinya kesalahan tindakan dalam menangani masalah yang serupa.

1. Hasil pengujian simulator *trainer kit* koordinasi proteksi terhadap gangguan *overcurrent* menunjukkan bahwa sistem proteksi merespons gangguan dengan cepat dan akurat. Koordinasi antar perangkat proteksi terdekat berfungsi dengan baik dan memastikan ketepatan perangkat yang aktif dalam mengisolasi gangguan serta melindungi bagian lain.
2. Simulasi koordinasi proteksi menggunakan *software Electrical Transient Analysis Program (ETAP)* dan simulator *trainer kit* mampu berjalan baik menggunakan teori graph. Analisis dan penggambaran sistem tenaga sebagai graph matriks, memudahkan penulis dalam mengidentifikasi koordinasi yang tepat antara relay proteksi.

#### 5. Daftar Pustaka

- Gah, A. M., Tino, A., & Donis, F. (2020). STUDI KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI PADA TRAFODISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) KUPANG. *Jurnal Ilmiah Flash*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.32511/flash.v6i1.683>
- Gamboa, R. A., Vaithilingam, C. A., & Chin, C. A. (2018). System Protection Coordination Study for Electrical Distribution System. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/scored.2018.8710793>
- Widyastuti, C., Handayani, O., & Koerniawan, T. (2021). Keandalan Sistem Penyaluran Listrik Berdasarkan Saidi Dan Saifi Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kubikel Arrester di PT PLN UP3 Serpong. *Energi & Kelistrikan*, 13(2), 95–103. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1031>
- Amir, D., & Indrawati, I. (2016). Rancang Bangun Radar Pendeteksi Saluran Kabel Listrik di Bawah Tanah. *LITEK*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.30811/litek.v13i1.1045>
- Pafela, E. ', & Hamdani, E. '. (2016). Studi Penyetelan Relay Arus Lebih (OCR) pada Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 4(1), 1–17.

<https://www.neliti.com/publications/201228/studi-penyetelan-relay-arus-lebih-ocr-pada-gardu-induk-teluk-lembu-pekanbaru>

- Gusmedi, H., & Khairudin, K. (2020). Analisa Dampak Kenaikan Setting Tegangan di GI Tarahan Terhadap Performa Sistem 20kV PT. Bukit Asam Tbk. *Electrician: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 14(2), 65–70.  
<https://doi.org/10.23960/elc.v14n2.2152>
- Mardegan, C. S., & Rifaat, R. (2016). Considerations in Applying IEEE Recommended Practice for Protection Coordination in Industrial and Commercial Power Systems—Part I. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(5), 3705–3713.  
<https://doi.org/10.1109/tia.2016.2563405>
- Kusmira, M., & Taufiqurrahman, T. (2017). PEMANFAATAN APLIKASI GRAF PADA PEMBUATAN JALUR ANGKOT 05 TASIKMALAYA. *Prosiding Semnastek*.  
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/download/2056/1697>
- Lesnanto Multa P, S.T, M.Eng dan Restu Prima Aridani. 2013. *Modul Pelatihan Etap*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Munir, R. (2017). *Matematika diskrit : revisi keenam*. -. [http://library.upnvj.ac.id/index.php?p=show\\_detail&id=22400](http://library.upnvj.ac.id/index.php?p=show_detail&id=22400)
- Pattiapon, D. R., Rikumahu, J. J., & Jamlaay, M. (2019). PENGGUNAAN MOTOR SINKRON TIGA PHASA TIPE SALIENT POLE SEBAGAI GENERATOR SINKRON. *Jurnal Simetrik : Sipil, Mesin, Listrik*, 9(2), 197–207.  
<https://doi.org/10.31959/js.v9i2.386>
- (PERSERO), P. P. (2014). *PUIL 2011*. Jakarta: PT. PLN (PERSERO).
- Rahayuningsih, Sri. (2011). *Teori Graph dan Penerapannya*. Malang. Universitas Wisnuwardhana Press Malang.
- Syahputra, R. (2016). *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. LP3M UMY, Yogyakarta, 249-256.
- Tasiam, F. J. (2017). *Proteksi sistem tenaga listrik*.
- Triyono, Y., Penangsang, O., & Anam, S. (2013). Analisis Studi Rele Pengaman (Over Current Relay Dan Ground Fault Relay) pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri dari PLTU Rembang. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/26118090073a40048a4f904bc3f1fd09>
- Sarimun, W. (2016). *Proteksi sistem distribusi tenaga listrik*.  
[https://digilib.umsu.ac.id/index.php?p=show\\_detail&id=23869](https://digilib.umsu.ac.id/index.php?p=show_detail&id=23869)
- Wijaya, I. (2007). PENGGUNAAN DAN PEMILIHAN PENGAMAN MINI CIRCUIT BREAKER (MCB) SECARA TEPAT MENYEBABKAN BANGUNAN LEBIH AMAN DARI KEBAKARAN AKIBAT LISTRIK. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 6(2). <https://doaj.org/article/783e82b8f8354af599ffcf9d6bf6386d>.
- Yusniati, Y., Nasution, E. S., & Pangestu, R. I. (2019). ANALISIS KINERJA CIRCUIT BREAKER PADA SISI 150 kV GARDU INDUK LAMHOTMA. ., 2(1), 77–82.