



Institut Teknologi Nasional Malang

TUGAS AKHIR – TEKNIK ENERGI LISTRIK

**ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA INSTALASI
KELISTRIKAN PABRIK PEPSICO INDONESIA SNACKS GREENFIELD
MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP**

Naufal Aliffatta Nurfadhilah
NIM 2112065

Dosen pembimbing
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Juli 2025



Institut Teknologi Nasional Malang

TUGAS AKHIR – TEKNIK ENERGI LISTRIK

**ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI OVER CURRENT RELAY
PADA INSTALASI KELISTRIKAN PABRIK
PEPSICO INDONESIA SNACKS GREENFIELD
MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP**

Naufal Aliffatta Nurfadhilah
NIM 2112065

Dosen pembimbing
Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Juli 2025

**ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI OVER
CURRENT RELAY PADA INSTALASI
KELISTRIKAN PABRIK PEPSICO INDONESIA
SNACKS GREENFIELD MENGGUNAKAN
SOFTWARE ETAP**

SKRIPSI

**Naufal Aliffatta Nurfadhilah
2112005**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Teknik Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Awan Uji Krijasanto, ST., MT., PhD.
NIP. 19800301 200501 1 002


Dr. Ir. Widodo Puji Muljanto,
MT, NIP. Y. 1039700309

Mengetahui:

Kepala Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr. Annisa Suwani Faradisa, ST., MT.
NIP. P. 1030000363

MALANG
Juli, 2025

ABSTRAK

ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA INSTALASI KELISTRIKAN PABRIK PEPSICO INDONESIA SNACKS GREENFIELD MENGUNAKAN SOFTWARE ETAP

NAUFAL ALIFFATTA NURFADHILAH, NIM : 2112065
Dosen Pembimbing I : Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto., MT.

Keandalan sistem proteksi sangat penting dalam menjaga kontinuitas suplai listrik, terutama di lingkungan industri besar seperti Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield di Cikarang, Jawa Barat. Gangguan arus lebih akibat hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan terganggunya proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis koordinasi Over Current Relay (OCR) agar sistem proteksi dapat bekerja cepat dan selektif dalam mengamankan sistem kelistrikan pabrik. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data teknis sistem tenaga listrik pabrik seperti Single Line Diagram (SLD), data transformator daya, circuit breaker, current transformer (CT), over current relay (OCR), dan beban, yang kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi aliran daya dan gangguan hubung singkat digunakan sebagai dasar penentuan setting OCR, termasuk arus pickup dan time delay. Simulasi koordinasi proteksi dilakukan untuk memastikan setiap over current relay (OCR) bekerja secara terkoordinasi dan selektif berdasarkan kurva Time Current Characteristic (TCC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setting OCR yang tepat dapat meningkatkan keandalan dan selektivitas sistem proteksi, sehingga mendukung operasional pabrik yang aman dan berkelanjutan.

***Kata Kunci :** Over Current Relay, Koordinasi Proteksi, Time Current Characteristic*

ABSTRACT

PROTECTION COORDINATION ANALYSIS OF OVERCURRENT RELAY IN THE ELECTRICAL INSTALLATION OF PEPSICO INDONESIA SNACKS GREENFIELD FACTORY USING ETAP SOFTWARE

NAUFAL ALIFFATTA NURFADHILAH, NIM : 2112065

Supervisor I : Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D.

Supervisor II : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto., MT.

The reliability of the protection system is crucial in maintaining the continuity of power supply, especially in large industrial environments such as the Pepsico Indonesia Snacks Greenfield Factory in Cikarang, West Java. Overcurrent faults caused by short circuits can damage equipment and disrupt production processes. This study aims to analyze the coordination of Overcurrent Relays (OCR) so that the protection system can operate quickly and selectively in securing the factory's electrical system. The methodology includes collecting technical data of the power system such as the Single Line Diagram (SLD), power transformer data, circuit breakers, current transformers (CT), overcurrent relays (OCR), and load data, which are then simulated using ETAP software. The results of the load flow and short circuit simulations serve as the basis for determining OCR settings, including pickup current and time delay. Protection coordination simulations are conducted to ensure that each OCR operates in a coordinated and selective manner based on Time Current Characteristic (TCC) curves. The results show that proper OCR settings can enhance the reliability and selectivity of the protection system, thereby supporting safe and sustainable factory operations.

Keywords : *Over Current Relay, Protection Coordination, Time Current Characteristic*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisa Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Instalasi Kelistrikan Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield Menggunakan Software ETAP.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis ingin menyampaikan apresiasi kepada:

1. Bapak Awan Uji Krismanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Rektor ITN serta sebagai Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran dan dedikasi.
2. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan penuh perhatian dan arahan yang berharga.
3. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Elektro ITN Malang yang telah memberikan kesempatan serta fasilitas yang mendukung selama masa studi.
4. Ayah saya, Anang Triyanto, Ibunda saya, Eny Fatmawati, serta kakak dan adik saya, beserta keluarga. Yang selalu memberikan doa, dukungan moral, serta bantuan finansial yang tiada henti.
5. Seluruh anggota asisten Laboratorium Transmisi dan Distribusi Daya Elektrik yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dorongan untuk terus belajar dan berkembang.
6. Teman-teman Angkatan 21, yang telah menjadi rekan belajar, berdiskusi, serta berbagi pengalaman selama proses penelitian ini. Dukungan dan kebersamaan kalian sangat berarti bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna perbaikan di masa mendatang. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bermanfaat bagi para pembaca dan pihak yang berkepentingan.

Malang, 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gangguan Hubung Singkat	5
2.2 Sistem Proteksi Tenaga Elektrik	7
2.2 Relai	9
2.3 Over Current Relay	12
2.4 Circuit Breaker	17
2.5 Dc power supply system	19
2.6 Current Transformator	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Teknik Pengumpulan Data	25
3.2 Diagram Alir	26
3.3 Sistem Kelistrikan Pabrik	28
3.3.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Pabrik Pepsico	28
3.3.2 Data Beban	28
3.3.3 Data Penghantar	30
3.3.4 Data Circuit Breaker	31
3.3.5 Data Overcurrent Relay	32
3.3.6 Data Power Transformer	32
3.3.7 Data Current Transformer	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	35
4.2 Koordinasi Proteksi Overcurrent Relay	37
4.2.1 Simulasi Proteksi Pada Bus LVMDP-1	37
4.2.2 Kurva TCC pada Relai Incoming LVMDP-1	38
4.2.3 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-FGWH dan SDB- PACK.RMWH	39

4.2.4 Kurva TCC pada Relai Outgoing FGWH dan Incoming LVMDP-1	40
4.2.5 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-PACK dan SDB-PROCESS.1	41
4.2.6 Kurva TCC pada Relai Outgoing PROCESS.1 dan Incoming LVMDP-1	42
4.2.7 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-PROCESS.2 dan SDB-PROCESS.3	43
4.2.8 Kurva TCC pada Relai Outgoing PROCESS.2 dan Incoming LVMDP-1	44
4.2.9 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-MB.1F	45
4.2.10 Kurva TCC pada Relai Outgoing MB.1F dan Incoming LVMDP-1	46
4.2.11 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-MB.2F	47
4.2.12 Kurva TCC pada Relai Outgoing MB.2F dan Incoming LVMDP-1	48
4.2.13 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-UT.PUMP	49
4.2.14 Kurva TCC pada MCCB Outgoing UT.PUMP dan Incoming LVMDP-1	50
4.2.15 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-POTA.STO	51
4.2.16 Kurva TCC pada Relai Outgoing POTA.STO dan Incoming LVMDP-1	52
4.2.17 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-WWTP	53
4.2.18 Kurva TCC pada Relai Outgoing WWTP dan Incoming LVMDP-1	54
4.2.19 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-FIRE.PUMP	55
4.2.20 Kurva TCC pada Relai Outgoing Fire Pump, Incoming EMDB, Feeder EMDB, Outgoing LVMDP-1, Incoming LVMDP-1	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	6
Gambar 2.2 Sistem proteksi tenaga listrik	8
Gambar 2.3 Jenis-jenis Relai Mikroprosesor Solid-State untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik	10
Gambar 2.4 Karakteristik relai arus lebih sesaat	13
Gambar 2.5 Karakteristik relai arus lebih waktu tertentu	14
Gambar 2.6 Karakteristik relai arus lebih waktu terbalik	15
Gambar 2.7 Circuit breaker tiga fasa 115 kV	18
Gambar 2.8 Pemutus sirkuit tangki daya 500 kV	18
Gambar 2.9 Ruangan baterai di gardu induk	19
Gambar 2.10 Pengisi daya baterai pada gardu induk	20
Gambar 2.11 Sistem suplai daya DC dengan konfigurasi redundansi (backup) menggunakan dua sumber DC	21
Gambar 2.12 Current transformer	22
Gambar 2.13 Diagram Ekuivalen Untuk Transformator Instrumen	23
Gambar 3.1 Flow Chart	26
Gambar 3.2 SLD Sistem Kelistrikan Pabrik Pepsico	28
Gambar 4.1 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus LVMDP-1	37
Gambar 4.2 Time Current Characteristic pada relai incoming LVMPD-1	38
Gambar 4.3 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus FGWH dan PACK RMWH	39

Gambar 4.4 Time Current Characteristic pada relai outgoing FGWH dan Incoming LVMDP-1	40
Gambar 4.5 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus PROCESS.1 dan pack	41
Gambar 4.6 Time Current Characteristic pada relai outgoing PROCESS.1 dan Incoming LVMDP-1	42
Gambar 4.7 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus PROCESS.2 dan PROCESS.3	43
Gambar 4.8 Time Current Characteristic pada relai outgoing PROCESS.2 dan Incoming LVMDP-1	44
Gambar 4.9 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus MB.1F	45
Gambar 4.10 Time Current Characteristic pada relai outgoing MB.1F dan Incoming LVMDP-1	46
Gambar 4.11 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus MB.2F	47
Gambar 4.12 Time Current Characteristic pada relai outgoing MB.2F dan Incoming LVMDP-1	48
Gambar 4.13 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus UT.PUMP	49
Gambar 4.14 Time Current Characteristic pada MCCB outgoing UT.PUMP dan Incoming LVMDP-1	50
Gambar 4.15 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus POTA.STO.....	51
Gambar 4.16 Time Current Characteristic pada relai outgoing POTA.STO dan Incoming LVMDP-1	52

Gambar 4.17 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus WWTP	53
Gambar 4.18 Time Current Characteristic pada relai outgoing WWTP dan Incoming LVMDP-1	54
Gambar 4.19 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus FIRE.PUMP	55
Gambar 4.20 Time Current Characteristic pada relai outgoing Fire Pump, Incoming EMDB, Feeder EMDB, outgoing LVMDP 1, dan Incoming LVMDP-1	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Beban LVMDP-1	28
Tabel 3.2 Beban EMDB	29
Tabel 3.3 Penghantar LVMDP-1	30
Tabel 3.4 Penghantar EDMB	30
Tabel 3.5 Data Circuit Breaker.....	31
Tabel 3.6 Data Overcurrent Relay.....	32
Tabel 3.7 Data Power Transformer	32
Tabel 3.8 Data Current Transformer	33
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Arus Gangguan 3 Fasa	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik pepsico Indonesia snacks greenfield ialah pabrik yang akan menjadi tempat produksi sejumlah produk makanan ringan. Pabrik ini berdiri di atas lahan seluas 60.000 m² di Cikarang, Jawa Barat. Selain itu, pabrik ini berkomitmen pada keberlanjutan dengan mengurangi emisi karbon, dengan menggunakan energi terbarukan, dan mengelola limbah produksi.

Dalam pengoperasian pabrik, sistem ketenagalistrikan dapat mengalami berbagai macam gangguan, misal gangguan hubung singkat yang akan mengakibatkan arus lebih dan terhentinya penyaluran energi listrik yang akhirnya akan membuat proses produksi terkendala. Akibat dari gangguan tersebut adalah dapat merusak peralatan-peralatan produksi yang terhubung dalam sistem tenaga listrik dan dapat juga meluas ke sistem yang lain. Maka dari itu fungsi utama dari sistem proteksi adalah untuk memonitor sistem yang mengalami gangguan dan mengisolir zona yang mengalami gangguan tersebut agar pendistribusian energi listrik tetap terjaga ke system yang tidak mengalami gangguan. Untuk itu sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan selektif dalam mengamankan peralatan-peralatan listrik yang sedang mengalami gangguan-gangguan arus lebih [1].

Over current relay merupakan perangkat yang mendeteksi arus lebih dalam jaringan listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem listrik dari kerusakan akibat arus berlebih. Keandalan sebuah sistem proteksi sangat dituntut demi terjaganya kontinuitas penyaluran energi listrik. Untuk itu diperlukan koordinasi antar komponen penunjang sistem proteksi. Komponen proteksi yang penting diantaranya *over current relay* (OCR) [2].

Namun keandalan OCR dalam melaksanakan tugasnya sangat bergantung pada koordinasi yang baik dengan peralatan proteksi lainnya. Tanpa adanya koordinasi yang baik, sistem proteksi dapat gagal bekerja dengan optimal. Jika waktu kerja OCR tidak disesuaikan dengan karakteristik proteksi lainnya, maka dapat terjadi kegagalan proteksi yang justru memperburuk kondisi sistem. Oleh karena itu, penelitian mengenai koordinasi *Over Current Relay* dalam sistem kelistrikan menjadi sangat

penting, terutama dalam konteks industri besar seperti Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield.

Koordinasi OCR diperlukan dengan tujuan agar relai arus lebih yang satu dengan lainnya tidak mengalami *overlap*[3], artinya relai yang berada paling dekat dengan titik gangguan (downstream) seharusnya bekerja lebih dahulu, sedangkan relai yang berada lebih jauh (upstream) hanya bekerja apabila relai terdekat gagal beroperasi[3]. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dilakukan analisis yang mendalam mengenai bagaimana koordinasi OCR dapat meningkatkan keandalan sistem proteksi di Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield Jawa Barat, sehingga pabrik dapat terhindar dari potensi gangguan yang dapat menghambat produktivitasnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari Penelitian ini terdapat masalah yang harus diselesaikan sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan setting beberapa relai arus lebih/*over current relay* (OCR) untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang tepat dalam sistem tenaga listrik di pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield Jawa Barat.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian menguraikan tentang capaian yang diperoleh jika masalah yang dihadapi dapat diatasi dengan pembuktian yang valid.

1. Melakukan setting beberapa relai arus lebih/*over current relay* (OCR) pada software ETAP untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang tepat dalam sistem tenaga listrik di pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield Jawa Barat.

1.4 Batasan Masalah

Supaya pembahasan tidak menyimpang dari tujuan penulisan penelitian ini, maka penulis sampaikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya membahas sistem proteksi terhadap gangguan arus lebih (over current) pada instalasi listrik di Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield.
2. Analisis dilakukan pada koordinasi komponen proteksi *Over Current Relay* (OCR).
3. Analisis menggunakan pendekatan simulasi koordinasi proteksi dengan perangkat lunak ETAP.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini disusun secara sistematis agar mempermudah dalam memahami pembahasan laporan skripsi ini. Struktur penelitian ini disusun dalam beberapa bab dan dijelaskan melalui pembahasan sesuai dengan aturan standar penulisan, dengan susunan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang mengenai analisis koordinasi proteksi over current relay pada instalasi kelistrikan pabrik pepsico Indonesia snacks greenfield, rumusan masalah mengenai bagaimana merancang penempatan yang tepat untuk koordinasi komponen proteksi dan koordinasi over current relay (OCR), tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori dari berbagai referensi yang ada mengenai penelitian ini, seperti apa itu sistem proteksi tenaga elektrik, komponen-komponen yang digunakan pada sistem proteksi, dan kurva karakteristik dari komponen sistem proteksi.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari pengumpulan data seperti data beban, penghantar, Circuit Breaker, Overcurrent Relay, Trafo Daya dan Trafo Arus. pemodelan sistem kelistrikan, hingga simulasi dan analisis hasil. Pembuatan model sistem kelistrikan pabrik dalam ETAP berdasarkan data tersebut. Simulasi aliran daya untuk mengetahui arus normal sebagai dasar setting OCR. Simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa untuk menentukan nilai arus gangguan. Penentuan setting OCR berupa pickup current dan time multiplier setting (TMS). Simulasi koordinasi proteksi antar OCR berdasarkan kurva Time Current Characteristic (TCC). Bab ini juga memuat diagram alir (flowchart) alur proses penelitian dari awal hingga akhir proses analisis koordinasi proteksi.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapatkan dari berbagai titik percobaan. Percobaan yang dilakukan yaitu mensimulasikan koordinasi proteksi dengan cara memberi fault pada bus-

bus utama di bus LVMDP-1, data hasil yang didapatkan dari hasil percobaan adalah dalam bentuk urutan trip dari circuit breaker dan time current characteristic (TCC).

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan tentang Kesimpulan dan saran dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat merupakan kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik yang terjadi ketika penghantar dengan beda potensial saling terhubung langsung atau melalui impedansi yang sangat kecil. Akibatnya, arus yang sangat besar (arus hubung singkat) akan mengalir pada jaringan. Gangguan ini menimbulkan dampak serius, antara lain jatuhnya tegangan pada busbar, timbulnya gaya elektromagnetik yang dapat merusak peralatan, serta kenaikan temperatur konduktor yang berlebihan.

Secara umum, gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan menjadi:

- Gangguan satu fasa ke tanah (single line-to-ground fault)
- Gangguan dua fasa (line-to-line fault)
- Gangguan dua fasa ke tanah (double line-to-ground fault)
- Gangguan tiga fasa (three-phase fault)

Dari seluruh jenis gangguan, gangguan tiga fasa termasuk yang paling serius karena menghasilkan arus hubung singkat terbesar dan memerlukan koordinasi proteksi yang paling ketat.

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

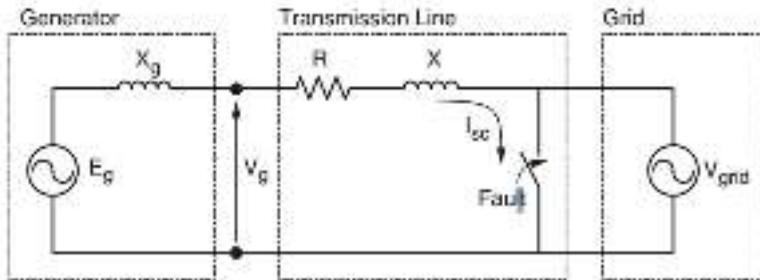
Gangguan tiga fasa terjadi ketika ketiga konduktor fasa saling terhubung langsung pada suatu titik, baik ke tanah maupun tidak. Kondisi ini bersifat simetris sehingga perhitungan analisisnya relatif lebih sederhana dibanding gangguan asimetris (satu fasa atau dua fasa).

Pada gangguan tiga fasa, sistem masih seimbang sehingga komponen simetris yang digunakan hanyalah komponen positif (positive sequence). Oleh karena itu, impedansi ekuivalen sistem cukup direpresentasikan dengan impedansi urutan positif dari generator, transformator, saluran, dan elemen lain yang berhubungan langsung dengan titik gangguan.

Arus hubung singkat yang mengalir dapat bernilai sangat besar, seringkali mencapai kelipatan 10–20 kali arus nominal. Kondisi ini dapat merusak generator, transformator, saluran transmisi, bahkan peralatan pengendali seperti pemutus tenaga (circuit breaker) jika tidak ditangani dengan sistem proteksi yang tepat.

2.1.2 Rangkaian Ekuivalen Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Untuk menganalisis gangguan tiga fasa, sistem dapat disederhanakan menjadi rangkaian ekuivalen. Rangkaian ini memuat sumber tegangan internal generator, impedansi sinkron generator, impedansi saluran transmisi (resistif maupun induktif), serta titik gangguan. Pada Gambar 2.1 menunjukkan model ekuivalen gangguan hubung singkat tiga fasa.



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Keterangan :

E_g :Tegangan Internal Generator

X_g :Reaktansi Generator

R, X : Resistansi dan Reaktansi Saluran

I_{sc} :Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

V_g, V_{grid} :Tegangan pada Bus Generator dan Grid

Rangkaian ini membantu memudahkan perhitungan impedansi ekuivalen yang nantinya dipakai untuk menentukan arus hubung singkat.

2.1.3 Rumus Arus Gangguan Tiga Fasa

Arus hubung singkat tiga fasa dihitung berdasarkan hukum Ohm dengan mempertimbangkan tegangan sumber dan impedansi ekuivalen. Secara umum, persamaannya dituliskan sebagai berikut:

$$I_{sc} = \frac{V_s}{\sqrt{3} \times Z_{eq}} \text{ (A)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

I_{sc} :Arus Hubung Singkat (A)

V_s :Tegangan sumber sebelum gangguan (line to line)(V)

Z_{eq} :Impedansi ekivalen dari generator, transformator, dan komponen sistem hingga titik gangguan (Ω)

Dari persamaan tersebut dapat dipahami bahwa semakin kecil nilai impedansi ekivalen suatu sistem, maka arus hubung singkat yang timbul akan semakin besar. Oleh karena itu, penentuan kapasitas pemutus tenaga (circuit breaker) maupun relay proteksi harus selalu mempertimbangkan nilai maksimum arus hubung singkat.

2.1.4 Hubungan dengan Peralatan Sistem Tenaga

Gangguan hubung singkat tiga fasa memberikan dampak langsung terhadap berbagai peralatan sistem tenaga, antara lain :

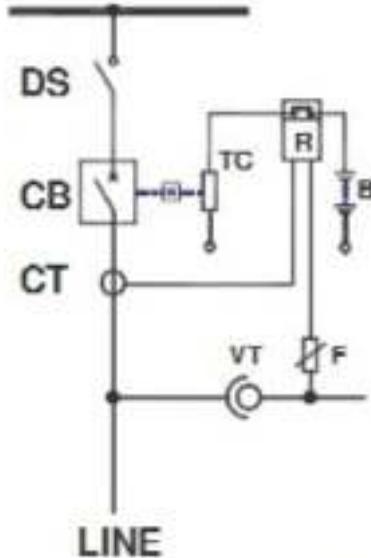
1. Generator – mengalami beban arus berlebih yang dapat menimbulkan panas dan torsi dinamis.
2. Transformator – dapat mengalami tekanan mekanis akibat gaya elektromagnetik serta kenaikan temperatur akibat arus lebih.
3. Saluran Transmisi – dapat mengalami penurunan tegangan signifikan di ujung saluran serta gangguan termis akibat arus yang sangat besar.
4. Peralatan Proteksi (CB, relay, fuse) – harus dirancang mampu memutus arus hubung singkat dengan cepat agar kerusakan tidak meluas.

Dengan demikian, analisis arus hubung singkat sangat penting dilakukan dalam perencanaan maupun pengoperasian sistem tenaga listrik agar peralatan yang dipasang sesuai standar dan dapat menjaga keandalan sistem.

2.2 Sistem Proteksi Tenaga Elektrik

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Sistem proteksi merupakan pengamanan listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, transformator tenaga, transmisi tenaga listrik, dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus

bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen) [4]. Jadi pada intinya sistem proteksi digunakan untuk mengamankan seluruh sistem tenaga listrik agar keandalan tetap terjaga.



Gambar 2.2 Sistem proteksi tenaga listrik

Pada gambar 2.1 merupakan contoh dari sistem proteksi. Dapat dilihat bahwa gambar diatas merupakan suatu pengaman sistem tenaga listrik yang mencakup beberapa komponen utama. *Disconnecting switch* (DS) ialah komponen yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan tenaga listrik dalam keadaan tanpa beban[5]. *Circuit breaker* (CB) atau pemutus tenaga (PMT) adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban[6]. *Circuit breaker* memutus arus secara otomatis atau manual ketika terjadi gangguan pada sistem listrik. *Current transformer* (CT) digunakan untuk mengukur arus yang mengalir dalam suatu sistem lalu mengirimkan sinyal ke relai proteksi. *Voltage transformer* (VT) merupakan komponen yang digunakan untuk mengukur tegangan serta memberikan input ke relai proteksi. *Relay* (R) adalah perangkat yang berfungsi sebagai penerima sinyal dari *current transformer* dan *voltage transformer*. *Battery* (B) dipakai sebagai sumber daya pada relai dan peralatan sistem

proteksi. *Fuse* (F) merupakan peralatan proteksi tambahan terhadap arus berlebih yang ada pada sistem listrik.

2.2 Relai

Relai merupakan suatu peralatan yang direncanakan untuk merasakan atau mendeteksi, mengukur adanya gangguan dan mulai merasakan adanya ketidaknormalan peralatan listrik dan segera secara otomatis membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa bel atau lampu[7]. Adapun relai harus mampu bekerja secara selektif, selektif dalam arti dapat membedakan secara cermat dalam merasakan dan mengatasi gangguan agar kerja koordinasi antar pengaman di sistem jaringan listrik dapat bekerja dengan baik[7]. Cermat yaitu saat merasakan gangguan relai dapat mengindikasikan alarm sesuai dengan gangguan yang terjadi. Relai proteksi berfungsi sebagai "otak" yang mendeteksi adanya gangguan pada sistem tenaga listrik. Namun, karena relai proteksi merupakan perangkat berenergi rendah, mereka tidak mampu secara langsung membuka dan mengisolasi area yang mengalami gangguan. Untuk tugas tersebut, digunakanlah pemutus sirkuit (*circuit breaker*) dan berbagai jenis alat pemutus arus lainnya, seperti kontaktor motor dan pengendali motor, yang berperan sebagai "otot" dalam proses isolasi gangguan. Dengan demikian, relai proteksi dan perangkat pemutus sirkuit bekerja secara sinergis; keduanya sama-sama diperlukan untuk menjamin isolasi gangguan secara cepat dan efektif dalam sistem tenaga listrik.



Gambar 2.3 Jenis-jenis Relai Mikroprosesor Solid-State untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Gambar 2.2 memperlihatkan berbagai jenis relai proteksi berbasis mikroprosesor dengan teknologi solid-state yang umum digunakan dalam sistem tenaga listrik. Pada bagian (a) hingga (c), ditampilkan relai dengan tipe pemasangan rak:

- (a) Relai untuk proteksi jarak tiga fasa dan gangguan tanah
- (b) Relai sistem perbandingan fasa terpisah
- (c) Relai proteksi jarak fasa dan tanah dengan kemampuan pilot

Selanjutnya, bagian (d) dan (e) menunjukkan relai dengan casing tipe “Flexitest” yang dirancang untuk pemasangan panel:

- (d) Relai untuk proteksi arus lebih tiga fasa dan gangguan tanah
- (e) Relai proteksi jarak fasa dan tanah dengan kemampuan pilot serupa dengan (c)

Relai-relai ini dirancang untuk memberikan perlindungan yang andal terhadap berbagai kondisi gangguan dalam sistem tenaga listrik, seperti arus lebih, gangguan tanah, dan gangguan jarak. Penggunaan teknologi mikroprosesor memungkinkan relai ini memiliki kemampuan deteksi yang lebih presisi dan respons yang lebih cepat dibandingkan dengan relai elektromekanis konvensional. Ada beberapa jenis relai yang umum digunakan yaitu :

1. *Differential relay* adalah Sebuah relay differensial didefinisikan sebagai relay yang bekerja ketika perbedaan fasor dari dua atau lebih listrik melebihi jumlah yang ditentukan[9]. Prinsip kerja relai ini adalah membandingkan arus masuk dan arus keluar dari suatu peralatan. Jika terjadi perbedaan signifikan, maka relai akan menganggapnya sebagai gangguan internal. Relai diferensial dapat digunakan sebagai pelindung peralatan seperti generator, bus, transformator dan saluran[9].
2. *Under/overvoltage relay* adalah relai yang bekerja ketika tegangan sistem berada di luar batas atas (overvoltage) atau bawah (undervoltage) yang telah ditentukan. Tegangan yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik atau gangguan operasional. Relai ini akan mengaktifkan alarm atau memutus beban untuk melindungi sistem. *Under/overvoltage relay* digunakan pada panel distribusi, sistem pembangkit, sistem kelistrikan industri, dan jaringan distribusi untuk menjaga kestabilan tegangan.
3. *Distance relay* adalah relai yang bekerja berdasarkan impedansi saluran listrik dengan cara mengukur tegangan dan arus gangguan yang terlihat pada relai, dengan membagi besaran dari tegangan dan arus gangguan. Perhitungan impedansi gangguan dapat menggunakan rumus :

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \dots\dots\dots (2.2)$$

Relai jarak akan bekerja dengan cara membandingkan impedansi gangguan yang terukur dengan impedansi setting,

dengan ketentuan : bila impedansi gangguan lebih kecil dari pada impedansi setting relai maka relai akan bekerja, dan bila impedansi gangguan lebih besar dari pada impedansi setting relai maka relai tidak akan bekerja.[10]. Relai ini umumnya digunakan pada saluran transmisi listrik.

4. *Under/overfrequency relay* adalah relai yang bekerja ketika frekuensi sistem menyimpang dari nilai normal, Relay Frekuensi berfungsi membaca besar frekuensi sekaligus memberikan perintah ketika menanggapi terjadinya perubahan frekuensi yang mencapai nilai diluar batas yang telah diatur. Relay frekuensi dibagi menjadi OFR (Over Frequency Relay) yang berfungsi sebagai pengaman kecepatan lebih yang mengakibatkan kelebihan frekuensi pada generator[11]. Dan UFR (Under Frequency Relay) yang berfungsi mengamankan jika frekuensi sistem menurun hingga berada diluar batas yang diijinkan atau nilai setting pada relay UFR[12]. Umumnya digunakan dalam pembangkit listrik, sistem interkoneksi grid.

Pada penelitian ini, digunakan Over Current Relay sebagai sistem proteksi utama pada kelistrikan pabrik pepsico untuk memproteksi jika ada gangguan arus seperti short circuit maupun overload pada sistem kelistrikan pabrik tersebut.

2.3 Over Current Relay

Over current relay (OCR) adalah rele pengaman yang berkerja terhadap adanya gangguan hubung singkat 3 fasa. Prinsip kerja *over current relay* yaitu ketika arus yang mengalir pada sistem melebihi batas yang diizinkan dengan cara memberikan sinyal kepada pemutus untuk bekerja[13]. Berikut adalah kondisi kerja relai arus lebih : $I_f > I_p$: Rele akan bekerja (trip), $I_f < I_p$: Rele tidak bekerja (block).

Nilai I_p adalah nilai arus kerja yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder transformator arus (CT). Sedangkan I_f adalah nilai arus gangguan yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder. Berdasarkan standar IEEE 242 mengenai koordinasi proteksi overcurrent relay, rele analog pada umumnya akan bekerja dengan waktu 0.3-0.4 detik. Sedangkan untuk rele digital berbasis mikroprosesor akan bekerja saat 0.2-0.3 detik[14]. Kondisi overcurrent (arus lebih) lebih sering disebabkan oleh beban berlebih (overload) pada sisi sekunder atau gangguan serius pada panel distribusi hilir, dibandingkan dengan

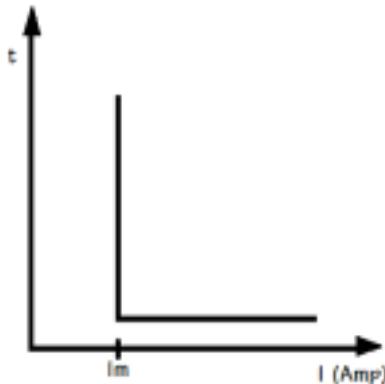
gangguan internal. Proteksi overcurrent dapat dianggap sebagai arus yang melebihi 100% namun masih di bawah 500% dari arus nominal. Arus yang melebihi 500% dari arus nominal dikategorikan sebagai arus ‘high-set’ atau ‘instantaneous’, dan dilindungi dengan cara berbeda dibandingkan overcurrent biasa.

Oleh karena itu, overcurrent sering diperlakukan sebagai kondisi ‘through-fault’ yang bisa dideteksi baik di sisi primer maupun sekunder, meskipun tidak harus secara bersamaan. Mendeteksi overcurrent di kedua sisi memang ideal, namun akan memerlukan koordinasi antara kurva proteksi dari dua relay, yang bisa jadi berasal dari tipe berbeda atau bahkan dari produsen berbeda, sehingga karakternya mungkin tidak cocok satu sama lain. Alternatifnya, kedua relay bisa disamakan, baik dari segi tipe maupun karakteristik kurvanya, sehingga pengaturannya bisa diselaraskan.

Dalam kondisi ini, relay yang bekerja lebih dulu akan memutuskan pemutus sirkuit (circuit breaker) di kedua sisi, baik secara langsung maupun melalui sistem intertrip. Berikut adalah beberapa jenis OCR yang umum digunakan, seperti :

1. Relai Arus Lebih Sesaat (Instantaneous)

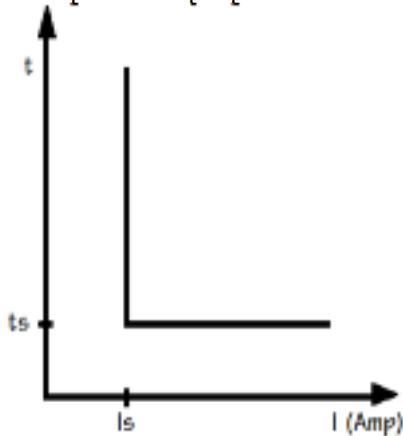
Relay arus lebih sesaat adalah relay arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat, untuk waktu kerjanya (20-100 ms)[15].



Gambar 2.4 Karakteristik relay arus lebih sesaat

2. Relai Arus Lebih Waktu Tetap (Definite Time)

Relay Arus Lebih Definite adalah relai dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya berapapun besarnya arus gangguan relai akan bekerja dengan waktu yang tetap[15]. Relay waktu tetap biasanya digunakan ketika beban sekunder relatif kecil dibandingkan kapasitas trafo, dan waktu start motor pendek (sekitar 1 detik). Pengaturan waktu dan arus perlu disesuaikan dengan karakteristik termal trafo (I^2T). Salah satu standar yang dapat digunakan adalah ANSI/IEEE C57.12-1980, yang mempertimbangkan kemungkinan terjadinya gangguan antar-beban dan rating trafo. Relai ini biasanya digunakan pada sistem yang tidak terhubung dengan jaringan udara, dan tidak terlalu sering mengalami gangguan. Relai jenis ini juga paling murah dan mudah dipasang, namun jarang digunakan pada aplikasi kelautan atau platform lepas pantai.

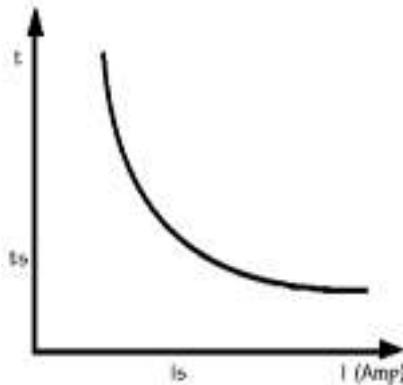


Gambar 2.5 Karakteristik relai arus lebih waktu tertentu

3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse Time)

Relai Arus Lebih Inverse adalah relai dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relay akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relai[15]. Bentuk dari perbandingan relai arus lebih waktu terbalik ini ada berbagai macam, dapat digolongkan menjadi : standart inverse, long inverse, very inverse, dan extremely inverse. Relai dengan waktu

invers standar atau sangat invers sering dipilih ketika terdapat beban motor induksi besar yang dinyalakan langsung (direct-on-line) dan memiliki waktu start yang lama. Jenis relai ini cocok karena mampu menangani arus start yang besar dengan tetap memberikan proteksi selektif terhadap gangguan. Relai sangat invers dan sangat ekstrim invers digunakan pada sistem di mana tingkat gangguan di sisi hilir lebih rendah dibandingkan di sisi hulu, seperti pada panel utama generator. Jenis relay ini juga cocok bila diperlukan koordinasi dengan fuse yang berada di sisi hulu atau hilir. Relai sangat ekstrim invers memiliki karakteristik kurva hukum kuadrat terbalik (inverse square law) yang lebih dominan pada arus gangguan besar. Karakteristik ini sangat sesuai dengan karakteristik I^2t dari kabel, motor, trafo, dan resistor pembumian netral (NERs).



Gambar 2.6 Karakteristik relai arus lebih waktu terbalik

Karakteristik standard inverse sering digunakan sebagai acuan dalam sistem proteksi arus lebih. Dalam metode ini, titik tertentu pada kurva karakteristik dijadikan dasar untuk membandingkan dengan jenis karakteristik lainnya, seperti very inverse dan extremely inverse. Umumnya, titik referensi yang digunakan adalah ketika arus relay mencapai 10 kali arus nominal, dengan waktu operasi sebesar 3 detik. Saat ini, sebagian besar literatur modern serta standar IEC 60255 menggunakan rumus baku untuk masing-masing jenis karakteristik relay. Pendekatan ini dinilai lebih konsisten dan memudahkan dalam

perhitungan maupun analisis koordinasi proteksi. Berikut rumus baku untuk masing-masing jenis karakteristik :

➤ Standart Inverse

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{0,02} - 1} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.3)$$

➤ Very Inverse

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{1,0} - 1} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.4)$$

➤ Extremely Inverse

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

I = arus gangguan

I_n = arus nominal relay

Konstanta pada bagian atas (numerator) adalah nilai tetap yang berkaitan dengan pengali waktu (time multiplier) pada relay. Jika nilai konstanta pada bagian atas diubah sementara, maka kurva-kurva karakteristik ini bisa dibandingkan secara serupa dengan metode lama seperti pada standar BS142[16].

Untuk melakukan setting relai arus lebih, Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung arus nominal dari transformator tenaga. Perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan rumus :

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{base}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

I_{base} = Arus nominal (sesuai sisi transformator) (A)

V_{base} = Tegangan (sesuai sisi transformator) (kV)

S_{base} = Daya semu (kVA)

➤ Arus setting relai arus lebih

Untuk mendapatkan nilai arus setting dari relai arus lebih dapat dihitung menggunakan rumus :

$$I_{set(primer)} = 1,2 \times I_{nominal \text{ trafo}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$I_{set(primer)}$ = Arus setting relai arus lebih sisi primer (A)

$I_{nominal \text{ trafo}}$ = Nilai arus nominal trafo (A)

Nilai tersebut ialah nilai arus setting primer, untuk mendapatkan nilai arus setting sekunder maka dapat menggunakan rumus :

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$I_{set(sekunder)}$ = Arus setting relai arus lebih sisi sekunder (A)

➤ Setting waktu (TMS) relai arus lebih

Untuk setting waktu TMS relai arus lebih dapat dihitung menggunakan rumus :

➤ Standart Inverse

$$TMS = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}{\beta} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

t = Waktu operasi (s)

TMS = Time multiple setting

I_{fault} = Arus gangguan hubung singkat (A) diambil dari arus gangguan hubung singkat 3 fasa

I_{set} = Arus setting primer pada relay (A)

α = Konstanta standart inverse

β = Konstanta standart inverse

➤ Very Inverse

$$TMS = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I}{I_s} \right) - 1} \dots\dots\dots (2.10)$$

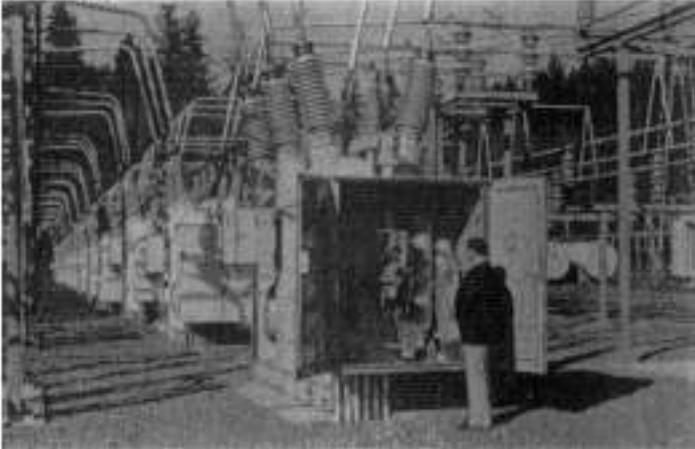
➤ Extremely Inverse

$$TMS = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1} \dots\dots\dots (2.11)$$

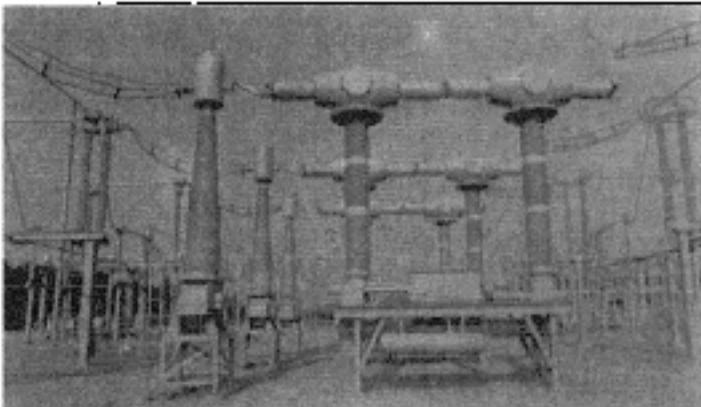
2.4 Circuit Breaker

Circuit Breaker/Pemutus Tenaga (PMT) adalah alat yang paling penting dari semua alat penghilang / peredam dari gangguan tenaga. PMT mempunyai 2 kemampuan untuk menghilangkan arus hubung singkat yang sangat besar yang melebihi nilai nominal dari arus beban yang melewati konduktor maupun isolator [17]. Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. CB atau PMT dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal

maupun pada saat terjadi gangguan seperti arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya.



Gambar 2.7 Circuit breaker tiga fasa 115 kV



Gambar 2.8 Pemutus sirkuit tangki daya 500 kV

Pemutus sirkuit yang biasa digunakan untuk memutuskan area yang mengalami gangguan atau kerusakan ditunjukkan pada Gambar 2.6. Gambar 2.6 menunjukkan pemutus sirkuit tiga fasa 115 kV jenis minyak dengan kontrol pneumatik di stasiun luar ruangan.

Pemutus jenis ini dikenal dengan sebutan "dead-tank breaker", di mana tangki atau rumah pemutus berada pada potensi tanah. Jenis ini banyak digunakan dalam berbagai desain dan variasi. Media yang digunakan untuk pemutusan sirkuit termasuk udara, gas kompresi, udara bertekanan, dan vakum.

Gambar 2.7 menunjukkan pemutus sirkuit live-tank 500 kV, di mana mekanisme pemutusan dan rumahnya berada pada tegangan tinggi dan diisolasi dari tanah melalui kolom porselen. Pemutus jenis ini memiliki trip coil dan mekanisme untuk mengoperasikan setiap kutub atau fase secara terpisah. Untuk jenis ini, relay harus mengenergikan ketiga trip coil untuk membuka sirkuit tiga fasa, yang dapat disambungkan dalam seri atau paralel. Penyambungan trip coil dalam seri lebih disukai karena memudahkan pemantauan kontinuitas sirkuit dan membutuhkan arus trip yang lebih rendah. Pada tegangan lebih rendah, pemutus sirkuit dan relay sering digabungkan dalam satu unit operasi.

2.5 Dc power supply system



Gambar 2.9 Ruang baterai di gardu induk

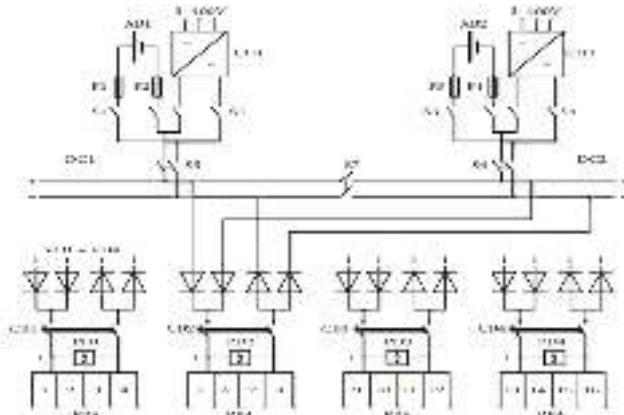


Gambar 2.10 Pengisi daya baterai pada gardu induk

Gambar 2.9 adalah ruangan baterai di gardu induk, terdiri dari beberapa unit baterai stasioner (stationary battery) yang diatur dalam beberapa baris. Baterai ini berfungsi sebagai sumber daya cadangan (backup power) untuk sistem proteksi, kontrol, dan komunikasi apabila terjadi gangguan atau kegagalan pada catu daya utama AC. Gambar 2.10 menunjukkan panel pengisi daya baterai (battery charger panel) yang digunakan untuk mengisi dan menjaga tegangan baterai pada level optimal. Panel ini terdiri dari berbagai instrumen monitoring dan pengaturan, termasuk:

- Rectifier: Mengubah tegangan AC menjadi DC untuk mengisi baterai.
- Panel indikator dan meter: Menampilkan tegangan, arus pengisian, dan status operasional.
- Controller: Mengatur mode pengisian (float/boost charge).

Keandalan sistem suplai ini berpengaruh besar terhadap kemampuan sistem tenaga untuk menjalankan fungsi proteksi dan kontrol secara konsisten. Salah satu upaya peningkatan keandalan tersebut adalah penerapan sistem cadangan atau backup system pada suplai daya DC.



Gambar 2.11 Sistem suplay daya DC dengan konfigurasi redundansi (backup) menggunakan dua sumber DC

Gambar 2.11 merupakan sistem suplay daya DC dengan konfigurasi redundansi menggunakan dua sumber DC. Dalam konfigurasinya, sistem relay protection and automation (RPA) menerima suplai dari kedua bus tersebut secara bersamaan, yaitu melalui dioda. Ini dikenal sebagai hot backup using diodes, yang memungkinkan pengalihan daya secara otomatis dan simultan jika salah satu suplai gagal. Berikut penjelasan simbol dan singkatan dari gambar 2.11 diatas :

- AB1 dan AB2 : Accumulator Battery group 1 dan 2
- CH1 dan CH2 : Battery Chargers yang mengubah daya AC (3~400V) menjadi DC
- F1–F4 : Sekring untuk perlindungan sirkuit
- S1–S7 : Saklar pemutus (switches)
- DC1 dan DC2 : Dua bus DC utama yang masing-masing terhubung ke satu grup baterai dan charger
- VD1–VD4 : Dioda-dioda yang digunakan sebagai elemen pembagi arus sekaligus pelindung (rectifier diodes)
- CB1–CB4 : Circuit Breaker untuk masing-masing grup distribusi daya
- PD1–PD4 : Perangkat Distribusi Daya (Power Distribution devices) ke sistem RPA

- RPA : Relay Protection and Automation, terdiri dari berbagai input/output terminal ke sistem proteksi dan otomasi

Setiap grup RPA (PD1 sampai PD4) menerima daya dari kedua bus DC1 dan DC2 melalui dioda. Konfigurasi ini memungkinkan sistem tetap beroperasi meskipun salah satu suplai gagal. Dioda mencegah arus balik dan membagi beban antara dua bus secara otomatis.

Walaupun efisien dan sederhana, sistem ini memiliki kelemahan yang cukup serius. Salah satu potensi bahaya adalah saat terjadi sambungan seri antara DC1 dan DC2 melalui dioda baik karena kesalahan instalasi atau gangguan sehingga menyebabkan tegangan total mencapai 460 V. Ini bisa merusak seluruh perangkat RPA yang biasanya hanya dirancang untuk menerima 240 VDC.

Pencegahan bisa dilakukan dengan memastikan saklar S7 tetap terbuka dan melakukan pengujian sistem secara hati-hati. Namun, pengoperasian dua sistem baterai secara paralel juga tidak direkomendasikan, mengingat potensi bahaya kehilangan daya penuh jika satu jalur mengalami korsleting[18].

2.6 Current Transformator



Gambar 2.12 Current transformer

Current Transformer (CT) adalah alat penting dalam sistem proteksi tenaga listrik. Hampir semua CT untuk aplikasi proteksi memiliki rating arus sekunder sebesar 5 A secara universal. Meskipun ada rating lain seperti 1 A, penggunaan rating ini jarang dan lebih umum digunakan di luar negeri. Rating sekunder yang lebih rendah seperti 1 A bisa memberikan keuntungan khusus, misalnya ketika dibutuhkan kabel panjang antara CT dan relay seperti pada instalasi tegangan tinggi (HV) [8]. Namun, penurunan arus sekunder bukan berarti mengurangi energi yang dibutuhkan untuk mengaktifkan relay. Dengan nilai VA tetap, arus sekunder yang lebih kecil akan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi, yang memerlukan isolasi lebih besar antara sisi primer dan sekunder. Secara umum, penggunaan solid-state relay modern yang memiliki beban sangat rendah membuat isu tentang beban pada CT menjadi jauh lebih kecil. Kinerja CT pada komponen AC simetris ditentukan oleh kemampuan CT untuk menghasilkan arus sekunder yang sebanding dengan arus primer tanpa menyebabkan saturasi. Saturasi dapat mengganggu akurasi, terutama dalam aplikasi proteksi. Jika CT tidak mengalami saturasi, maka arus sekunder (I_S) dapat dihitung dengan rumus :

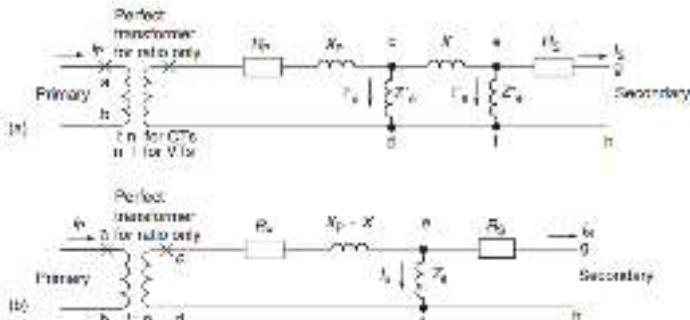
$$I_S = \frac{I_P}{R_C} \text{ (A) atau } I_S = I_P \text{ (per unit)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

I_S = arus sekunder

I_P = arus primer

R_C = rasio CT (jumlah lilitan)



Gambar 2.13 Diagram Ekuivalen Untuk Transformator Instrumen

Pada gambar 2.13 menunjukkan dua model ekivalen CT yaitu :

- a) Class T CTs dan VTs : memperhitungkan adanya fluks bocor yang signifikan dalam inti transformator. Model ini lebih realistis untuk alat ukur dengan akurasi yang tidak terlalu tinggi.
- b) Class C CTs : mengabaikan fluks bocor karena diasumsikan tidak signifikan. Model ini cocok untuk CT dengan nilai presisi yang tinggi, digunakan dalam sistem akurasi tinggi seperti class C.

Dalam kedua diagram, terlihat bahwa ada elemen resistif dan reaktif di antara lilitan primer dan sekunder yang menggambarkan kompleksitas internal CT, seperti resistansi lilitan dan reaktansi kebocoran. CT yang dipasang di saluran fasa dari sistem tenaga listrik harus memiliki rasio (R_C) yang dipilih sedemikian rupa agar arus sekunder maksimum tidak melebihi 5 A. Hal ini karena standar global menggunakan 5 A sebagai dasar kalibrasi alat ukur dan proteksi.

Dengan memilih rasio yang memberikan arus sedikit di bawah 5 A saat beban maksimum, maka instrumen proteksi dan pengukuran dapat beroperasi dengan akurat tanpa risiko kelebihan skala. Namun, arus eksitasi CT (I_e) tidak pernah benar-benar nol karena dibutuhkan untuk memagnetisasi inti CT. Arus ini harus diperhitungkan dan dipastikan cukup kecil agar tidak mengganggu pengukuran atau proteksi. Untuk memastikannya digunakan:

1. Rumus transformator ideal
2. Kurva kinerja CT
3. Kelas akurasi menurut ANSI/IEEE

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini difokuskan untuk meneliti koordinasi antar komponen proteksi pada sistem kelistrikan pabrik pepsico Indonesia snacks greenfield jawa barat. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kajian literatur
Yaitu kajian pustaka yang mempelajari teori-teori terkait kemudian referensi berupa buku-buku dan jurnal Internasional yang ada dan berhubungan dengan penelitian ini.
2. Pengumpulan data
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sistem kelistrikan pabrik berupa single line diagram, data circuit breaker, data beban, data overcurrent relay, data current transformer, data transformator daya, data penghantar. Setelah mendapatkan data-data tersebut maka selanjutnya akan disimulasikan dengan bantuan software ETAP (Electric Transient Analysis Program).
3. Analisa
Hasil simulasi yang didapatkan akan digunakan sebagai bahan untuk melakukan Analisa koordinasi komponen proteksi baik pada kondisi normal maupun pada kondisi sistem kelistrikan pabrik tersebut mengalami gangguan hubung singkat.

Pada gambar 3.1 diatas flowchart sistem dapat dijelaskan yaitu :

1. Mulai
2. Mengumpulkan data meliputi, data circuit breaker, data beban, data overcurrent relay, data current transformer, data transformator daya, data penghantar.
3. Membuat *Single Line Diagram* (SLD) yang merepresentasikan konfigurasi sistem tenaga listrik pabrik dan peletakan sistem proteksi berdasarkan data yang telah dikumpulkan.
4. Melakukan simulasi aliran daya pada kondisi normal (Base case) guna mengetahui distribusi arus dan tegangan pada tiap titik serta menentukan nilai arus nominal sebagai dasar untuk setting proteksi.
5. Menjalankan simulasi gangguan hubung singkat guna mengetahui nilai arus gangguan (fault current) yang digunakan untuk menentukan rating pemutus arus (CB) dan OCR.
6. Menentukan parameter setting OCR (pickup current dan time delay) berdasarkan hasil simulasi load flow dan short circuit agar sistem proteksi bekerja secara cepat dan selektif.
7. Melakukan simulasi koordinasi antar OCR untuk memastikan urutan kerja relay dan CB sesuai prinsip selektivitas proteksi, yaitu pemutusan dimulai dari titik terdekat dengan gangguan.
8. Mengevaluasi hasil simulasi koordinasi proteksi :
 - Jika urutan pemutusan CB telah sesuai (mulai dari titik terdekat dengan gangguan), maka proses dilanjutkan ke tahap akhir.
 - Jika belum sesuai, maka dilakukan penyesuaian ulang pada setting OCR dan simulasi koordinasi diulang hingga hasil sesuai.
9. Menyajikan hasil akhir koordinasi proteksi dalam bentuk grafik Kurva TCC (Time Current Characteristic) yang menunjukkan kerja OCR secara selektif dan terkoordinasi.
10. Selesai

3.3 Sistem Kelistrikan Pabrik

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data Single Line Diagram, data sistem kelistrikan pabrik pepsico yang digunakan terdiri dari data beban pada tiap sub-panel, data penghantar, data circuit breaker, data overcurrent relay, data power transformer, dan data current transformer.

3.3.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Pabrik Pepsico



Gambar 3.2 SLD Sistem Kelistrikan Pabrik Pepsico

3.3.2 Data Beban

Tabel 3.1 Beban LVMDP-1

LVMDP-1			
No	Nama Panel	Daya (KW)	Cos Phi
1	SDB-PACK.RMWH & SDB-FGWH	175	0.85
2	SDB-PACK & SDB-PROCESS.1	324	0.85
3	SDB-PROCESS.2 & SDB-PROCESS.3	363.5	0.85

4	SDB-MB.1F	641.8	0.85
5	SDB-MB.2F	394	0.85
6	SDB-UT.PUMP	96	0.85
7	SDB-POTA.STO	522.1	0.85
8	SDB-WWTP	115.78	0.85

Tabel 3.2 Beban EMDB

EMDB			
No	Nama Panel	Daya (KW)	Cos Phi
1	EP-GH.3	0.85	0.85
2	EDB-FGWH	5.07	0.85
3	EDB-PACK	1.6	0.85
4	EDB-PROCESS.1	0.22	0.85
5	EDB-PROCESS.2	1.09	0.85
6	EDB-PROCESS.3	0.27	0.85
7	EDB-MB.1F	4.86	0.85
8	EDB-MB.2F	52	0.85
9	EP-GH.1	53.65	0.85
10	EDB-UT.PUMP	5.54	0.85
11	SDB-FIRE PUMP	321	0.85
12	EDB-POTA.OFF	1.39	0.85
13	EDB-WWTP	5	0.85
14	EDB-BIOMAS	9	0.85
15	EP-GH.2	0.85	0.85
16	EDB-SERVER.MB.2F	18	0.85

3.3.3 Data Penghantar

Tabel 3.3 Penghantar LVMDP-1

From	To	Penghantar	KHA (A)
LVMDP-1	SDB-PACK.RMWH & SDB-FGWH	Busduct AL	1250
LVMDP-1	SDB-PACK & SDB-PROCESS.1	Busduct AL	1600
LVMDP-1	SDB-PROCESS.2 & SDB-PROCESS.3	Busduct AL	1600
LVMDP-1	SDB-MB.1F	Busduct AL	2500
LVMDP-1	SDB-MB.2F	Copper Cables	382
LVMDP-1	SDB-UT.PUMP	Busduct AL	1600
LVMDP-1	SDB-POTA.STO	Busduct AL	800
LVMDP-1	SDB-WWTP	Copper Cables	166.4

Tabel 3.4 Penghantar EDMB

From	To	Penghantar	KHA (A)
LVMDP-1	ATS	Busduct AL	1600
ATS	EMDB	Busduct AL	1250
EMDB	EP-GH.3	Copper Cables	147
EMDB	EDB-FGWH	Copper Cables	179
EMDB	EDB-PACK	Copper Cables	147
EMDB	EDB-PROCESS.1	Copper Cables	147
EMDB	EDB-PROCESS.2	Copper Cables	149
EMDB	EDB-PROCESS.3	Copper Cables	149

EMDB	EDB-MB.1F	Copper Cables	229
EMDB	EDB-MB.2F	Copper Cables	322
EMDB	EP-GH.1	Copper Cables	278
EMDB	EDB-UT.PUMP	Copper Cables	179
EMDB	SDB-FIRE PUMP	Copper Cables	435
EMDB	EDB- POTA.OFF	Copper Cables	147
EMDB	EDB-WWTP	Copper Cables	25
EMDB	EDB-BIOMAS	Copper Cables	34
EMDB	EP-GH.2	Copper Cables	147
EMDB	EDB- SERVER.MB.2F	Copper Cables	278

3.3.4 Data Circuit Breaker

Tabel 3.5 Data Circuit Breaker

No	Panel	Circuit Breaker	Arus Nominal
1	SDB-PACK.RMWH & SDB-FGWH	ACB	1000
2	SDB-PACK & SDB-PROCESS.1	ACB	1600
3	SDB-PROCESS.2 & SDB-PROCESS.3	ACB	1600
4	SDB-MB.1F	ACB	1600
5	SDB-MB.2F	ACB	800
6	SDB-UT.PUMP	MCCB	630
7	SDB-POTA.STO	ACB	1600
8	SDB-WWTP	MCCB	500
9	EP-GH.3	MCCB	40
10	EDB-FGWH	MCCB	40

11	EDB-PACK	MCCB	40
12	EDB-PROCESS.1	MCCB	40
13	EDB-PROCESS.2	MCCB	40
14	EDB-PROCESS.3	MCCB	40
15	EDB-MB.1F	MCCB	80
16	EDB-MB.2F	MCCB	250
17	EP-GH.1	MCCB	160
18	EDB-UT.PUMP	MCCB	100
19	SDB-FIRE PUMP	ACB	1250
20	EDB-POTA.OFF	MCCB	80
21	EDB-WWTP	MCCB	40
22	EDB-BIOMAS	MCCB	40
23	EP-GH.2	MCCB	40
24	EDB-SERVER.MB.2F	MCCB	160

3.3.5 Data Overcurrent Relay

Tabel 3.6 Data Overcurrent Relay

No	Merk	Tipe
1	Schneider Electric	P521

3.3.6 Data Power Transformer

Tabel 3.7 Data Power Transformer

No	Nama	Tegangan Primer-Sekunder (kV)	Daya (kVA)
1	Trafo LVMDP-1	20 – 0.4	2500

3.3.7 Data Current Transformer

Tabel 3.8 Data Current Transformer

No	Panel	Kapasitas (A)
1	LVMDP-1	4000/5
2	SDB-PACK.RMWH & SDB-FGWH	1000/5
3	SDB-PACK & SDB-PROCESS.1	1600/5
4	SDB-PROCESS.2 & SDB-PROCESS.3	1600/5
5	SDB-MB.1F	1600/5
6	SDB-MB.2F	800/5
7	SDB-UT.PUMP	630/5
8	SDB-POTA.STO	1600/5
9	SDB-WWTP	500/5
10	EMDB	1250/5
11	EP-GH.3	50/5
12	EDB-FGWH	50/5
13	EDB-PACK	50/5
14	EDB-PROCESS.1	50/5
15	EDB-PROCESS.2	50/5
16	EDB-PROCESS.3	50/5
17	EDB-MB.1F	100/5
18	EDB-MB.2F	250/5
19	EP-GH.1	160/5
20	EDB-UT.PUMP	125/5
21	SDB-FIRE PUMP	1250/5
22	EDB-POTA.OFF	100/5
23	EDB-WWTP	50/5
24	EDB-BIOMAS	50//5

25	EP-GH.2	50/5
26	EDB-SERVER.MB.2F	160/5

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Pada tahap awal, dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa menggunakan perangkat lunak ETAP. Tujuannya adalah mengetahui besar arus gangguan di berbagai titik sistem, sebagai dasar untuk perhitungan setting proteksi. Simulasi ini menggunakan data dari single line diagram (SLD) pabrik, dengan titik-titik gangguan ditempatkan pada bus utama seperti panel yang terhubung pada LVMDP-1 dan EMDB. Berikut merupakan hasil simulasi arus gangguan 3 fasa pada sistem kelistrikan di pabrik tersebut.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Arus Gangguan 3 Fasa

No	Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat 3 fasa (kA)
1	LVMDP 1	0,4	75,934
2	FGWH dan PACK RMWH	0,4	85,712
3	PROCESS 1 & PACK	0,4	85,063
4	PROCESS 2 & 3	0,4	84,788
5	MB.1F	0,4	83,242
6	MB.2F	0,4	84,467
7	POTA.STO	0,4	85,838
8	UT.PUMP	0,4	84,537
9	WWTP	0,4	86,291
10	EMDB	0,4	86,291

Dari hasil simulasi pada tabel 4.1 diperoleh arus gangguan terbesar berada di sisi WWTP dan EMDB dengan nilai 86,291 kA, Nilai arus gangguan pada tabel 4.1 ini digunakan untuk menentukan pickup current dan time multiplier setting (TMS) pada OCR, serta untuk memastikan bahwa circuit breaker (CB) memiliki kapasitas pemutusan yang cukup.

Penilaian jenis pengaturan atau karakteristik waktu kerja relay over current (OCR) dilakukan berdasarkan standar kurva waktu arus, seperti *Standart Inverse*, *Very Inverse*, dan *Extremely Inverse*, yang telah ditetapkan dalam standar internasional seperti IEC 60255.

Dalam skripsi ini, jenis pengaturan yang digunakan adalah *Standard Inverse* (SI), karena selain memiliki *time delay* yang statis dan juga memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga kurva karakteristik jenis ini dapat memberikan tunda waktu tergantung dari arus yang terukur. Makin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya[7]. Untuk cara mensetting relai OCR yaitu :

- Arus *Short circuit* 3 fasa berdasarkan rumus (2.1) pada bus LVMDP-1 :

$$I_{sc} = \frac{V_s}{\sqrt{3} \times Z_{eq}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times (0,00032+0,00272)} = 75,96 \text{ kA}$$

- *Setting Relay* OCR :

Incoming Breaker LVMDP-1 :

Data-data :

CT *ratio* : 4000 / 5 A

Pickup Current = 4000 A

Kurva TCC : *Standard Inverse*

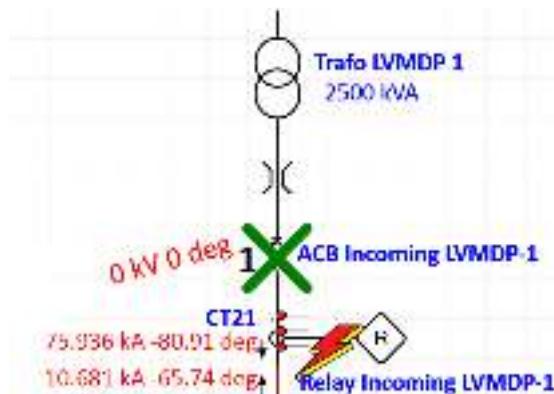
$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{0,02} - 1} \text{ (detik)} = t = \frac{0,14}{\left(\frac{75934}{5}\right)^{0,02} - 1} = 0,6 \text{ s}$$

$$\text{TMS} = t \times \frac{\left[\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^\alpha - 1\right]}{\beta} = 0,6 \times \frac{\frac{75934^{0,02}}{4000} - 1}{0,14} = 0,25 \text{ s}$$

4.2 Koordinasi Proteksi Overcurrent Relay

Untuk koordinasi proteksi *overcurrent relay* dilakukan simulasi pada software ETAP yaitu *star-protection & coordination* dengan total 10 percobaan *trip* pada saluran yang melewati relai LVMDP-1, SDB-FGWH, SDB-PACK.RMWH, SDB-PACK, SDB-PROCESS.1, SDB-PROCESS.2, SDB-PROCESS.3, SDB-MB.1F, SDB-MB.2F, SDB-UT.PUMP, SDB-POTA.STO, SDB-WWTP, SDB-FIRE.PUMP. Mengoordinasikan *overcurrent relay* yang terhubung pada bus di atas dengan over current relay pada bus incoming bus LVMDP 1. Hasil yang didapatkan setelah simulasi koordinasi proteksi adalah urutan trip dari circuit breaker terdekat lokasi gangguan dan kurva TCC.

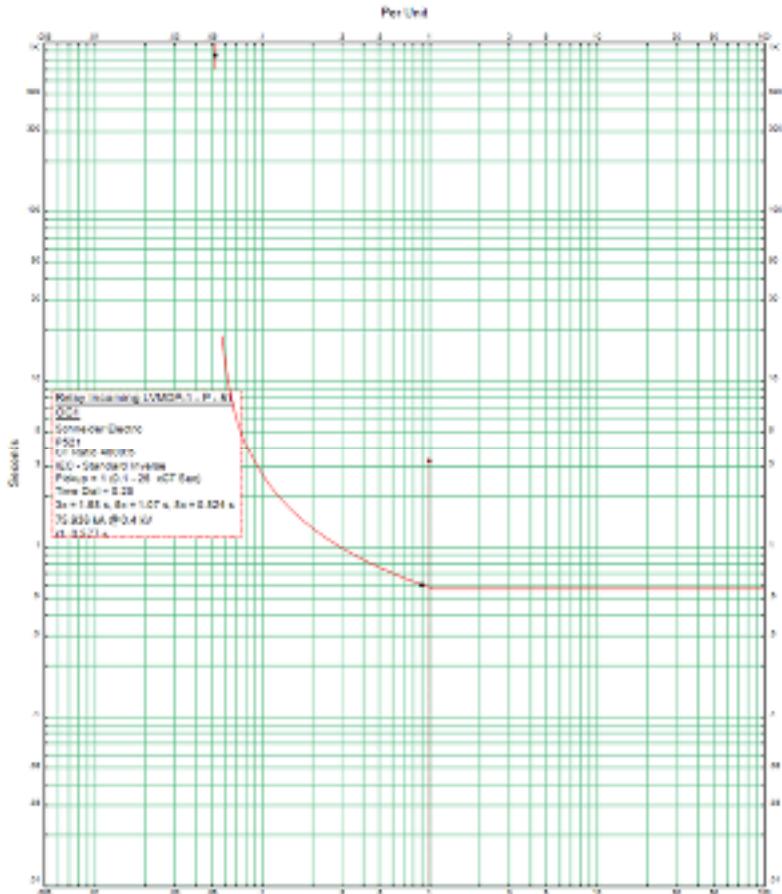
4.2.1 Simulasi Proteksi Pada Bus LVMDP-1



Gambar 4.1 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus LVMDP-1

Gambar 4.1 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (*circuit breaker*) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus LVMDP-1, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Incoming LVMDP-1, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut.

4.2.2 Kurva TCC pada Relai Incoming LVMDP-1



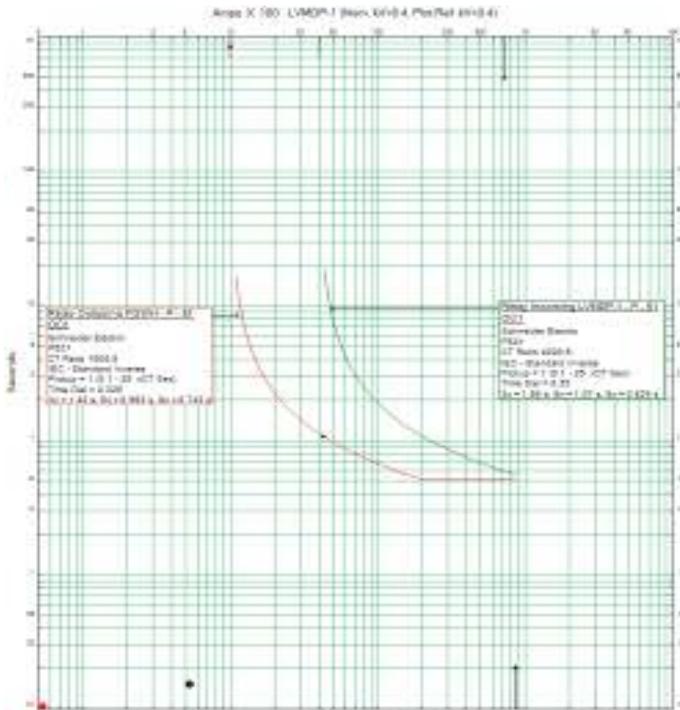
Gambar 4.2 Time Current Characteristic pada relai incoming LVMPD-1

Gambar 4.2 menunjukkan kurva Time Current Characteristic (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada saluran distribusi LVMDP-1, yaitu relai incoming LVMDP-1. Relai menggunakan karakteristik IEC Standard Inverse dan merek Schneider Electric tipe P521.

terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

Urutan kerja ini menunjukkan bahwa sistem proteksi telah berhasil dikonfigurasi secara selektif, di mana pemutusan dimulai dari titik yang paling dekat dengan lokasi gangguan sebelum dilanjutkan ke sisi hulu (*upstream*), sehingga dapat meminimalkan area yang terdampak dan menjaga kontinuitas suplai pada bagian sistem lainnya.

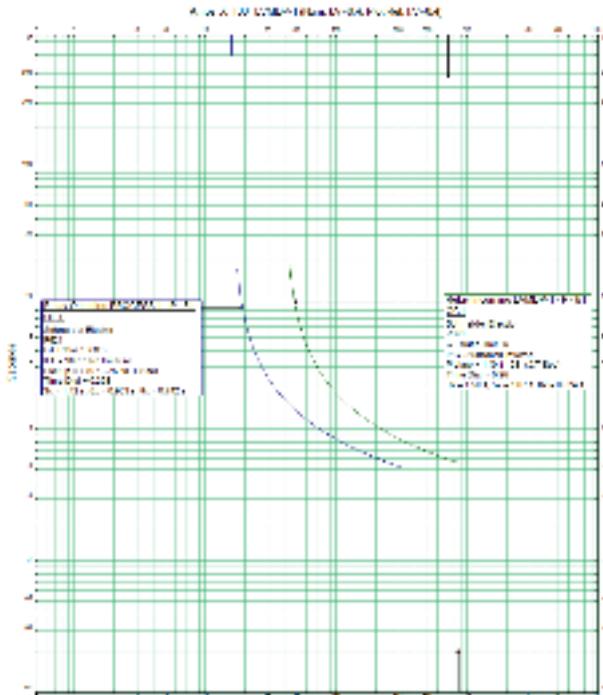
4.2.4 Kurva TCC pada Relai Outgoing FGWH dan Incoming LVMDP-1



Gambar 4.4 Time Current Characteristic pada relai outgoing FGWH dan Incoming LVMDP-1

Gambar 4.5 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (circuit breaker) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB PACK dan PROCES 1, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing PACK dan PROCES 1, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka ACB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

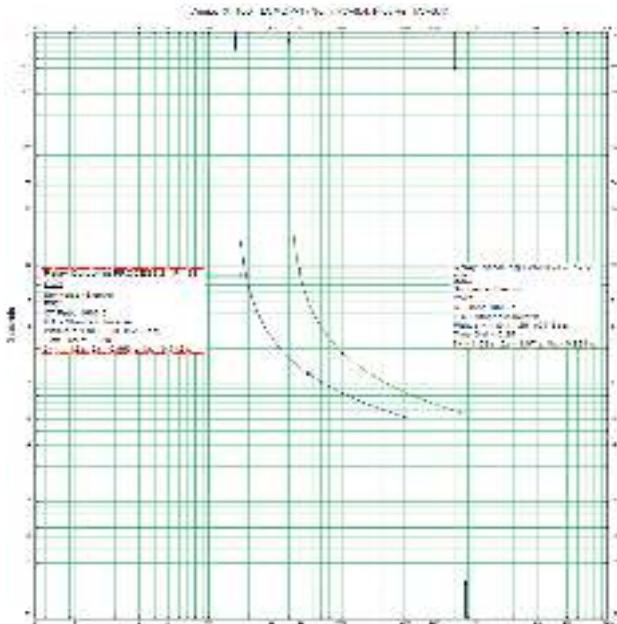
4.2.6 Kurva TCC pada Relai Outgoing PROCESS.1 dan Incoming LVMDP-1



Gambar 4.6 Time Current Characteristic pada relai outgoing PROCESS.1 dan Incoming LVMDP-1

Gambar 4.7 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (circuit breaker) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB PROCES 2 dan PROCES 3, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing PROCES 2 dan PROCES 3, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka ACB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

4.2.8 Kurva TCC pada Relai Outgoing PROCESS.2 dan Incoming LVMDP-1



Gambar 4.8 Time Current Characteristic pada relai outgoing PROCESS.2 dan Incoming LVMDP-1

Gambar 4.8 memperlihatkan Kurva TCC koordinasi antara relay outgoing PROCESS-2 dan relay incoming LVMDP-1 pada sistem

distribusi tegangan rendah 400 V. Kedua relay menggunakan karakteristik IEC Standard Inverse dan tipe Schneider Electric P521.

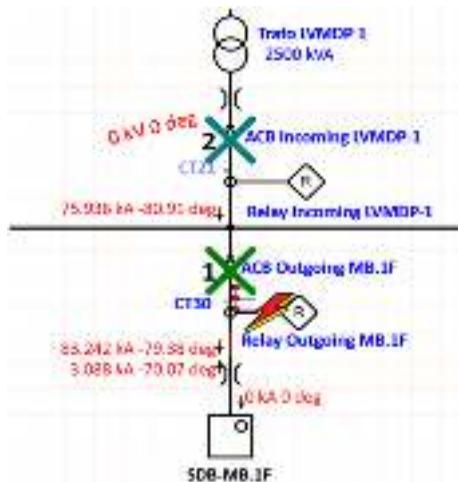
Relay PROCESS-2 disetel dengan CT ratio 1600:5, pickup 1, dan TMS 0.225. Sedangkan relay incoming LVMDP-1 menggunakan CT ratio 4000:5, pickup 1, dan TMS 0.25.

Dari kurva terlihat bahwa relay PROCESS-2 bekerja lebih cepat dibandingkan relay incoming LVMDP-1, ditunjukkan oleh posisi kurva yang berada di sebelah kiri dan bawah pada grafik TCC.

Waktu kerja relay PROCESS-2 pada arus 3x, 5x, dan 8x pickup adalah 1,42 s, 0,963 s, dan 0,742 s, sedangkan relay incoming bekerja pada 1,58 s, 1,07 s, dan 0,824 s untuk arus yang sama.

Dari kurva TCC yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa kurva relay outgoing PROCESS-2 (TDS) bekerja di 0,2 detik sedangkan kurva relay incoming LVMDP-1 (TDS) bekerja di 0,225 detik. Artinya relay outgoing PROCESS-2 bekerja lebih cepat dalam memutus gangguan arus lebih.

4.2.9 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-MB.1F

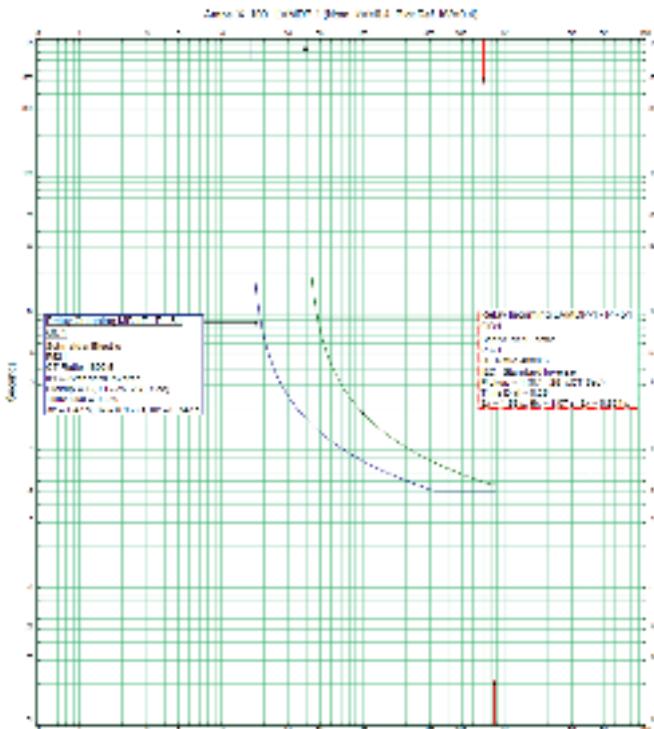


Gambar 4.9 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus MB.1F

Gambar 4.9 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (circuit breaker) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi

gangguan dilakukan pada area SDB-MB 1F, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing MB 1F, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka ACB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

4.2.10 Kurva TCC pada Relai Outgoing MB.1F dan Incoming LVMDP-1



Gambar 4.10 Time Current Characteristic pada relai outgoing MB.1F dan Incoming LVMDP-1

Kurva TCC gambar 4.10 diatas menunjukkan koordinasi antara relay outgoing MB.1F dan relay incoming LVMDP-1. Kedua relay

menggunakan tipe Schneider Electric P521 dengan karakteristik IEC Standard Inverse.

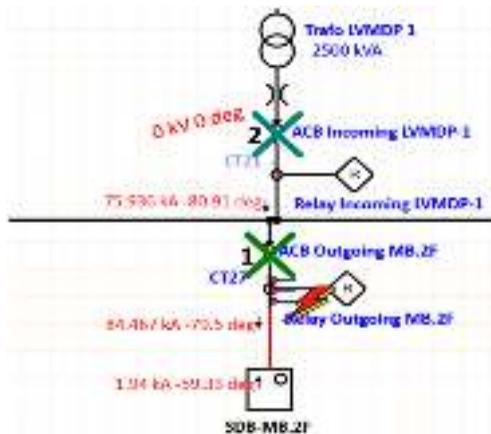
Relay MB.1F disetel dengan CT ratio 1600:5, pickup 1, dan TMS 0.225, sementara relay incoming LVMDP-1 memiliki CT ratio 4000:5, pickup 1 dan TMS 0.25.

Hasil kurva menunjukkan bahwa relay outgoing MB.1F bekerja lebih cepat daripada relay incoming pada arus gangguan 3x, 5x, dan 8x pickup, yang ditunjukkan dari posisi kurva relay outgoing yang berada di sebelah kiri dan bawah kurva relay incoming.

Waktu kerja relay MB.1F tercatat 1,42 s (3x), 0,963 s (5x), dan 0,742 s (8x), sedangkan relay incoming LVMDP-1 bekerja pada 1,58 s, 1,07 s, dan 0,824 s.

Dari kurva TCC yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa kurva relay outgoing MB.1F (TDS) bekerja di 0,225 detik sedangkan kurva relay incoming LVMDP-1 (TDS) bekerja di 0,25 detik. Artinya relay outgoing MB.1F bekerja lebih cepat dalam memutus gangguan arus lebih.

4.2.11 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-MB.2F

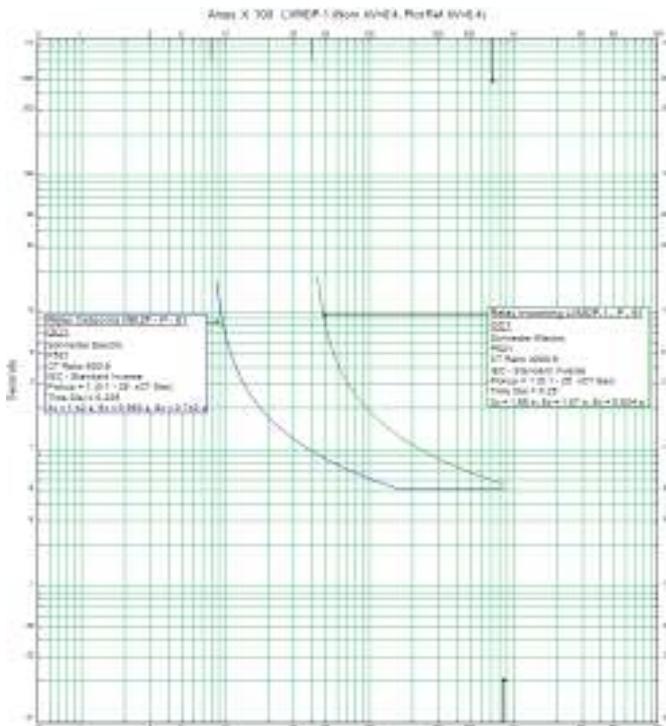


Gambar 4.11 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus MB.2F

Gambar 4.11 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (circuit breaker) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi

gangguan dilakukan pada area SDB-MB 2F, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing MB 2F, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka ACB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

4.2.12 Kurva TCC pada Relai Outgoing MB.2F dan Incoming LVMDP-1

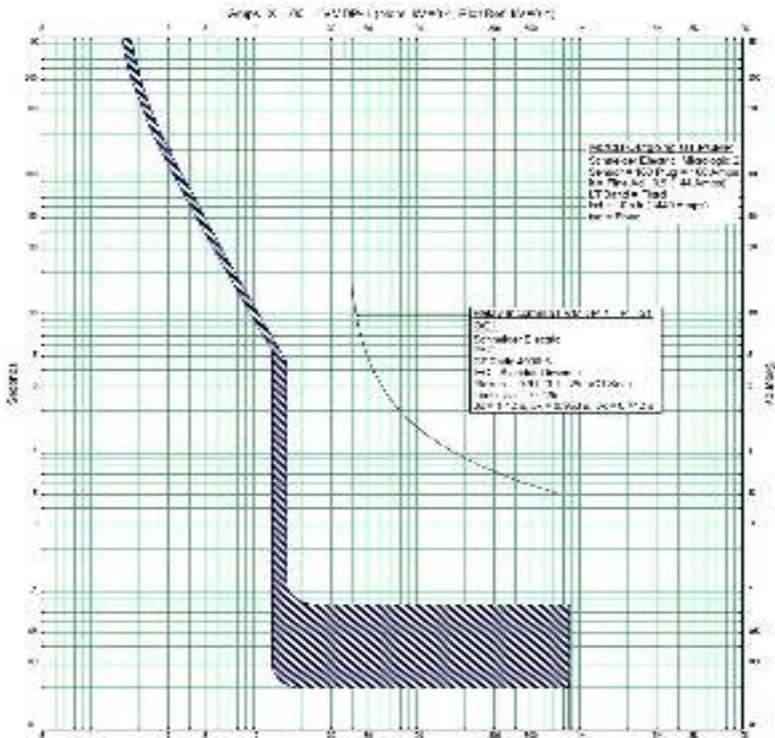


Gambar 4.12 Time Current Characteristic pada relai outgoing MB.2F dan Incoming LVMDP-1

Kurva Time Current Characteristic (TCC) pada Gambar 4.12 menunjukkan koordinasi antara relay outgoing MB.2F dan relay

sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing UT PUMP, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka ACB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

4.2.14 Kurva TCC pada MCCB Outgoing UT.PUMP dan Incoming LVMDP-1



Gambar 4.14 Time Current Characteristic pada MCCB outgoing UT.PUMP dan Incoming LVMDP-1

Gambar 4.14 menunjukkan kurva TCC koordinasi antara MCCB outgoing UT Pump dengan relay incoming LVMDP-1. Proteksi outgoing

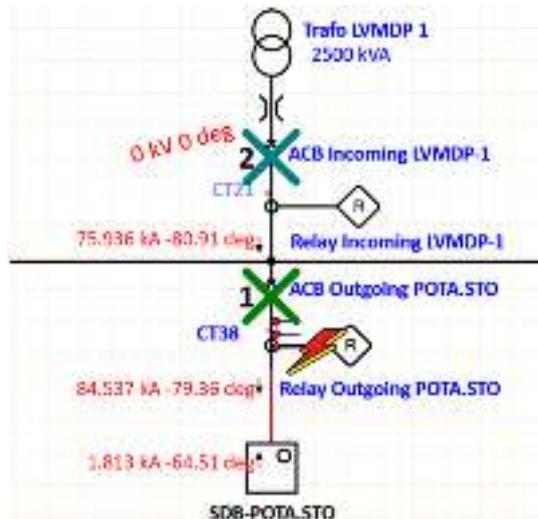
menggunakan MCCB Micrologic 2 Schneider Electric dengan setting sensor 160 A, long time pickup (I_r) = 0.9 (144 A), dan instantaneous (I_{sd}) = $10 \times I_r$ = 1440 A.

Sementara itu, relay incoming menggunakan OCR Schneider Electric P521, dengan CT ratio 4000:5, pickup 0.91, dan TMS 0.225, serta karakteristik IEC Standard Inverse.

Berdasarkan kurva, terlihat bahwa karakteristik MCCB outgoing UT Pump berada di sebelah kiri dari kurva relay incoming. Artinya, MCCB akan bekerja lebih cepat dalam mengatasi gangguan arus lebih pada beban pompa, sedangkan relay incoming LVMDP-1 akan bekerja lebih lambat sebagai backup.

Dengan posisi kurva seperti ini, dapat disimpulkan bahwa koordinasi selektif telah tercapai, karena MCCB outgoing trip lebih dahulu dan tidak mengganggu sistem utama jika terjadi gangguan lokal pada pompa.

4.2.15 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-POTA.STO



Gambar 4.15 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus POTA.STO

Gambar 4.15 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (circuit breaker) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi

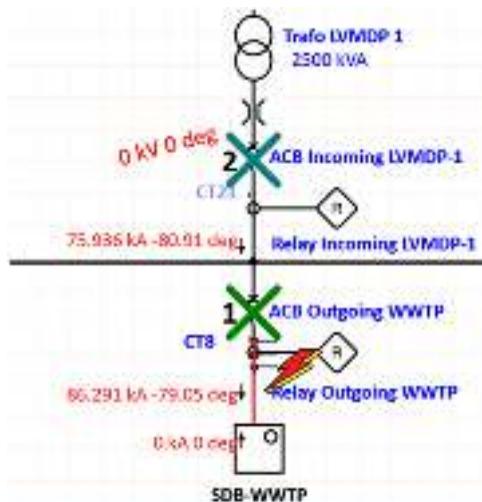
Relay POTASTO disetel dengan CT ratio 1600:5, pickup 0.4, dan TMS 0.2. Sedangkan relay incoming LVMDP-1 menggunakan CT ratio 4000:5, pickup 0.91, dan TMS 0.225.

Berdasarkan kurva, relay outgoing POTASTO bekerja lebih cepat daripada relay incoming untuk level arus gangguan 3x, 5x, dan 8x pickup. Ini ditunjukkan dari posisi kurva relay POTASTO yang berada di sebelah kiri dan bawah kurva relay incoming.

Adapun waktu kerja relay POTASTO adalah 1,26 s (3x), 0,856 s (5x), dan 0,659 s (8x), sedangkan relay incoming bekerja pada 1,42 s, 0,963 s, dan 0,742 s untuk level arus yang sama.

Dari kurva TCC yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa kurva relay outgoing POTASTO (TDS) bekerja di 0,225 detik sedangkan kurva relay incoming LVMDP-1 (TDS) bekerja di 0,25 detik. Artinya relay outgoing POTASTO bekerja lebih cepat dalam memutus gangguan arus lebih.

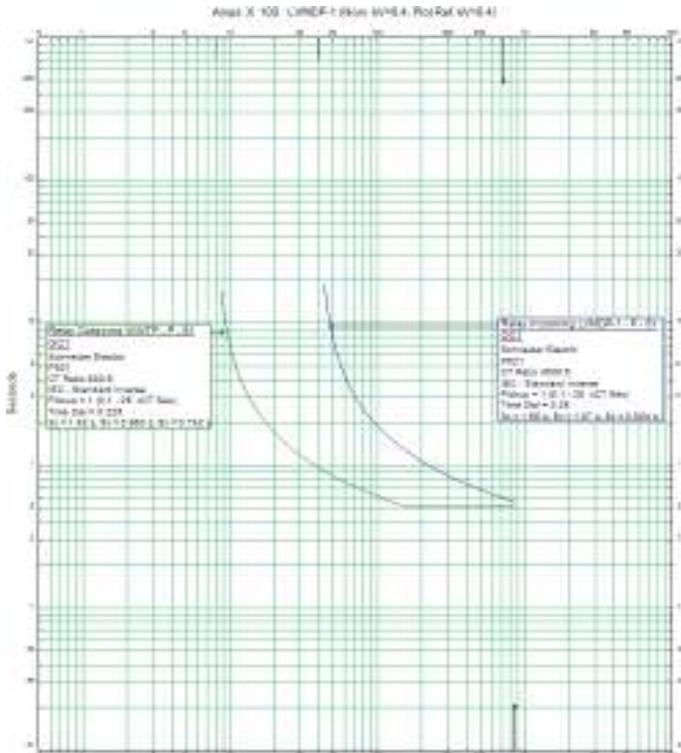
4.2.17 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-WWTP



Gambar 4.17 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus WWTP

Gambar 4.17 menunjukkan urutan pemutusan (*trip*) pemutus sirkuit (circuit breaker) setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada area SDB-WWTP, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing WWTP, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Selanjutnya, jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka ACB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

4.2.18 Kurva TCC pada Relai Outgoing WWTP dan Incoming LVMDP-1



Gambar 4.18 Time Current Characteristic pada relai outgoing WWTP dan Incoming LVMDP-1

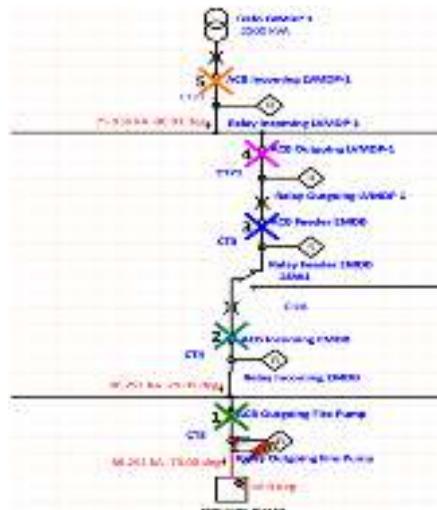
Gambar 4.18 memperlihatkan kurva Time Current Characteristic (TCC) antara relay outgoing WWTP dan relay incoming LVMDP-1, keduanya menggunakan Schneider Electric P521 dengan karakteristik IEC Standard Inverse.

Relay WWTP disetel dengan CT ratio 800:5, pickup 0.18, dan TMS 0.2, sedangkan relay incoming LVMDP-1 menggunakan CT ratio 4000:5, pickup 1, dan TMS 0.225.

Dari grafik terlihat bahwa kurva relay outgoing WWTP berada di sebelah kiri dan bawah kurva relay incoming LVMDP-1. Artinya, relay outgoing akan bekerja lebih cepat pada arus gangguan 3x, 5x, dan 8x pickup, yaitu dengan waktu masing-masing 1,42 s, 0,963 s, dan 0,742 s, dibanding relay incoming yang bekerja pada 1,58 s, 1,07 s, dan 0,824 s.

Dari kurva TCC yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa kurva relay outgoing WWTP (TDS) bekerja di 0,225 detik sedangkan kurva relay incoming LVMDP-1 (TDS) bekerja di 0,25 detik. Artinya relay outgoing WWTP bekerja lebih cepat dalam memutus gangguan arus lebih.

4.2.19 Simulasi Proteksi pada Bus SDB-FIRE.PUMP



Gambar 4.19 Urutan trip circuit breaker ketika gangguan hubung singkat pada bus FIRE.PUMP

Gambar 4.20 menampilkan lima kurva TCC dari relay overcurrent (OCR). Masing-masing relay memiliki fungsi proteksi pada titik-titik berbeda dalam sistem, dan telah disetting dengan nilai time dial yang berbeda untuk memastikan koordinasi selektif berjalan dengan baik.

Relay pertama adalah relay incoming LVMDP-1, yang berfungsi sebagai pengaman utama pada panel distribusi. Relay ini memiliki setting pickup sebesar 1 dan time dial 0,25, sehingga memiliki waktu kerja paling lambat dibanding relay lainnya. Hal ini sesuai karena relay ini hanya akan bekerja jika gangguan tidak berhasil diputus oleh relay downstream.

Relay kedua adalah relay outgoing LVMDP-1, yang melindungi jalur keluar dari panel utama. Dengan pickup 1 dan time dial 0,2, relay ini bekerja lebih cepat dari relay incoming, yaitu 0,05 detik pada arus gangguan 3 kali pickup, sehingga dapat memutus gangguan lebih dahulu di sisi beban.

Relay ketiga adalah relay incoming EMDB, yang melindungi suplai masuk ke panel Emergency Main Distribution Board. Relay ini memiliki pickup 1 dan time dial 0,15 dengan waktu kerja 0,945 detik pada 3x arus pickup. Relay ini berfungsi sebagai backup terhadap relay feeder EMDB.

Relay keempat adalah relay feeder EMDB, yang langsung mengamankan beban di EMDB. Dengan pickup 0,40 dan time dial 0,15, relay ini bekerja pada 0,945 detik di arus 3x pickup. Meskipun waktu kerjanya sedikit lebih lama dari incoming EMDB, perbedaan waktu masih dalam batas aman dan tetap menjaga koordinasi.

Relay kelima adalah relay outgoing fire pump, yang melindungi pompa kebakaran sebagai beban kritis. Relay ini disetting dengan pickup sebesar 1 dan time dial 0,125, sehingga memiliki waktu kerja tercepat yaitu 0,788 detik pada 3x pickup. Setting ini memastikan gangguan pada sistem pompa dapat segera diputus demi menjaga keandalan sistem proteksi kebakaran.

Secara keseluruhan, kelima relay tersebut telah bekerja secara terkoordinasi, di mana relay yang paling dekat dengan titik gangguan bekerja lebih cepat dibanding relay upstream-nya. Tidak terdapat kurva yang saling berpotongan, yang menunjukkan bahwa sistem proteksi telah dirancang secara selektif dan andal dalam mengamankan instalasi dari gangguan arus lebih.

Sistem proteksi pada instalasi kelistrikan Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield terdiri dari total 12 unit Over Current Relay (OCR) yang terpasang di berbagai titik strategis dalam jaringan distribusi listrik.

Dari keseluruhan relay tersebut, relay utama berada pada sisi incoming LVMDP-1 yang berfungsi sebagai pengaman utama di sisi hulu, dengan setting waktu kerja sebesar 0,25 detik. Sementara itu, relay dengan waktu kerja tercepat berada di sisi hilir, yaitu pada outgoing panel Fire Pump dengan waktu kerja sebesar 0,125 detik.

Perbedaan waktu kerja antar relay ini merupakan penerapan prinsip selektivitas dan koordinasi waktu dalam sistem proteksi, di mana relay yang paling dekat dengan titik gangguan dirancang untuk bekerja terlebih dahulu. Relay di sisi hulu memiliki penundaan waktu sebagai cadangan jika relay hilir gagal bekerja.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai koordinasi proteksi Over Current Relay (OCR) pada sistem tenaga listrik di Pabrik Pepsico Indonesia Snacks Greenfield Jawa Barat, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Desain OCR yang dilakukan sesuai dengan standart IEC 60255 tentang rumus baku jenis karakteristik relay.
2. Telah dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa pada sistem kelistrikan pabrik menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus gangguan tertinggi terjadi pada panel WWTP dan EMDB dengan nilai sebesar 86,291 kA.
3. Setting parameter Over Current Relay yang meliputi arus pickup dan *time multiplier setting* (TMS) ditentukan berdasarkan hasil simulasi aliran daya dan gangguan hubung singkat. Setting ini dirancang agar sistem proteksi dapat bekerja cepat, tepat, dan selektif.
4. Hasil koordinasi proteksi menunjukkan bahwa relay dan pemutus sirkuit berhasil dikonfigurasi secara selektif, di mana relay yang terdekat dengan lokasi gangguan bekerja terlebih dahulu, sedangkan relay di sisi hulu berfungsi sebagai proteksi cadangan (*backup protection*) dengan grading margin waktu $\pm 0,2 - 0,4$ detik terhadap relay upstream sesuai SPLN T5.002-2021.
5. Kurva karakteristik waktu-arus (Time Current Characteristic / TCC) yang dihasilkan dari simulasi membuktikan bahwa sistem proteksi telah bekerja secara terkoordinasi dan efektif dalam mengamankan sistem dari gangguan arus lebih.

Dengan demikian, penerapan koordinasi OCR yang tepat dapat meningkatkan keandalan dan kontinuitas sistem tenaga listrik di lingkungan industri, khususnya dalam menjaga proses produksi agar tetap berjalan meskipun terjadi gangguan.

5.2 Saran

Dari penelitian ini masih dibutuhkan beberapa pengembangan, maka dari itu saran yang diberikan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jenis relai lain seperti differential relay atau ground fault relay untuk meningkatkan proteksi sistem secara menyeluruh
2. Validasi data lapangan penting dilakukan agar hasil simulasi sesuai dengan kondisi aktual sistem kelistrikan pabrik
3. Penggunaan sistem monitoring seperti SCADA dapat membantu pengawasan dan respon gangguan secara real-time
4. Simulasi jenis gangguan lain seperti gangguan dua fasa dan fasa ke tanah dapat memperkaya analisis koordinasi proteksi
5. Pengaturan nilai pickup dan TMS dapat dioptimalkan dengan metode optimasi seperti Genetic Algorithm dan Particle Swarm Optimization, agar sistem proteksi bekerja lebih efisien dan selektif

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Zulkarnaini dan S. Sepriadi, “Analisa Koordinasi Over Current Relay Pada Pabrik Cement Mill Indarung III PT. Semen Padang,” *Rang Tek. J.*, vol. 4, no. 1, hlm. 42–51, Jan 2021, doi: 10.31869/rtj.v4i1.1950.
- [2] D. P. Hariyanto, “Analisis Koordinasi Over Current Relay Dan Recloser Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk Semen Nusantara (SNT 2) Cilacap,” vol. 1, 2009.
- [3] A. Rahim dan U. Hasanuddin, “Studi Koordinasi Relai Arus Lebih Pada Sistem Proteksi Generator Dan Transformator PLTA Bakaru,” vol. 2, no. 1, 2023.
- [4] M. Y. Imanuddin dan F. Achmad, “Perencanaan Sistem Proteksi Pada Distribusi Tenaga Listrik Pada Proyek Kyo Apartment di PT. Alkonusa Teknik Interkon”.
- [5] M. A. A. Gonibala, S. Silimang, dan L. S. Patras, “Analisis Pengujian Unjuk Kerja Pemisah (Disconnecting Switch) di Gardu Induk 150kV Otam”.
- [6] E. S. Nasution dan R. I. Pangestu, “Analisis Kinerja Circuit Breaker Pada Sisi 150 kV Gardu Induk Lamhotma”.
- [7] E. Dermawan dan D. Nugroho, “Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka,” vol. 14, no. 2.
- [8] J. L. Blackburn dan T. J. Domin, “Protective Relaying: Principles and Applications,” 2006.
- [9] T. R. Firdausi dan M. Pujiantara, “Setting Differential Relay Transformer (87T) dengan Pertimbangan Vector Group pada PLTU Tenayan 2x110 MW”.
- [10] L. Andreansyah dan B. Sukoco, “Analisis Relai Jarak Sebagai Proteksi Pada Jaringan Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Randu Garut – Weleri,” 2019.
- [11] A. Suryadi dan W. A. Sukarno, “Kalibrasu Overfrequency Relay Pada Sistem Proteksi Generator Unit 1 PT. Pembangkit Jawa-Bali Unit Pembangkitan Cirata”.
- [12] B. Sakti K.P., A. A. G. Maharta Pemayun, dan I. G. Dyana Arjana, “Studi Analisis UFR (Under Frequency Relay) Pada Gardu Induk Pesanggaran,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 2, hlm. 45, Jun 2019, doi: 10.24843/SPEKTRUM.2019.v06.i02.p07.

- [13] W. H. Prasetya, M. Munir, N. P. U. Putra, H. Rohiem, dan I. Masfufiah, "Analisa Koordinasi Proteksi Over Current Relay pada Gardu Induk Bangil," 2022.
- [14] T. P. Sari, "Studi koordinasi Proteksi Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Dengan Mempertimbangkan Ekspor- Impor Daya".
- [15] Abdul Multi dan Thufail Addaus, "Analisa Proteksi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Transformator Daya Gardu Induk," vol. 32, no. 1.
- [16] A. L. Sheldrake, *Handbook Of Electrical Engineering : For Practitioners In The Oil, Gas, And Petrochemical Industry*. Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2003.
- [17] V. Gurevich, *Power Supply Devices and Systems of Relay Protection*, 0 ed. CRC Press, 2017. doi: 10.1201/b15015.

LAMPIRAN





PT INSTITUTE NASIONAL
JANUARI 1982

PERKUMPULAN FAKULTAS PENDIDIKAN ENGINEER DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Tempat : J. Indonesia Yogyakarta No. 2 Sep. 2001 210401 Malang - Fax. 0341 55115 Malang 1344
Kontak : J. Indonesia No. 2 Sep. 2001 210401 Malang - Fax. 0341 47134 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Naura Ailiana NurSalikh
NIM : 2112065
Program Studi : Teknik Fisika SI
Permisatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2024/2025
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Proteksi Over Current Relay
Pada Instalasi Kelistrikan Pakok Papan
Indonesia Swack Greenfield Menggunakan
Software ETAP

Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Sinaru Satu
(S-1) pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 30 Agustus 2025
Nilai : 84.95

Majelis Penguji

Ketua

Dr. Ir. Wiludo Pudji Muljanto, MT.

NIP.1028700171

Anggota Penguji

Penguji I

Prof. Dr. Eng. Ir. Alimhan Lami, MSEL.

NIP.1018500108

Penguji II

Dr. Ir. Ing Budi Subianto, ST., MT.

NIP.19770615 200501 2 002



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. ALU PRESIDI MALANG
Jl. Raya Singaperbangsa

KAMPUS 1 : Gedung Sate-pusat No. 1 Telp. (041) 514311 (rangsang) Fax. (041) 520110 Malang 65145
KAMPUS 2 : Raya Gegerok, Km 7 Telp. (041) 117101 Fax. (041) 117104 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Nuzli Afiqta Nurfiqibah
NIM : 2113065
Program Studi : Teknik Elektro SI
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2024/2025
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Pemutus Over Current Relay Pada Instalasi Kelistrikan Pabrik PepsiCo Indonesia Snacka Greenfield Menggunakan Software ETAP

Tanggal	Uraian	Paraf
17-09-2025	1. Perhitungan arus hubung singkat 2. Analisis grafik TCC 3. Desain OCR yang diusulkan	

Ditetujui

Dosen Penguji I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lani, MSCE, IPU, ASEAN Eng.
NIP.Y.1018500108

Mengesahkan

Pembimbing I

Asan Ujir Khrisanto, ST, MT, PhD
NIP.19930301 200501 1 002

Pembimbing II

Dr. Ir. Wahyu Pradi Mulianto, MT
NIP.Y.1028700171



PT. INSTITUTE NASIONAL
DRY. NUSA MALANG

PERKUMPULAN PENDIDIA PENDIDIKAN UNIVERSITAS TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

PAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FASILITAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus 1 : J. Bontolatu, Nganjum, 67151, Telp. 0361-1514111, Fax. 0361-1514111 Malang 67001
Kampus 2 : J. Raya Klaten, Km 2 Tegal, 30211-171500 Fax. 3021-171500 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : Nurfa Alifata Nurhidayah
NIM : 2112065
Program Studi : Teknik Elektro SI
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Hibingnan : Semester Genap 2024/2025
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Instalasi Kelistrikan Pabrik PepsiCo Indonesia Snacks Greenfield Menggunakan Software ETAP

Tanggal	Uraian	Paraf
15-09-2025	<ol style="list-style-type: none">Koordinasi dengan analisis apakah samaPerbaikan jenis pengaturan berdasarkan apaSistem koordinasi keseluruhan 12 relayPerhitungan setting waktu relay utama	

Disetujui
Dosen Pengajar II

Dr. Irtina Budi Sulimawati, ST., MT.
NIP.19770615 200501 2 002

Mengesahni

Pembimbing I

Arum UR Kirtamanto, ST., MT., PhD.
NIP. 19800301 200501 1 002

Pembimbing II

Dr. Ir. Wykodo Puji Mulianto, MT.
NIP.Y.1028700171



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN BUMI DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
 MALANG

Alamat : Jl. Bojonegara No. 175, 65135 (Jember), Negeri 20116013440 (Jember)
 E-mail : itn@itn.ac.id / itn@itn.ac.id (Jember)

Nomor Surat : ITN-11041-4170027

11 Maret 2025

Lampiran : -

Perihal : BEMERANGAN TUGAS AKHIR (4 SKS)

Kepada : Yth. Nanda Azzita Nurfaatih : NIM 2112065

Mahasiswa Program Skripsi Program Studi Teknik Elektro S1
ITS MALANG

Dengan Hormat,

Berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknologi Industri Nomor : 128-08.21.01.11.2025 tentang Dosen Pembimbing Skripsi/Tugas Akhir Semester Genap 2024/2025 tertanggal 10 Maret 2025, maka mahasiswa di bawah ini merupakan mahasiswa yang menggunakan Skripsi/Tugas Akhir dengan identitas:

Nama	: Nanda Azzita Nurfaatih
NIM	: 2112065
Instansi	: Fakultas Industri
Program Studi	: Teknik Elektro S1
Pembimbing	: T. Euzki Laili S1 S1
Pembimbing Utama	: Awen Liji Kurniawati, ST, MT, Ph.D.
Pembimbing Pendamping	: Dr. L. Wibodo, Prof. Soejarto, MT.
Judul Tugas Akhir	: Analisis Koordinasi Pembebanan Over Current Busbar Pada Inverter Kelistrikan Teknik Dipsika Industriasi Satek Greenfield Menggunakan Software ETAP
Semester	: Semester Genap Tahun Akademik 2024/2025

Dokumen surat ini tidak digunakan selanjutnya lagi.



Dekan Fakultas Teknik Industri S1

Prof. Dr. Heryanto, S1, MT
 NID. 1020002065



PEREMPILAN PENDULA PERUBAHAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BIN. PERSEKUTUAN
GOWA NASIONAL

Alamat : J. Ardiyanegara No. 100 (CIBI 00101) Malang No. (031) 82216100 Malang 64142
Kantor : J. Ratu Soekarno, No. 1 No. (031) 417000 Fax. (031) 417010 Malang

MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2024/2025

Nama : Naufal Alifata Nurfadiah
NIM : 2112065
Nama Pembimbing I : Awan Uji Krisyanto, ST., MT., Ph.D.
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada Instalasi Kelistrikan Pabrik PepsiCo Indonesia Snaed Greenfield Menggunakan Software Flap

No	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1	Selasa, 03-06-2025	13.00	Perbaikan pendahuluan	
2	Selasa, 10-06-2025	10.00	Perbaikan Rumusan Masalah	
3	Selasa, 15-07-2025	09.00	Penambahan Teori Bab II	
4	Kamis, 14-08-2025	15.00	Perbaikan Penulisan Bab II dan Bab III	
5	Jumat, 03-08-2025	08.27	Perbaikan Penulisan Daftar Pustaka	

Malang, 17 September 2025

Dosen Pembimbing

Awan Uji Krisyanto, ST., MT., Ph.D.

NIP. 198003012005011002



PT INSTITUTE NASIONAL
MALANG

PERKUMPULAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Alamat : Jl. Besuki, Pongor, Kota Malang, Jawa Timur 65133
Telp. : 0341-850000, Fax : 0341-850000

**MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2024/2025**

Nama : Nuzul Alifata Nuradhiyah
NIM : 2112065
Nama Pembimbing 2 : Dr. Ir. Widodo Puji Muljanto, MT.
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Proteksi Over Current Relay Pada
Instansi Kelistrikan Publik Pepaco Indonesia Snades
Greenfield Menggunakan Software Etap

No	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Punaf
1	Senin, 02-06-2025	09.00	Perbaikan Pendahuluan	/
2	Senin, 09-06-2025	13.00	Perbaikan Rumusan, Tujuan, Batasan Skripsi	/
3	Rabu, 16-07-2025	16.00	Perbaikan Bab 2 Tentang Teori isi skripsi	/
4	Jumat, 25-07-2025	09.00	Perambahan Gambar Sistem Proteksi	/
5	Senin, 28-07-2025	14.00	Bimbingan Data-data Bab III	/
6	Selasa, 12-08-2025	07.30	Bimbingan Hasil Simulasi Etap	/
7	Selasa, 19-08-2025	10.00	Perbaikan Hasil Koordinasi Proteksi OCR Bab IV	/
8	Rabu, 27-08-2025	14.00	Perbaikan Hasil TCC Bab IV	/

Malang, 17 September 2025

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Widodo Puji Muljanto, MT
NIP. Y. 1028700171

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nuzli Alifiani Nurhidayah
NIM : 2112065
Jurusan / Peminatan : Teknik Elektro S-1 / Energi Listrik
ID KTP / Paspor : 3574011705010002
Alamat : Dusun Tampeng, Kecamatan Wilangan,
Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur
Judul Skripsi : Analisis Koordinasi Protokol Over Current Relay
Pada Instalasi Kelistrikan Pabrik Pepsico
Indonesia Secks Gresikfield Menggunakan
Software ETAP

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 11 Agustus 2025
Yang membuat pernyataan



Nuzli Alifiani Nurhidayah
2112065

TUGAS AKHIR – TEKNIK ENERGI LISTRIK ANALISIS
KOORDINASI PROTEKSI OVER CURRENT RELAY PADA
INSTALASI KELISTRIKAN PABRIK PEPSICO INDONESIA
SNACKS GREENFIELD MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

6%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



Submitted to Saddleback High School

Student Paper

4%

Exclude quotes

Exclude matches < 2%

Exclude bibliography