

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

Naufal Aliffatta Nurfdahilah¹, Awan Uji Krismanto², Widodo Pudji Muljono³
Teknik Elektro S1, Institut Teknologi Nasional, Malang Indonesia

¹naufalaliffattanurfadhilah@gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, ³widodo_pm@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— 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

I. PENDAHULUAN

A. 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. 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]. Sehingga pabrik dapat terhindar dari potensi gangguan yang dapat menghambat produktivitasnya.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. 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.

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).

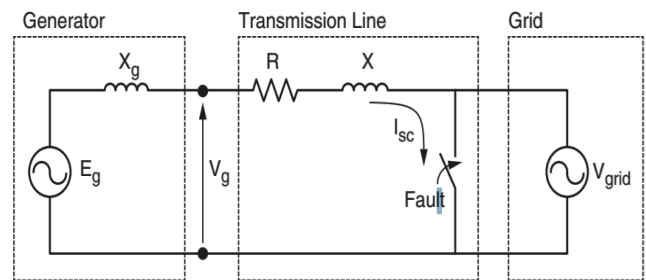
Pada gangguan tiga fasa, sistem masih seimbang sehingga komponen simetris yang digunakan hanyalah komponen positif (positive sequence). Oleh karena itu, impedansi ekuivalen sistem cukup direpresentasikan dengan impedansi urutan positif dari generator, transformator, saluran, dan elemen lain yang berhubungan 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) 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 1

menunjukkan model ekuivalen gangguan hubung singkat tiga fasa.



Gambar 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.

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:

$$I_{sc} = \frac{V_s}{\sqrt{3} \times Z_{eq}} \text{ (A)} \quad (1)$$

Dengan :

I_{sc} : Arus Hubung Singkat (A)

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

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

Dari persamaan tersebut dapat dipahami bahwa semakin kecil nilai impedansi ekuivalen 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.

4) Hubungan dengan Peralatan Sistem Tenaga

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

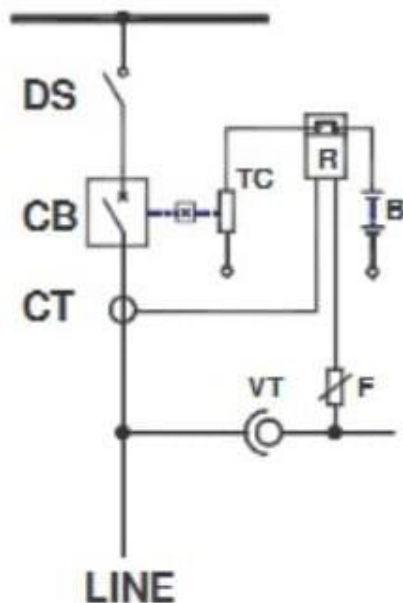
- Generator – mengalami beban arus berlebih yang dapat menimbulkan panas dan torsi dinamis.
- Transformator – dapat mengalami tekanan mekanis akibat gaya elektromagnetik serta kenaikan temperatur akibat arus lebih.
- Saluran Transmisi – dapat mengalami penurunan tegangan signifikan di ujung saluran serta gangguan termis akibat arus yang sangat besar.

d) 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.

B. 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. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Pada gambar 2 merupakan contoh dari sistem proteksi. Dapat dilihat bahwa gambar diatas merupakan suatu pengamanan 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.

C. 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 pengamanan 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 3. Jenis-jenis Relai Mikroprosesor Solid-State untuk Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Gambar 3 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 :

- 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 differensial dapat digunakan sebagai pelindung peralatan seperti generator, bus, transformator dan saluran[9].
- 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.
- 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 :

$$Zf = \frac{V_f}{I_f} \quad (2)$$

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].

- 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 pengamanan 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.

D. Over Current Relay

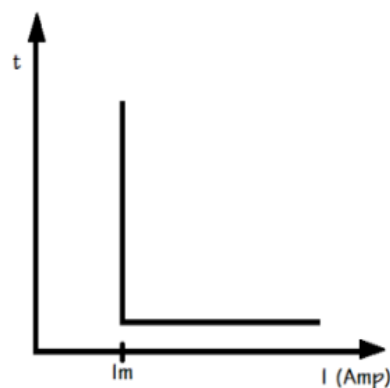
Over current relay (OCR) adalah rele pengaman yang bekerja terhadap adanya gangguan hubung singkat 3 fasa. Prinsip kerja *over current relay* yaitu ketika arus yang mengalir pada sistem melebihi batas yang diizinkan dengan cara memberikan sinyal kepada pemutus untuk bekerja[13]. Berikut adalah kondisi 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.

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 :

- Relai Arus Lebih Sesaat (Instantaneous)

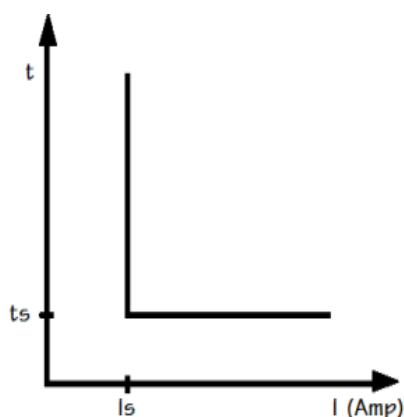
Relai arus lebih sesaat adalah relay arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat, untuk waktu kerjanya (20-100 ms)[15]. Pada gambar 4 menunjukkan bahwa relai arus lebih sesaat bekerja seketika ketika arus gangguan melebihi arus setting (I_m).



Gambar 4. Karakteristik relai arus lebih sesaat

b) Relai Arus Lebih Waktu Tetap (Definite Time)

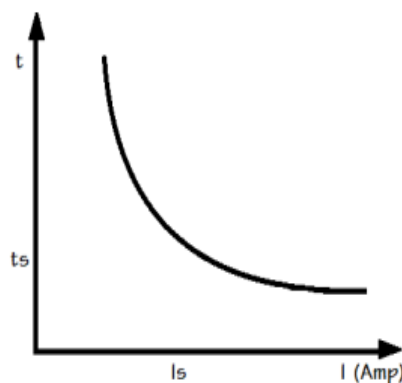
Relay Arus Lebih Definite adalah relai dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya berapapun besarnya arus gangguan relai akan bekerja dengan waktu yang tetap[15]. Relay waktu tetap biasanya digunakan ketika beban sekunder 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. Pada gambar 5 menunjukkan Relai arus lebih waktu tertentu bekerja dengan penundaan waktu tetap (definite time delay) setelah arus melewati setting I_s .



Gambar 5. Karakteristik relai arus lebih waktu tertentu

c) 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 relay[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. Pada gambar 6 menunjukkan makin besar arus gangguan, makin cepat relai trip.



Gambar 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

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{0,02} - 1} \text{ (detik)} \quad (3)$$

➤ Very Inverse

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{1,0} - 1} \text{ (detik)} \quad (4)$$

➤ Extremely Inverse

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2 - 1} \text{ (detik)} \quad (5)$$

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 :

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \cdot V_{base}} \quad (6)$$

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 :

$$I_{set(primer)} = 1,2 \times I_{nominal \text{ trafo}} \quad (7)$$

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 :

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \quad (8)$$

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

$$TMS = \frac{t \cdot \left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^\alpha}{\beta} \quad (9)$$

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

$$TMS = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s} \right) - 1} \quad (10)$$

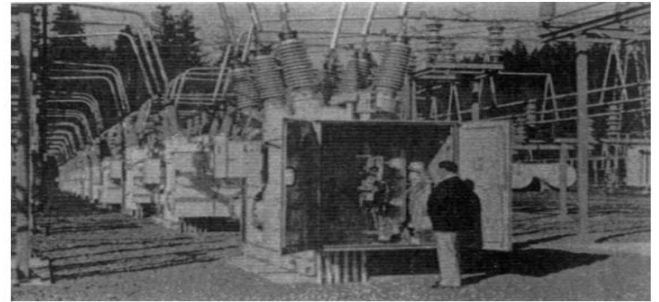
- Extremely Inverse

$$TMS = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s} \right)^2 - 1} \quad (11)$$

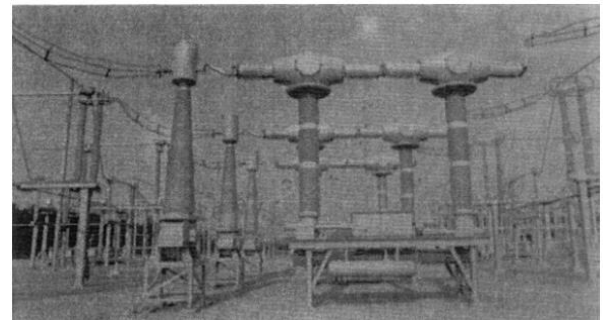
E. Circuit Breaker

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 7. Circuit Breaker Tiga Fasa 115 kV



Gambar 8. Pemutus Sirkuit Tangki Daya 500 kV

Pemutus sirkuit yang biasa digunakan untuk memutuskan area yang mengalami gangguan atau kerusakan ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 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 8 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.

F. Dc power supply system



Gambar 9. Ruang Baterai di Gardu Induk

Gambar 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.

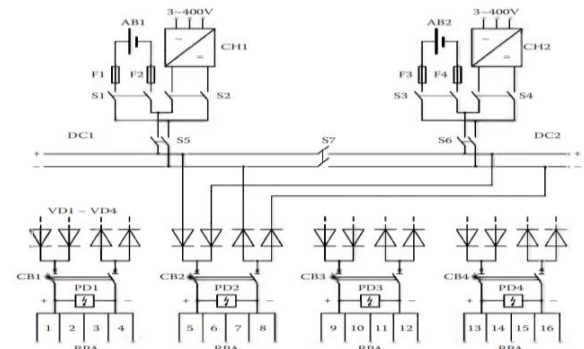


Gambar 10. Pengisi Daya Baterai Pada Gardu Induk

Gambar 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 11. Sistem Suplai Daya DC dengan Konfigurasi Redundansi (backup) menggunakan Dua Sumber DC

Gambar 11 merupakan sistem suplai 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 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].

G. Current Transformator



Gambar 12. Current Transformer

Gambar 12 adalah Current Transformer (CT) 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]. 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 :

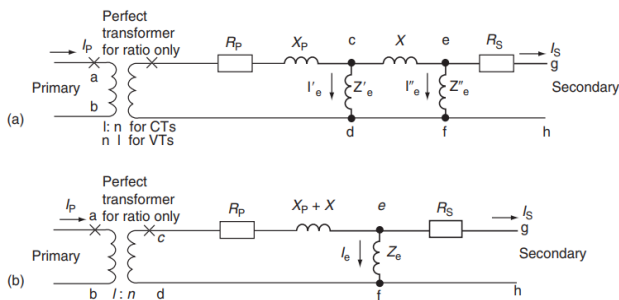
$$I_s = \frac{I_p}{R_C} \text{ (A) atau } I_s = I_p \text{ (per unit)} \quad (12)$$

Dimana :

I_s = arus sekunder

I_p = arus primer

R_C = rasio CT (jumlah lilitan)



Gambar 13. Diagram Ekuivalen untuk Transformator Instrumen

Pada gambar 13 menunjukkan dua model ekuivalen CT yaitu :

- 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.
- 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

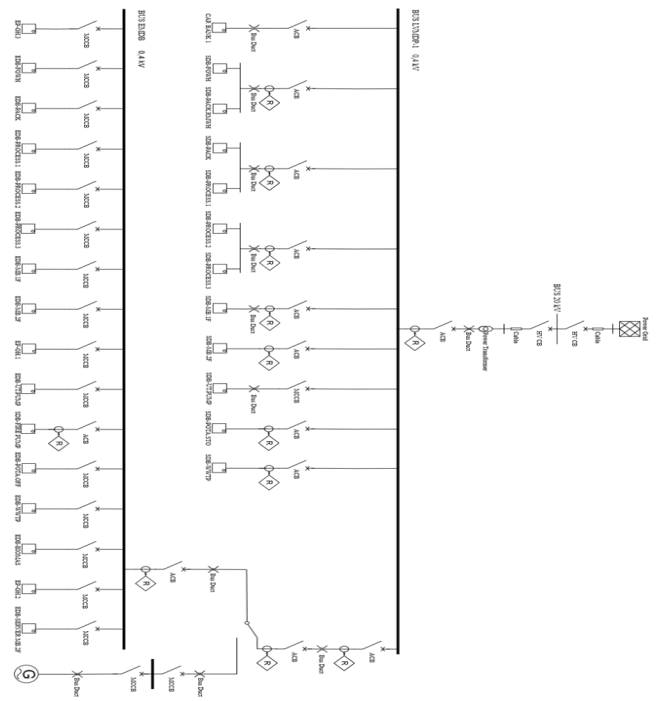
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode 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 :

- Kajian Literatur
- Pengumpulan Data
- Analisa Hasil Simulasi

B. Single Line Diagram Sistem



Gambar 14. SLD Sistem Kelistrikan Pabrik Pepsico

Gambar 14 merupakan single line diagram kelistrikan dari pabrik pepsico yang di dalamnya meliputi bus, kabel, trafo, beban, genset, CT, dan sistem proteksinya.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Tabel 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

Pada tabel 1 diatas ialah hasil arus hubung singkat 3 fasa pada software etap. Adapun untuk cara mensetting relai OCR yaitu :

- Arus *Short circuit* 3 fasa berdasarkan rumus (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 Relai OCR :

Incoming Breaker LVMDP-1 :

Data-data :

CT ratio : 4000 / 5 A

Pickup Current = 4000 A

Kurva TCC : Standard Inverse

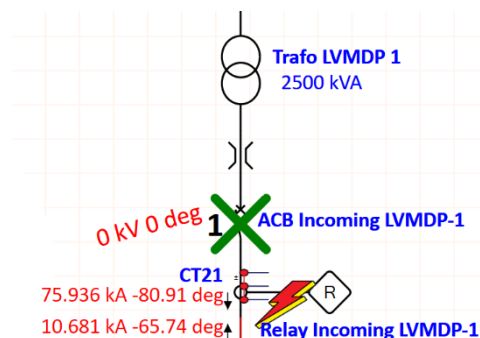
$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^{0,02} - 1} \text{ (detik)} = t = \frac{0,14}{\left(\frac{75934}{4000}\right)^{0,02} - 1} = 0,6 \text{ s}$$

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

B. 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.

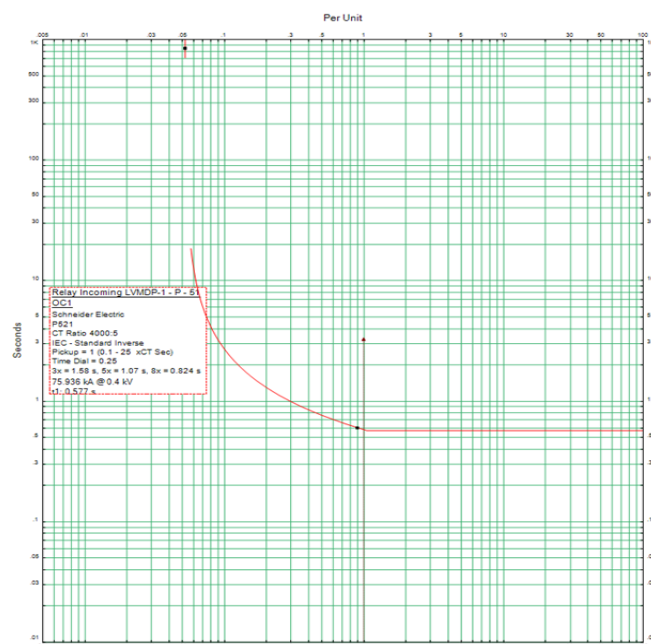
1) Simulasi Proteksi pada Bus Lvmdp-1



Gambar 15. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Lvmdp-1

Gambar 15 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 dengan nilai hubung singkat sebesar 75,93 kA.

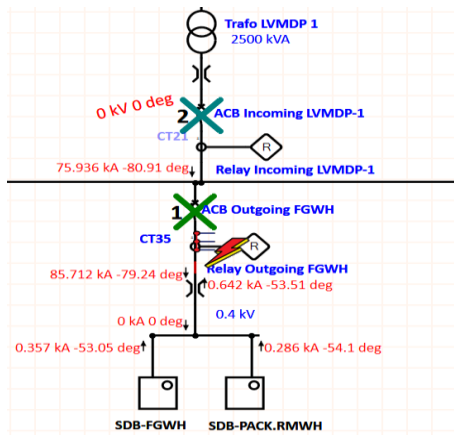
2) Kurva Tcc pada Relai Incoming Lvmdp-1



Gambar 16. Time Current Characteristic Pada Relai Incoming Lvmdp-1

Gambar 16 menunjukkan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 merasakan gangguan pada waktu sekitar 0,577 detik.

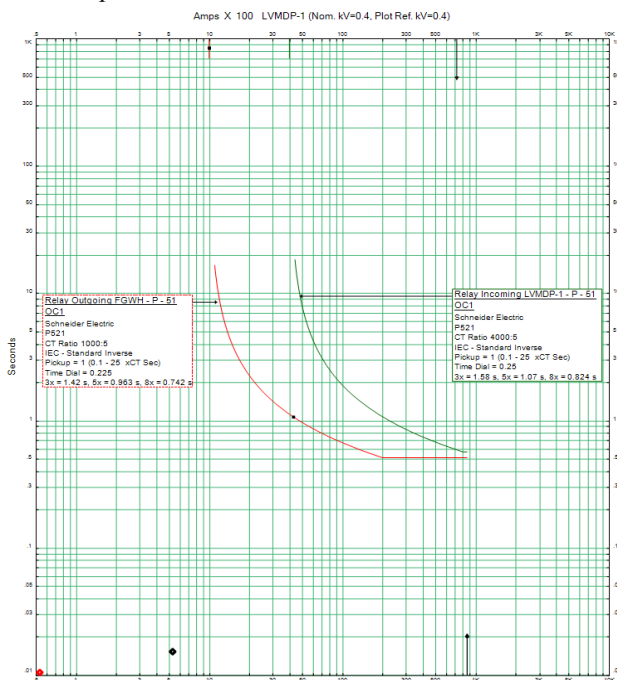
3) *Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Fgwh dan Sdb-Pack.Rmwh*



Gambar 17. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Fgwh Dan Pack Rmwh

Gambar 17 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB FGWH dan PACK.RMWH, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing FGWH dan PACK.RMWH, yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

4) *Kurva Tcc pada Relai Outgoing Fgwh dan Incoming Lvmdp-1*

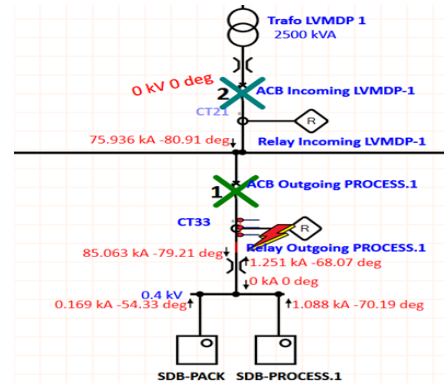


Gambar 18. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Fgwh Dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 18 menunjukkan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing FGWH dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan

hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi waktunya pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing FGWH pada waktu 0,225 detik.

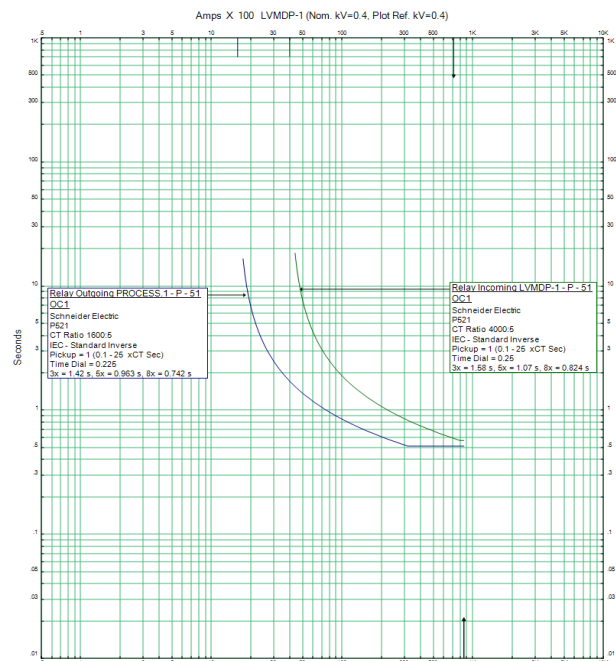
5) *Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Pack dan Sdb-Process.1*



Gambar 19. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Process.1 dan Sdb-Pack

Gambar 19 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB PACK dan SDB-PROCESS.1, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing PROCESS.1 yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. Jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

6) *Kurva Tcc pada Relai Outgoing Process.1 dan Incoming Lvmdp-1*

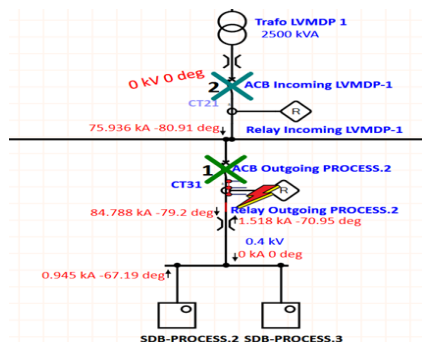


Gambar 20. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Process.1 Dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 20 menunjukkan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing FGWH dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi waktunya

pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing PROCESS.1 pada waktu 0,225 detik.

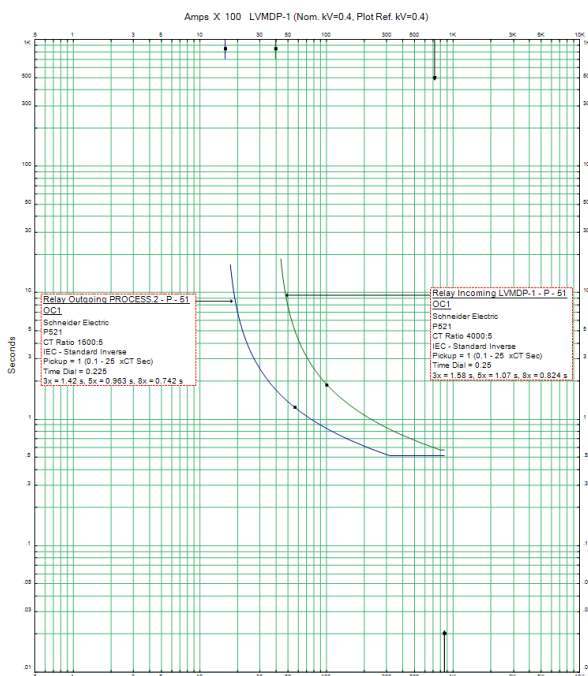
7) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Process.2 dan Sdb-Process.3



Gambar 21. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Process.2 Dan Process.3

Gambar 21 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB PROCESS.2 dan SDB-PROCESS.3, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing PROCESS.2 yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

8) Kurva Tcc pada Relai Outgoing Process.2 dan Incoming Lvmdp-1

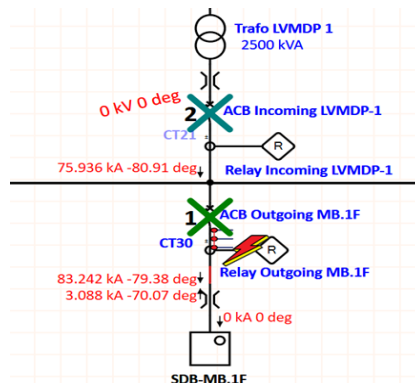


Gambar 22. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Process.2 Dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 22 menunjukan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing PROCESS.2 dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi

waktunya pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing PROCESS.2 pada waktu 0,225 detik.

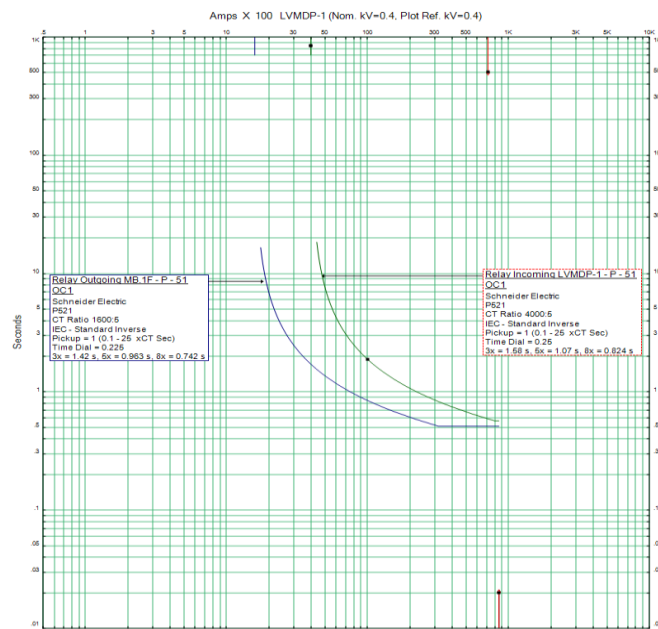
9) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Mb.1f



Gambar 23. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Mb.1f

Gambar 23 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB MB.1F, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing MB.1F yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

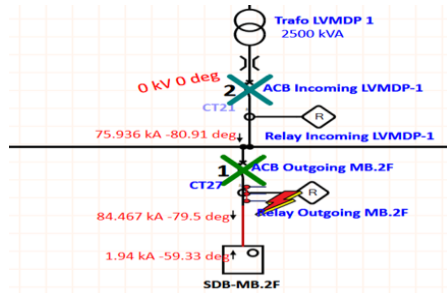
10) Kurva Tcc pada Relai Outgoing Mb.1f dan Incoming Lvmdp-1



Gambar 24. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Mb.1f Dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 24 menunjukan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing MB.1F dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi waktunya pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing MB.1F pada waktu 0,225 detik.

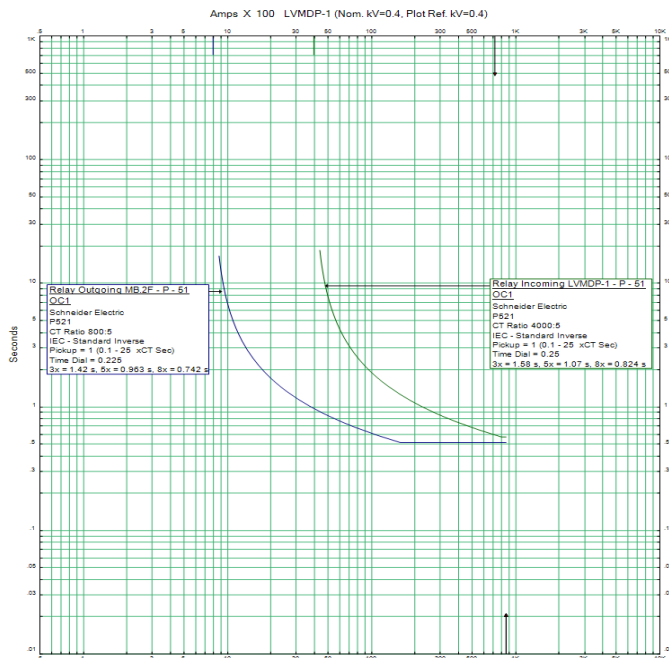
11) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Mb.2f



Gambar 25. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat pada bus Mb.2f

Gambar 25 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB MB.2F, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing MB.2F yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

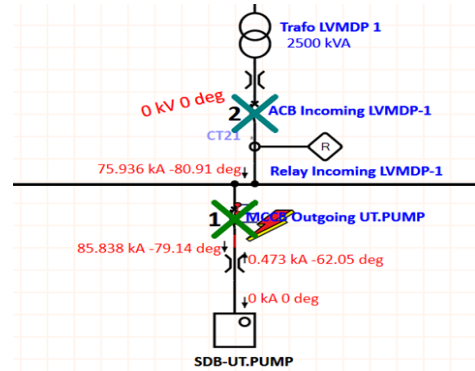
12) Kurva Tcc pada Relai Outgoing Mb.2f dan Incoming Lvmdp-1



Gambar 26. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Mb.2f dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 26 menunjukan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing MB.2F dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi waktunya pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing MB.2F pada waktu 0,225 detik.

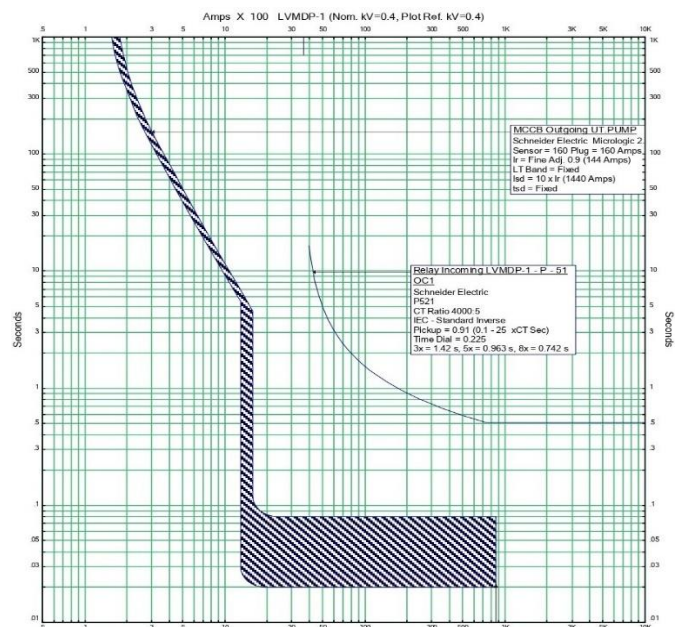
13) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Ut.Pump



Gambar 27. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Ut.Pump

Gambar 27 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB UT.PUMP, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah MCCB Outgoing UT.PUMP yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

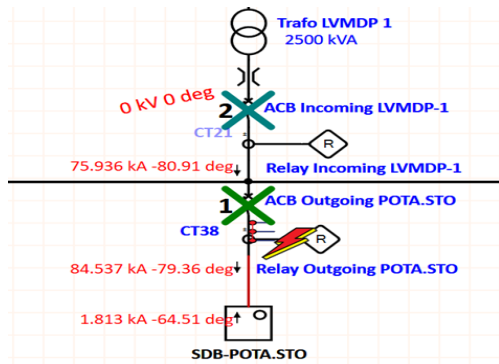
14) Kurva Tcc pada Mccb Outgoing Ut.Pump Dan Incoming Lvmdp-1



Gambar 28. Time Current Characteristic Pada Mccb Outgoing Ut.Pump Dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 28 menunjukan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada MCCB Outgoing UT.PUMP dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, MCCB UT.PUMP bekerja terlebih dahulu daripada relai Incoming LVMDP-1.

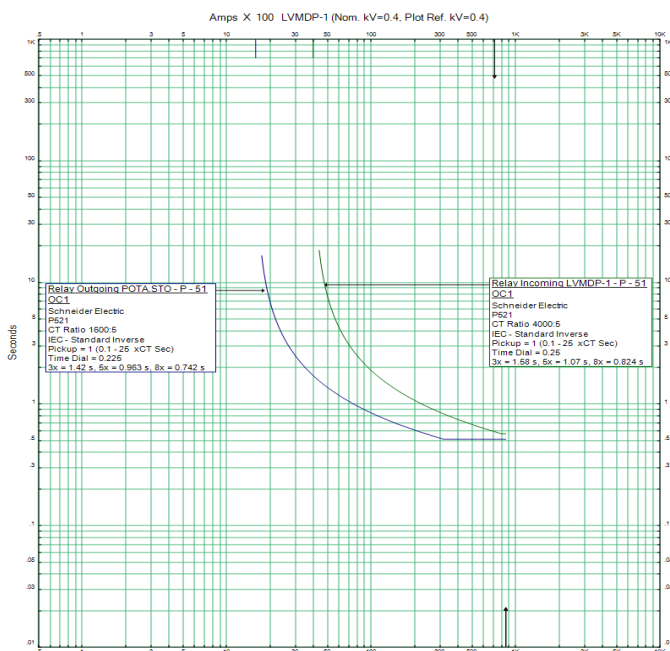
15) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Pota.Sto



Gambar 29. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Pota.Sto

Gambar 29 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB POTA.STO, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing POTA.STO yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

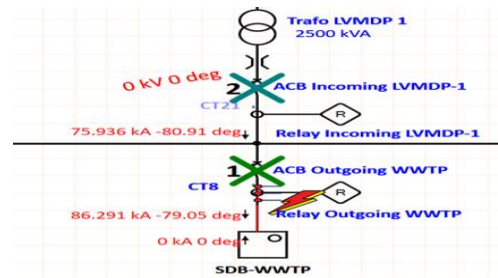
16) Kurva Tcc pada Relai Outgoing Pota.Sto dan Incoming Lvm dp-1



Gambar 30. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Pota.Sto Dan Incoming Lvm dp-1

Gambar 30 menunjukan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing POTA.STO dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi waktunya pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing POTA.STO pada waktu 0,225 detik.

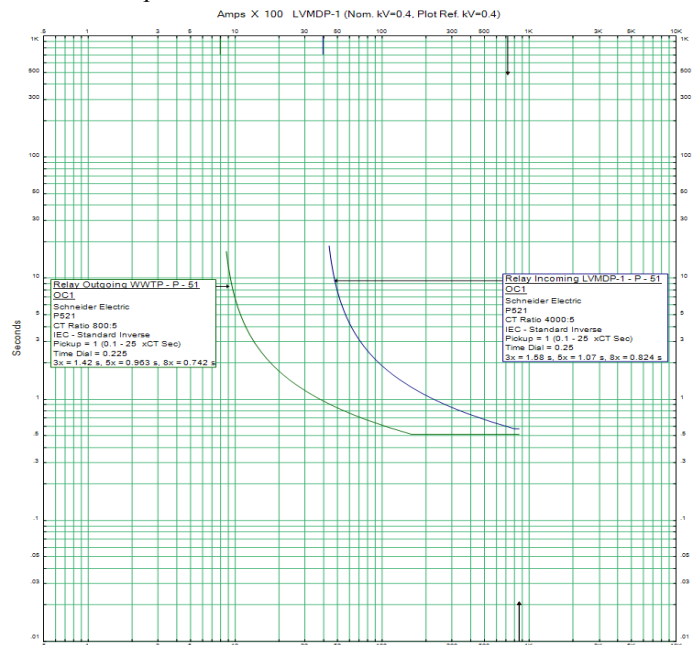
17) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Wwtp



Gambar 31. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Wwtp

Gambar 31 menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB WWTP, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing WWTP yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan dan menjadi pemutus sirkuit kedua yang trip.

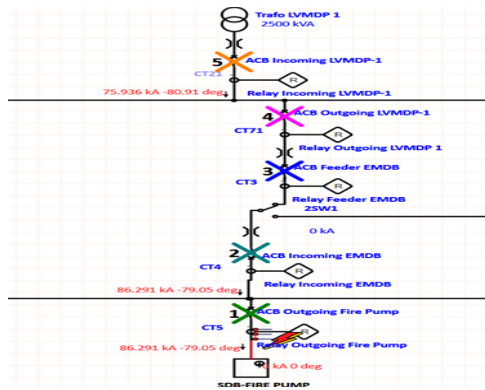
18) Kurva Tcc pada Relai Outgoing Wwtp dan Incoming Lvm dp-1



Gambar 32. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Wwtp dan Incoming Lvm dp-1

Gambar 32 menunjukan kurva *Time Current Characteristic* (TCC) hasil simulasi koordinasi proteksi pada relai Outgoing WWTP dan Incoming LVMDP-1. Berdasarkan hasil simulasi, relai incoming LVMDP-1 operasi waktunya pada waktu 0,25 detik sedangkan relai Outgoing WWTP pada waktu 0,225 detik.

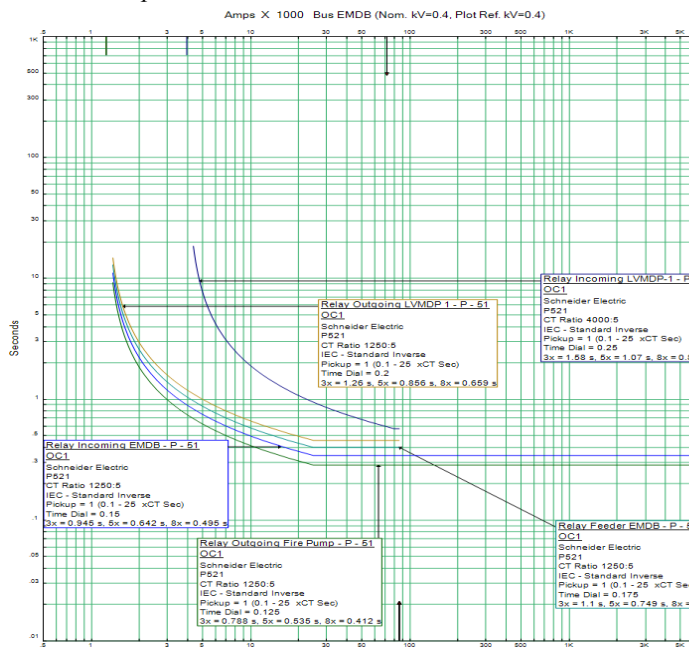
19) Simulasi Proteksi pada Bus Sdb-Fire.Pump



Gambar 33. Urutan Trip Circuit Breaker Ketika Gangguan Hubung Singkat Pada Bus Fire.Pump

Gambar menunjukkan urutan pemutusan pemutus sirkuit setelah dilakukan koordinasi proteksi. Pada saat simulasi gangguan dilakukan pada bus SDB FIRE PUMP, terlihat bahwa pemutus sirkuit yang pertama kali bekerja adalah ACB Outgoing FIRE PUMP yang berfungsi sebagai proteksi primer terhadap gangguan tersebut. jika gangguan tidak berhasil diatasi oleh CB pertama, maka CB Incoming EMDB, CB Feeder EMDB, CB Outgoing LVMDP-1 dan CB Incoming LVMDP-1 akan bekerja sebagai proteksi cadangan.

20) Kurva Tcc pada Relai Outgoing Fire Pump, Incoming Emdb, Feeder Emdb, Outgoing Lvmdp-1, Incoming Lvmdp-1



Gambar 34. Time Current Characteristic Pada Relai Outgoing Fire Pump, Incoming Emdb, Feeder Emdb, Outgoing Lvmdp-1, Dan Incoming Lvmdp-1

Gambar 34 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.

V. 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.

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

VI. 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/rjt.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, "Kalibrasi Overfrequency Relay Pada Sistem Proteksi Generator Unit 1 Pt. Pembangkit Jawa-Bali Unit Pembangkitan Cirata".
- [12] B. Sakti K.P., A. A. G. Maharta Pelayun, 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.

VII. BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Nganjuk tanggal 17 Oktober 2002 dengan pendidikan SMA POMOSDA dan kuliah strata-1 di Institut Teknologi Nasional Malang dengan konsentrasi Energi Listrik. Asisten laboratorium transmisi dan distribusi daya elektrik. Email Penulis yaitu: naufalaliffattanurfadhilah@gmail.com