

**DESAIN PENGUJIAN RELAI PROTEKSI ARUS
LEBIH MENGGUNAKAN *METHODE PROGRAM
INVERSE* PADA GARDU DISTRIBUSI 20kV**

TESIS

Tesis diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



Disusun Oleh:

Nama : VICKY BALQIS FAHRUZAM-ZAM
NIM : 092022090283

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA
2024**

**DESAIN PENGUJIAN RELAI PROTEKSI ARUS
LEBIH MENGGUNAKAN *METHODE PROGRAM
INVERSE* PADA GARDU DISTRIBUSI 20kV**

TESIS

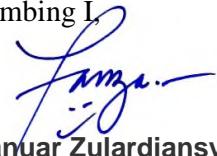
Disusun Oleh:

**Nama : VICKY BALQIS FAHRUZAM-ZAM
NIM : 092022090283**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA 2024**

Depok, 15-Agustus-2024
Menyetujui

Pembimbing I,



Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng
NIDN. S092019110003

Pembimbing II,



Adhes Gamayel, Ph.D
NIDN. S092012120005

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Vicky Balqis Fahruzam-zam
NIM : 092022090283
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tesis : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih Menggunakan *Methode Program Inverse* pada Gardu Distribusi 20kV

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

Pembimbing 1



(Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng)
NIK. S092019110003

Pembimbing 2



(Adhes Gamayel, Ph.D)
NIK. S092012120005

Menyetujui,
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

(Sinka Wilyanti, ST., MT)
NIK. S092012120066

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 15 Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Vicky Balqis Fahruzam-zam
NIM : 092022090283
Program Studi : MagisterTeknik Elektro
Judul Tesis : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih Menggunakan *Methode Program Inverse* pada Gardu Distribusi 20kV

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : DR. Antonius Darma Setiawan, S,Si.,M.T ()

Penguji 2 : DR. IR. Sidik Mulyono, M.Eng ()

Penguji 3 : Mauludi Manfaluthy, S.T., M.T ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 15 Agustus 2024

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vicky Balqis Fahruzam-zam
NIM : 092022090283
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih Menggunakan Methode Program Inverse pada Gardu Distribusi 20kV

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Royalti Noneksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 15 Agustus 2024

Yang menyatakan,



Vicky Balqis Fahruzam-zam

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 15 Agustus 2024
Mahasiswa,



Vicky Balqis Fahruzam-zam
092022090283.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT dengan kemurahan dan ridho-Nya, skripsi ini dapat ditulis dengan baik dan lancar hingga selesai. Dengan ini akan kupersembahkan Tesis ini kepada:

Nabi Muhammad SAW sebagai panutan umat muslim yang penuh dengan kemuliaan dan ketaatan kepada Allah SWT memberikan motivasi tentang kehidupan dan mengajari saya hidup melalui sunnah-sunnahnya.

Kedua orang tua tersayang yang selalu memberikan ketenangan, kenyamanan, motivasi, do'a terbaik, sehingga saya bisa menyelesaikan studi.

Istri tercintah dan tersayang yang selalu memberikan semangat, motivasi, do'a terbaik dan setia menemani sehingga saya bisa menyelesaikan Tesis.

Guru sekaligus orang tua kedua di kampus (pembimbing Tesis) Bapak Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng dan Bapak Adhes Gamayel, Ph.D yang telah sabar membimbing untuk menyelesaikan tesis.

Rekan kerja yang selalu memberikan kehangatan dalam lingkup kerja serta memberi arahan dan masukan berkaitan dengan tesis yang akan dibuat.

Abi Nur Hidayat yang selalu memberi semangat dan mendorong untuk berjuang bersama dalam menyelesaikan studi.

HALAMAN MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.” – QS Al Baqarah 286 7.

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali.” – HR Tirmidzi

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah Yang Maha Esa, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibuk Sinka Wilyanti, ST., MT, sebagai Ketua Program Studi Magister Jurusan Teknik Elektro Universitas Global Jakarta, atas bantuan dan kerjasamanya.
2. Bapak Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng sebagai Pembimbing 1 atas bantuan dan kerjasamanya dalam hal membimbing pembuatan Tesis.
3. Bapak Adhes Gamayel, Ph.D sebagai Pembimbing 2 atas bantuan dan kerjasamanya dalam hal membimbing pembuatan Tesis.
4. Bapak dan Ibu Dosen serta staff Teknik Elektro Pihak ketiga Universitas Global Jakarta, atas bantuan dan kerjasamanya.
5. Bapak Esa Seaman, sebagai rekan kerja, atas bantuan dan kerjasamanya dalam hal pengambilan judul.
6. Dan segenap keluarga dirumah dan teman-teman yang telah memberikan bantuan selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Sebagai akhir kata, semoga apa yang tertulis dalam Tesis ini dapat bermanfaat baik bagi ilmu pengetahuan khususnya maupun bagi kehidupan pada umumnya.

Depok, 15 Agustus 2024
Penulis,



ABSTRAK

Relai arus lebih (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang berfungsi mendeteksi adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau beban lebih yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Karakteristik kurva inverse sangat bermanfaat untuk mengamankan *overload* / beban lebih, karena bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya namun terbatasnya alat membuat peneliti membuat program *Methode Program Inverse* agar karakteristik kurvannya dapat terlihat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis karakteristik kurva inverse menggunakan *Methode Program Inverse* jika terjadi gangguan arus lebih pada sistem jaringan tegangan menengah 24kV yang menggunakan pengaturan waktu tunda jenis kurva Invers pada relai proteksi yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium, lapangan dan analisis kuantitatif.

Hasil penelitian diantaranya menunjukkan bahwa karakteristik kurva inverse yang dilihat dengan *Methode Program Inverse* yaitu, waktu jatuh Pemutus Tenaga akan sesuai dengan besar arus yang mengalir. Jika arus gangguan kecil, maka waktu jatuh Pemutus Tenaga akan lama, Sebaliknya, jika arus gangguan besar maka waktu jatuh Pemutus Tenaga akan semakin cepat dan koordinasi relai berjalan dengan semestinya.

Kata kunci: Kurva Inverse, Arus Lebih, Kuantitatif, analisis, pembahasan, dan kesimpulan.

ABSTRACT

Over Current Relay is a device that detects the presence of overcurrent, whether caused by a short circuit fault or an overload that can damage power *System* equipment in its protection area. The inverse curve characteristic is very useful for securing overload / overload, because it works with a time delay that depends on the amount of current in reverse (inverse time), the greater the current the smaller the delay time however, due to limited tools, researchers created a Methode Program Inverse program so that the characteristics of the curve could be seen.

This research aims to determine the type of inverse curve characteristics using Methode Program Inverse if an overcurrent disturbance occurs in a 24kV medium voltage network *System* that uses an inverse curve type time delay setting on the protection Relays used. This research uses laboratory, field and quantitative analysis methods.

The results of the study include showing that the characteristics of the inverse curve viewed with Methode Program Inverse are that the *tripping time* of the Circuit Breaker will be in accordance with the amount of current flowing, if the fault current is small then the *tripping time* of the Circuit Breaker will be long, conversely if the fault current is large then the *tripping time* of the Circuit Breaker will be faster and the Relay coordination will run properly.

Keywords: Inverse curve, Over Current, quantitative, analysis, discussion, and conclusions

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	1
DAFTAR GAMBAR	1
DAFTAR TABEL	3
DAFTAR LAMPIRAN	1
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	5
2.2.1. Teori Dasar Panel	5
2.2.2. Sistem Relai Proteksi	16
2.2.3. <i>Over Current Relay (OCR)</i>	21

2.2.4. Macam-Macam Karakteristik <i>Inverse</i>	24
2.2.5. Prinsip Kerja <i>Over Current Relay</i> (OCR)	25
2.2.6. Penyetelan <i>Over Current Relay</i> (OCR)	26
2.2.7. Pengujian <i>Relay Over Current</i>	28
2.2.8. Penggunaan <i>Methode Program Inverse</i> Microsoft Excel pada <i>System Proteksi</i>	29
BAB III METODOLOGI	32
3.1 Diagram Alir Penelitian	32
3.2 Lokasi Penelitian.....	33
3.3 <i>Methode Program Inverse</i>	33
3.3.1. Pengumpulan Data.....	33
3.3.2. Simulasi Hasil	34
3.4 Bahan Penelitian	35
3.5 Peralatan Penelitian:	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Data Pengujian.....	37
4.1.1. Data GI Data Center	37
4.1.2. Diagram Satu Garis Peralatan Proteksi 20kV	37
4.1.3. <i>Template OCC Omicron tipe CMC 356</i>	38
4.1.2. Data Hasil Perhitungan dari Formulasi <i>Template OCC Omicron tipe CMC 356</i>	39
4.1.3. Data Hasil Perhitungan dari <i>Formulasi Aplikasi Program Kurva Invers</i>	43
4.1.4. Data Hasil Simulasi Pengujian Menggunakan <i>Methode Program Inverse</i> dan Menggunakan Omicron CMC 356 di Pemutus Tenaga <i>Feeder</i>	46
4.1.5. Data Hasil Simulasi Pengujian Menggunakan <i>Methode Program Inverse</i> dan Menggunakan Omicron CMC 356 di Pemutus Tenaga <i>Incoming</i>	60

4.2. Analisa Hasil Pengujian.	74
4.2.1. Analisa Pengujian Relai Pemutus Tenaga <i>Outgoing</i>	74
4.2.2. Analisa Pengujian Relai Pemutus Tenaga <i>Incoming</i>	75
4.2.3. Pembahasan Koordinasi Proteksi antara Pemutus Tenaga <i>Incoming</i> dan Pemutus Tenaga <i>Outgoing</i>	78
BAB V PENUTUP.....	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Skema Dari Sistem Daya	6
Gambar 2.2. Sistem <i>Radial</i>	8
Gambar 2.3. Sistem <i>Loop</i>	9
Gambar 2.4. Sistem <i>Spindle</i>	10
Gambar 2.5. Gambar Panel Trasnisi Trafo Bay 150kV / 20kV	15
Gambar 2.6. Gambar Panel Distribusi 24kV Jenis <i>Metal Clad</i>	16
Gambar 2.7. Konfigurasi Sistem Proteksi Pada Panel <i>Feeder</i> & Jaringan	18
Gambar 2.8. Blok Diagram Kerja Sistem Proteksi.....	20
Gambar 2.9. Karakteristik OCR Tipe Arus Sesaat.....	22
Gambar 2.10. Karakteristik OCR Tipe <i>Definite Time</i>	23
Gambar 2.11. Karakteristik OCR Tipe <i>Inverse</i>	24
Gambar 2.12. Perbandingan Kelengkungan Kurva Karakteristik <i>Inverse Time</i> ..	25
Gambar 2.13. Konfigurasi Diagram Satu Garis Relai Arus Lebih	25
Gambar 3.1. Alur Penelitian.....	33
Gambar 3.2. Alur Simulasi Hasil	36
Gambar 4.1. Diagram 1 Garis Peralatan Proteksi.....	38
Gambar 4.2. <i>Formulasi</i> yang dikeluarkan oleh <i>template</i> OCC Omicron CMC 355 yang didalam lingkaran berwarna hijau.....	41
Gambar 4.3. Aplikasi program Microsoft Excel untuk memasukkan pengaturan nilai <i>setting</i> relai proteksi kedalam program aplikasi Microsoft Excel	45
Gambar 4.4. Hasil kurva yang terbentuk dengan aplikasi program kurva invers	45
Gambar 4.5. Perbandingan gambar <i>formulasi</i> yang dibuat oleh <i>template</i> OCC Omicron dan <i>formulasi</i> yang dibuat oleh aplikasi program kurva <i>invers</i>	46
Gambar 4.6. Hasil Komparasi	47
Gambar 4.7. Template Pengujian <i>Ground Fault Outgoing</i>	52
Gambar 4.8. Data Hasil Pengujian <i>Ground Fault Outgoing</i>	52
Gambar 4.9. Template Pengujian <i>Over Current Outgoing</i>	59

Gambar 4.10. Data Hasil Pengujian <i>Over Current Outgoing</i>	59
Gambar 4.11. <i>Template</i> Pengujian <i>Ground Fault Incoming</i>	66
Gambar 4.12. Data Hasil Pengujian <i>Ground Fault Incoming</i>	66
Gambar 4.13. <i>Template</i> Pengujian <i>Over Current Incoming</i>	73
Gambar 4.14. Data Hasil Pengujian <i>Over Current Incoming</i>	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kode Proteksi <i>ANSI Standard</i>	21
Tabel 2.2. Karakteristik Operasi Waktu Jenis Relai <i>Inverse time</i>	28
Tabel 3.1. Perangkat Keras	37
Tabel 3.2. Perangkat Lunak	37
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian <i>Ground Fault Outgoing</i> Dengan Pengaturan TMS 0.5 s	75
Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian <i>Over Current Outgoing</i> Dengan Pengaturan TMS 0.5 s	76
Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian <i>Ground Fault Incoming</i> Dengan Pengaturan TMS 0.5 s	77
Tabel 4.4. Data Hasil Pengujian <i>Over Current Incoming</i> Dengan Pengaturan TMS 0.5 s	78
Tabel 4.5. Data Hasil Pengujian <i>Ground Fault Incoming</i> dan <i>Outgoing</i> Dengan Pengaturan TMS 0.5 s	79
Tabel 4.6. Data Hasil Perhitungan Selisih Waktu antara <i>Incoming</i> dan <i>Outgoing</i>	82
Tabel 4.7. Data Hasil Pengujian <i>Over Current Incoming</i> dan <i>Outgoing</i> Dengan Pengaturan TMS 0.5 s	83
Tabel 4.8. Data Hasil Perhitungan Selisih Waktu antara <i>Incoming</i> dan <i>Outgoing</i>	87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Penunjukan Dosen	xciii
Lampiran 2. Form Monitoring Revisi Tesis	xciv
Lampiran 3. Form Bimbingan Tesis.....	xcvii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Relai arus lebih (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang berfungsi mendeteksi adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau beban lebih yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Ketika terjadi gangguan (*fault*) contohnya seperti gangguan arus hubung singkat (*Short Circuit*), gangguan fasa ke tanah (*Earth Fault*) atau terjadi gangguan arus lebih (*Over Current*) pada jaringan kelistrikan, maka gangguan ini harus diamankan oleh relai proteksi, dimana relai proteksi ini memberi perintah kepada PMT (Pemutus Tenaga) atau CB (*Circuit Breaker*) untuk jatuh (*trip*) (Aslimeri, 2008).

Jaringan distribusi yaitu jaringan yang berasal dari gardu induk menuju konsumen atau pemakai energi listrik. Jaringan distribusi ini sering kali terjadi gangguan dimana kondisi gangguan pada jaringan distribusi seperti gangguan arus lebih karena petir, hujan, angin dan lain-lain. Sehingga dibutuhkannya alat pelindung pada jaringan distribusi yang dapat bekerja dengan efektif, agar komponen komponen yang berada pada jaringan tersebut aman dan tidak terjadinya kerusakan (Suhadi, 2008). Suatu sistem tenaga listrik sering dihadapkan dengan masalah gangguan yang dapat menyebabkan pemasokan energi listrik terganggu. Gangguan hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan yang dapat menyebabkan penyaluran energi listrik terhambat. Gangguan hubung singkat biasanya disebabkan karena kerusakan bahan isolasi pada penghantar. Gangguan hubung singkat secara mekanik dapat menyebabkan kerusakan pada sistem maupun pada peralatan elektronik, dan secara ekonomi dapat menyebabkan kegiatan produksi dan distribusi menurun atau terhenti (Arka, Mudiana, Abasana, 2016). Program Microsoft Excel adalah salah satu jawaban untuk mengatasi perhitungan penyetelan *Relay OCR (Over Current)* dan *GFR (Ground Fault)* yang terpasang pada jaringan distribusi primer. Pada program Microsoft Excel pengguna dapat

memasukkan data dan mengetahui bagaimana proses iterasi dari Microsoft Excel dengan meneliti formula yang dipergunakan (Yusfrizal, 2022).

“Perencanaan pemeliharaan peralatan penyaluran tenaga listrik meliputi koordinasi antara kebutuhan akan pemeliharaan dan kondisi (keandalan) sistem”. Dalam perencanaan keandalan sistem, pengaturan *setting* relai proteksi yang sangat diutamakan dan yang harus diketahui adalah kapan waktu jatuh (*trip*) PMT (Pemutus Tenaga) pada saat terjadi ganguan dan besarnya arus gangguan yang terjadi dalam suatu sistem kelistrikan. Hal ini digunakan untuk membuat pengaturan *setting* pada relai proteksi dan koordinasi sistem kerja relai proteksi, misalnya dalam menentukan jenis tunda waktu (*time delay*) yang digunakan dalam pengaturan relai proteksi, menentukan jenis ganguan dan mengatur kontak *Input* atau *Output* (I/O). Cara menghitung dapat dilakukan dengan berbagai cara, bisa dengan menggunakan paket *software* hanya dengan memasukkan datanya, lalu dijalankan maka akan mendapatkan hasilnya. Cara ini memang pelaksanaannya mudah, tetapi operator tidak mengetahui dengan jelas bagaimana proses perhitungan itu dilakukan oleh *software* tersebut, sehingga bila terdapat perkembangan sistem, ada kemungkinan operator di unit satuan PLN menghadapi kesulitan untuk memperbarui data baru ke sistem data lama. Ternyata fasilitas yang ada didalam *Methode Program Inverse* dapat dimanfaatkan untuk membuat program perhitungan waktu jatuh (*trip time*) PMT, PMT akan jatuh (*trip*) jika terjadi suatu ganguan pada jaringan kelistrikan maka akan diketahui sebelumnya, bahkan kita dapat mengetahui bentuk kurva *inverse* yang sesungguhnya pada pengaturan relai proteksi, dimana kelemahan orang yang menggunakan kurva *inverse* pada pengaturan relai proteksi didalamnya adalah dia tidak mengetahui bentuk kurva pada pengaturan yang telah dibuatnya, selain itu dapat pula digunakan untuk perhitungan koordinasi relai proteksi yang dapat dengan mudah dipahami dan dimengerti (Ir. Wahyudi Sarimun N.M.T, 2004).

Berdasarkan latar belakang dan penelitian sebelumnya bahwa dengan Program Microsoft Excel dapat dijadikan sebagai perhitungan peyetelan relai *Over Current*, Maka dalam penelitian ini terdapat pembaharuan untuk mengisi cela dari peneliti sebelumnya dan bertujuan untuk menganalisa juga mendesign dengan

menggunakan *Aplication Program Inverse* dengan Microsoft Excel untuk membuat program perhitungan waktu jatuh (*trip time*) pemutus tenaga dan untuk mengetahui bentuk kurva *inverse* yang sesungguhnya pada pengaturan relai proteksi dan dapat digunakan pula untuk perhitungan koordinasi *System* relai proteksi dibuktikan dengan komparasi terhadap alat Omicron CMC 356 (Izzy Fekrat, 2022).

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat didefinisikan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengujian relai proteksi arus lebih yang diteliti menggunakan desain *Methode Program Inverse*?
2. Bagaimana fungsi pengaman Gangguan Arus Lebih (*Over Current*) dengan jenis kurva yang digunakan adalah *Standard Inverse* dengan menggunakan *Methode Program Inverse*?
3. Bagaimana menentukan koordinasi sistem kerja relai proteksi jika menggunakan pengaturan dengan tunda waktu inverse pada relai proteksi dengan menggunakan *Methode Program Inverse*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian antara lain :

1. Untuk mempelajari jenis karakteristik kurva inverse yang ada pada sebuah relai proteksi menggunakan *Methode Program Inverse* dengan fungsi pengaman arus lebih (*Over Current*).
2. Mengevaluasi dengan menggunakan *Methode Program Inverse*, performansi desain yang telah dibuat untuk mengetahui waktu jatuh (*trip*) dari sebuah PMT (Pemutus Tenaga) atau CB (*Circuit Breaker*) jika menggunakan tunda waktu kurva inverse pada pengaturan relai proteksi.
3. Untuk mengetahui dan membuktikan bahwa *Methode Program Inverse* dapat dijadikan sebagai alat untuk medesain uji *System* proteksi dibuktikan dengan komparasi terhadap Omicron CMC 356.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya tujuan dari penelitian tersebut, maka manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Manfaat dari penelitian ini bagi bidang pendidikan diharapkan dapat dijadikan sebagai perbendaharaan media pembelajaran dan dapat menjadi pengetahuan dalam setting *Relay* proteksi arus lebih menggunakan *Methode Program Inverse*.
2. Bagi bidang teknik ketenaga listrikan diharapkan menjadi langkah awal untuk membuka wacana dan wawasan bagi orang-orang atau mahasiswa yang ingin memperdalam mata kuliah Sistem Proteksi, dan mata kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik, serta membantu mahasiswa yang ingin belajar dan mengetahui pengaturan relai proteksi pada suatu jaringan kelistrikan.
3. Sebagai referensi untuk Perusahaan dalam perencanaan penambahan daya dan *maintenance* sistem proteksi dengan menggunakan *Methode Program Inverse*.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan Penelitian merujuk pada Identifikasi adanya penelitian ini yaitu,

1. Pengujian relai proteksi yang diteliti menggunakan *Methode Program Inverse* pada Gardu Distribusi 20kV.
2. Fungsi pengaman Gangguan Arus Lebih (*Over Current*) dengan jenis kurva yang digunakan adalah *Standard Inverse*.
3. Menghitung selisih waktu *trip* Gangguan Arus Lebih (*Over Current*)/Koordinasi tunda waktu kurva inverse dengan menggunakan *Methode Program Inverse*.
4. Sebagai studi kasus untuk Perusahaan yang ingin mendesain dengan menggunakan *Methode Program Inverse*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

DAN

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah peneliti melakukan telaah terhadap beberapa penelitian, ada beberapa yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang peneliti lakukan. Penelitian yang pertama yang berhasil peneliti temukan adalah penelitian yang dilakukan oleh Izzy Fekrat (2022) yang berjudul "ANALISA ARUS HUBUNG SINGKAT UNTUK *OVER CURRENT RELAY* PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DI GARDU INDUK KAMBANG". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan semakin dekat panjang saluran maka arus gangguannya semakin besar karena impedansi jaringan semakin besar. Pada panjang jaringan 1% didapat arus gangguan 3-fasa sebesar 7620 A dan 2-fasa sebesar 6599 A. Pada panjang jaringan 100% didapat arus gangguan 3-fasa sebesar 1040 dan 2-fasa 900 A. Perbandingan jarak saluran 3 fasa dan 2 fasa terlihat arus hubung singkat 3 fasa lebih tinggi dari arus hubung singkat 2 fasa. Peneliti menemukan ada nya celah dalam penelitian sebelumnya, sehingga peneliti ingin membuat yang lebih detail dan mendalam dengan menggunakan *Methode Program Inverse* yang mana mudah untuk di operasikan dan juga di dapatkan. (Izzy Fekrat, 2022)

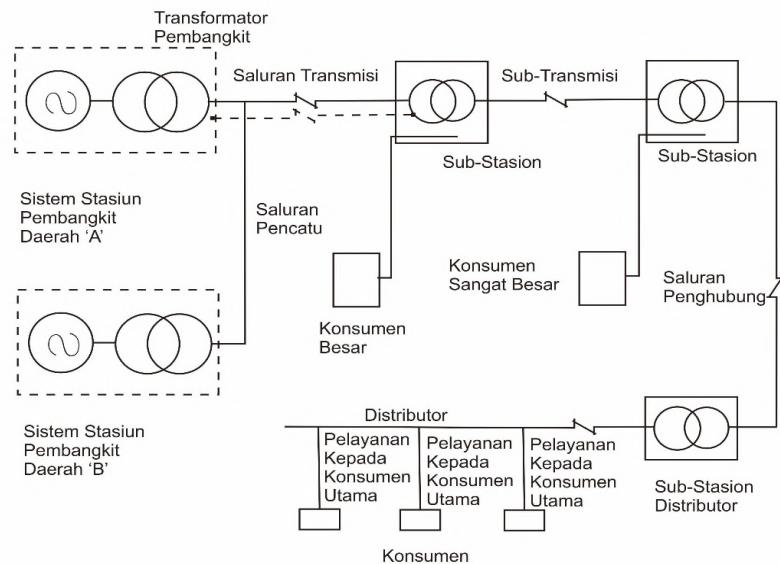
2.2 Landasan Teori

Landasan teori adalah sebuah konsep dengan pernyataan yang tertata rapi dan sistematis memiliki variabel dalam penelitian karena landasan teori menjadi landasan yang kuat dalam penelitian yang akan dilakukan.

2.2.1. Teori Dasar Panel

Sistem tenaga listrik merupakan satu kesatuan antara unit pembangkitan energi listrik, unit transmisi, dan unit distribusi. Semua komponen dalam sistem mengusahakan agar tenaga listrik yang dibangkitkan dapat diterima oleh pelanggan

dengan optimal. Gambar 2.1 menunjukkan berbagai bagian dari sistem tenaga listrik dalam skema garis tunggal.



Gambar 2.1. Diagram Skema Dari Sistem Daya (A S Pabla, 1994).

Tegangan yang dipakai pada tiap bagian sistem diberikan sebagai berikut :

- Proses pembangkitan tenaga listrik (PLTA, PLTU, PLTG, PLTD, PLTP, PLTN, dll).
- Proses transmisi daya listrik dengan tegangan tinggi (30kV, 70kV, 150kV, 500kV) dari pusat-pusat pembangkit ke gardu-gardu induk.
- Proses pendistribusian tenaga listrik dengan tegangan menengah (6kV, 12kV atau 20kV) dan tegangan rendah (110V, 220V dan 380V) dari gardu induk ke konsumen.

Pada suatu sistem yang cukup besar, tegangan yang keluar dari generator harus di naikkan dulu dari tegangan menengah (tegangan generator) menjadi tegangan tinggi atau ekstra tinggi (tegangan transmisi). Menyalurkan energi listrik memalui jarak-jarak yang jauh harus dilakukan dengan tegangan tinggi untuk memperkecil kerugian-kerugian yang terjadi, baik rugi-rugi energi maupun penurunan tegangan (A S Pabla, 1994).

2.2.1.1 Klasifikasi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

A. Jaringan Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Berdasarkan panjang salurannya, jaringan distribusi primer diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Saluran pendek (1 km s.d. 20 km).
- b. Saluran sedang (diatas 20 km s.d. 50 km).
- c. Saluran panjang (diatas 50 km).

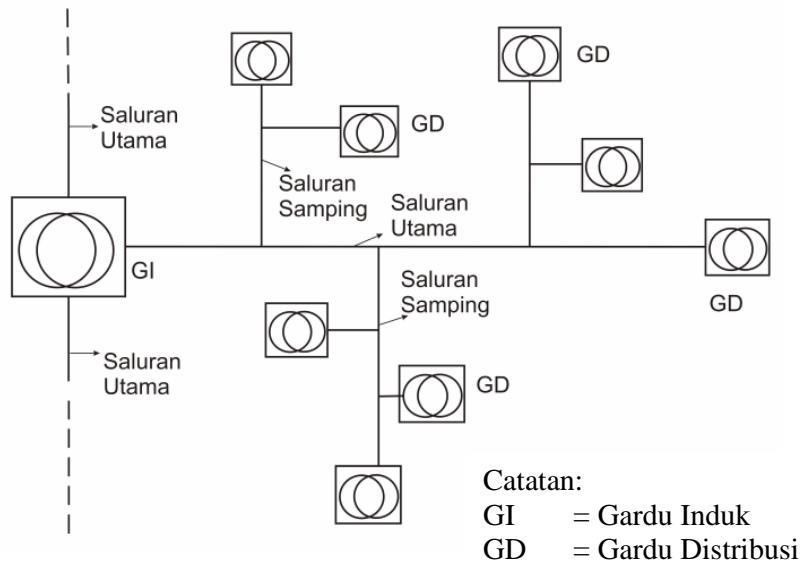
Berdasarkan bentuk salurannya, jaringan distribusi primer dibagi beberapa tipe dasar jaringan, yaitu :

a) Sistem Jaringan Distribusi *Radial*

Sistem distribusi dengan pola *radial* adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Jaringan ini terdiri dari beberapa penyulang yang keluar dari Gardu Induk (GI) dan sumber tegangannya hanya satu arah saja. Dalam penyulang tersebut terdapat gardu distribusi yang dilengkapi dengan trafo untuk konsumen. Beberapa keuntungan yang diperoleh apabila menggunakan jaringan seperti ini yaitu sederhana, murah biaya pembangunannya (ekonomis) dan sangat mudah dalam pengoperasiannya.

Keandalan yang kurang akan didapatkan bila menggunakan pola *radial*, kurangnya keandalan disebabkan karena pemasok pada gardu distribusi hanya didapatkan dari satu arah saja, sehingga apabila pemasok di Gardu Induk mengalami gangguan, maka seluruh penyulang akan ikut padam pula.

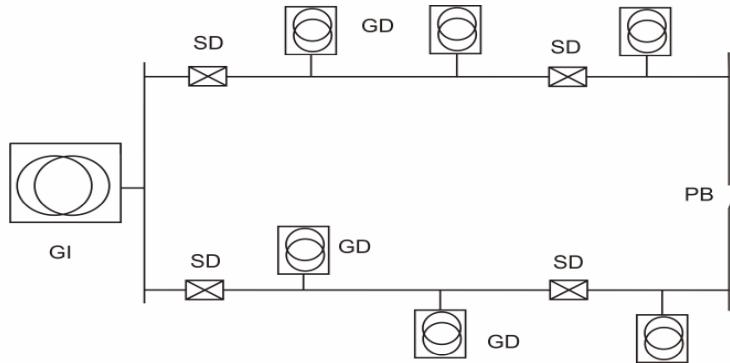
Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling akhir kurang baik, hal ini dikarenakan besarnya rugi-rugi pada saluran.



Gambar 2.2. Sistem *Radial* (Daryanto dan Koko Budi, 1999).

b) Sistem Jaringan Distribusi *Loop*

Sistem transmisi dengan pola *loop* yaitu sebuah jaringan dimana penyulangnya merupakan suatu rangkaian tertutup dengan gardu-gardu induknya. Gabungan dari 2 struktur *radial* menjadi keuntungan pada pola *loop* karena pasokan daya lebih terjamin dan memiliki keandalan yang cukup. Hal ini dikarenakan apabila terjadi gangguan pada satu penyulang maka penyulang yang terganggu tersebut dapat diisolir dan diperbaiki sementara yang lain mendapat pasokan dari penyulang yang lain. Jadi pola ini memiliki dua pasokan untuk penyulang dengan dua buah PMT (permutsus tenaga) yang dapat dipasang secara bergantian atau bersamaan sekaligus. Selain biaya pembangunan menjadi lebih mahal, kelemahan dari sistem ini yaitu apabila terjadi gangguan di gardu maka seluruh penyulang yang mendapat pasokan dari gardu induk yang terjadi gangguan akan padam (Daryanto dan Koko Budi, 1999).



Catatan:

GI = Gardu Induk SD = Saklar Daya
 GD = Gardu Distribusi PB = Pemutus Beban

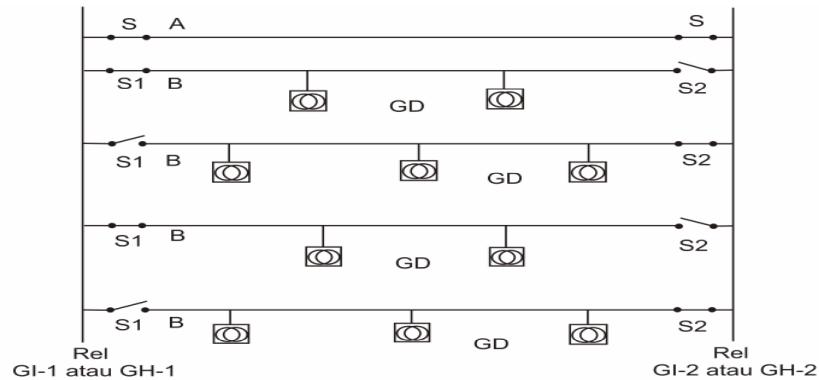
Gambar 2.3. Sistem *Loop* (Daryanto dan Koko Budi, 1999).

c) Sistem Jaringan Distribusi *Spindle*

Spindle adalah bentuk jaringan hasil modifikasi dari jaringan yang sudah ada, bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan keandalan sistem.

“*jaringan spindle*” yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran 6 penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan “*working feeder*” atau saluran kerja, dan satu saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan “*express feeder*”.

Dimana *express feeder* ini difungsikan sebagai cadangan jika salah satu *working feeder* mengalami gangguan operasi, selain itu juga berfungsi sebagai backup jika terjadi turun tegangan pada sistem operasi, dalam kondisi normal berbeban *express feeder* dioperasikan tanpa berbeban.



Gambar 2.4. Sistem *Spindle*(Daryanto dan Koko Budi, 1999)

Catatan:

GI	= Gardu Induk	GH	= Gardu Hubung
GD	= Gardu Distribusi	S	= Saklar
A	= Pengisi khusus tanpa beban GD	B	= Pengisi biasa tanpa beban GD

B. Jaringan Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standard *Edison Electric Institute* (EEI) dan *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA). Pada dasarnya tidak berbeda dengan sistem distribusi tegangan *Direct Current* (DC), faktor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima pada titik beban mendekati nilai nominal, sehingga peralatan/beban dapat dioperasikan secara optimal. Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi *Alternative Current* (AC) dibedakan atas beberapa tipe, dan cara pengawatan ini bergantung pula pada jumlah fasanya, yaitu (Daryanto dan Koko Budi, 1999) :

1. Sistem satu fasa dua kawat 120 Volt
2. Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt
3. Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt
4. Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt

5. Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
6. Sistem tiga fasa tiga kawat 416 Volt
7. Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

2.2.1.2 Macam-Macam Gangguan Pada Sistem Distribusi

Suatu sistem jaringan tenaga listrik tidak dapat lepas dari gangguan. Adapun gangguan-gangguan yang terjadi pada jaringan antara lain :

a) Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat disebabkan karena tersentuhnya kawat antar fasa ataupun kawat fasa dengan tanah, dimana jika terjadi hubung singkat pada sistem digunakan fungsi pengaman *Short Circuit Relay (SCR)* pada relai proteksi. Adapun yang termasuk dalam gangguan hubung singkat adalah :

1. ***Gangguan Asimetris***, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan ini terdiri dari :
 - a. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
 - b. Gangguan Hubung singkat fasa ke fasa
 - c. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah
2. ***Gangguan Simetris***, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari :
 - a. Gangguan hubung singkat tiga fasa
 - b. Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

b) Gangguan Arus Lebih

Selain difungsikan untuk pengaman arus hubung singkat (*Short Circuit Relay*), *SCR* difungsikan pula untuk pengaman gangguan arus lebih

(*Over Current Relay*) ganguan ini disebabkan oleh naiknya jumlah beban pada jaringan, sehingga konsumsi arus listrik akan naik.

c) Gangguan Hilangnya Tegangan

Gangguan ini disebabkan oleh putusnya penghantar atau tidak adanya pasokan tegangan dari penyulang yang menuju ke jalur Gardu Induk pada jaringan, untuk mengamankannya digunakan fungsi proteksi *Lost Of Load Relay* (LOR).

d) Gangguan Turunnya Frekuensi

Frekuensi merupakan besaran yang sangat penting sekali dalam suatu sistem transmisi, karena apabila frekuensi berubah maka dapat menyebabkan sistem tidak handal, karena pembagian beban yang tidak seimbang (*Load Sheeding*). Turunnya frekuensi dapat merusak beban yang terdapat dijaringan, terutama beban yang mempunyai spesifikasi frekuensi tertentu. Untuk mencegah hal tersebut, maka dipanel keluar (*Outgoing*) pada GI (Gardu Induk) menggunakan relai untuk mengamankan turunnya frekuensi (*Under Frequency Relay*).

e) Gangguan Tegangan Lebih atau Tegangan Kurang

Tegangan Lebih adalah sebuah gangguan dimana tegangan pada jaringan menjadi naik, untuk mengamankan jaringan pada sistem digunakan fungsi *Over Voltage Relay* (OVR), sedangkan tegangan kurang adalah gangguan dimana tegangan pada jaringan turun melebihi batas toleransi yang diizinkan dan untuk mengamankan jaringan pada sistem digunakan fungsi *Under Voltage Relay* (UVR). Peralatan proteksi ini biasanya dipasang pada sisi konsumen yang membutuhkan kondisi tegangan yang stabil dengan batas-batas toleransi tertentu.

2.2.1.3 Pengertian Dasar Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat didefinisikan sebagai suatu kondisi pada sistem tenaga dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau

dengan tanah. Gangguan hubung singkat dapat terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Gangguan yang mengakibatkan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal.

Berdasarkan kesimetrisannya, gangguan hubung singkat dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. Komponen Simetris

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik umumnya merupakan gangguan asimetris, dimana gangguan tersebut mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Pada tahun 1918, C.L. Fortesque menemukan suatu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa sistem tiga fasa yang tidak seimbang. Fortesque membuktikan bahwa suatu sistem yang tidak seimbang yang terdiri dari tegangan atau arus yang tidak seimbang antar fasanya dapat dipecah (diubah) menjadi tiga komponen simetris dari sistem tiga fasa yang seimbang.

b. Jenis dan Analisis Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubung-singkat semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang sama besarnya dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol. Kotak besi yang berada di dalam sebuah Gardu Induk (GI) yang berisi didalamnya kabel-kabel instalasi, *Miniatur Circuit Breaker* (MCB), relai proteksi atau pun trafo *stepdown* didalamnya, maka

itulah yang yang disebut dengan Panel Listrik (*Cubicle*). Panel listrik tersebut menurut klasifikasi tegangan yang akan dimonitor, diamankan(proteksi) dan dikontrol dibagi menjadi dua, panel Transmisi dan panel Distribusi.

2.2.1.4 Panel Transmisi

Jika ditinjau dari tegangan yang disalurkan maka panel transmisi mempunyai fungsi yang penting, yaitu mentrasnmisikan tegangan yang dibangkitkan dari pembangkit listrik sebesar 13,8kV s.d. 24kV sampai ke gardu induk kisaran tegangan 70kV, 150kV, dan 220kV. Tegangan tinggi-ekstra standar (*extra high voltage, HV standard*) adalah 500kV dan 700kV(Aslimeri, 2008).

Jika kita bandingkan ukuran panel tegangan menengah 12kV s.d 24kV sudah berukuran besar, apalagi untuk ukuran panel transmisi tersebut, oleh karena itu untuk mengetahuinya akan dibahas pada sub bab kali ini.

Sebetulnya ukuran panel transmisi dengan distribusi tidak jauh berbeda, yang membedakan terletak pada isi didalamnya untuk panel transmisi banyak terdapat instalasi kabel untuk saklar–saklar (*switch*) untuk buka tutup *Disconnecting Switch* (DS), Pemutus Tenaga (PMT) 70kV, 150kV atau 220kV, lampu indikasi ganguan atau dikenal dengan *Annunciator*, relai proteksi sebagai relai pengaman jarak atau relai *distance*, dan Digital kwh meter sebagai *metering* proses produksi listrik.

Secara umum panel transmisi tidak secara langsung bersinggungan dengan jaringan transmisi tegangan tinggi 70kV, 150kV, 220kV s.d. 500kV. Maksud dari tidak bersinggungan langsung adalah panel transmisi hanya digunakan dalam proses *monitor* dan mengendalikan *Disconnecting Switch* (DS), dan *Breaker* dari jarak jauh dalam proses Transmisi Tegangan Tinggi 70kV, 150kV, 220kV s.d. 500kV tersebut.

Klasifikasi tegangan pada panel Transmisi dibedakan dengan simbol warna rel busbar yang terpasang di pintu panel, yaitu :

- a. 20kV – warna Cokelat
- b. 70kV – warna Kuning
- c. 150kV – warna Merah

d. 500kV – warna Biru



Gambar 2.5. Gambar Panel Trasnisi Trafo Bay 150kV / 20kV(Aslimeri, 2008)

2.2.1.5 Panel Distribusi

Jika ditinjau dari tegangan yang disalurkan maka panel distribusi mendistribusikan tegangan menengah dari 3.3kV, 7.2kV, 12kV, 17.5kV s.d. 24kV. Panel Distribusi mempunyai fungsi yang sama yaitu mendistribusikan tegangan listrik yang telah ditransmisikan, dari pembangkit listrik yang sampai ke gardu induk lalu selanjutnya didistribusikan kepada konsumen.

Secara umum panel distribusi ini secara langsung bersinggungan dengan jaringan tegangan menengah dengan penghantar *busbar* atau penampang tembaga sebagai media pengganti kabel pada panel distribusi, dimana dalam sistem distribusi ini panel distribusi akan mengontrol/mengendalikan, mendistribusikan, dan memproteksi jaringan distribusi tegangan menengah tersebut, lalu panel distribusi itu mensupervisi dan memonitor beban (*load*) pada jaringan yang dipakai oleh pelanggan dengan *Digital kWH* meter yang telah terpasang pada panel distribusi tersebut, dalam proses produksi listrik. Untuk mempermudah gambar panel distribusi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6. Gambar Panel Distribusi 24kV Jenis *Metal Clad* (Gill, A.S, 1982).

2.2.2. Sistem Relai Proteksi

Sistem relai proteksi merupakan sistem yang sangat penting didalam pengamanan sistem jaringan tenaga listrik. Oleh karena itu, pada pembahasan kali ini mengupas mengenai proteksi secara umum, fungsi, peralatan penunjang proteksi dan syarat penting proteksi.

Yang dimaksud dengan sistem proteksi adalah sistem pengamanan yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang di jaringan tenaga listrik misalnya, *busbar*, transformator, transmisi dan lain-lain terhadap kondisi abnormal dalam operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal dapat berupa hubung singkat, beban lebih, frekuensi sistem turun dan lain-lain.

2.2.2.1 Fungsi Sistem Proteksi

Pada jaringan tenaga listrik sistem proteksi sangat diperlukan, fungsi dari sistem proteksi, yaitu :

- a) Menghindari atau meminimalisir kerusakan komponen sistem terhadap gangguan (kondisi abnormal operasi sistem).
- b) Melokalisir area yang mengalami gangguan agar tidak meluas (menjadi sekecil mungkin), sehingga sistem tidak terganggu dan masih dapat beroperasi secara normal.
- c) Sistem dapat beroperasi dengan baik, yaitu dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
- d) Mengamankan keselamatan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.
- e) Menjaga kestabilan sistem tenaga listrik.

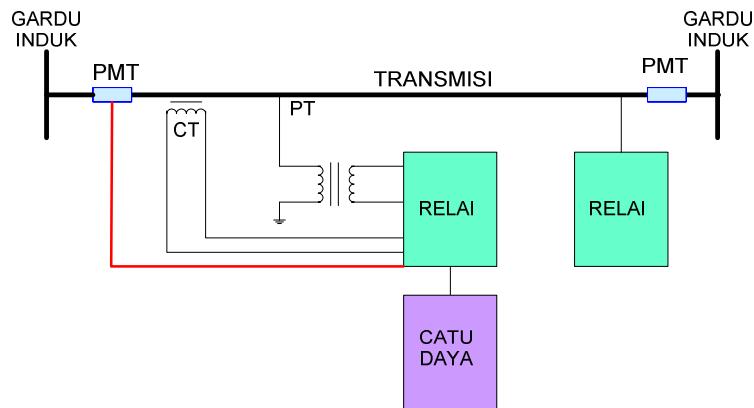
2.2.2.2 Peralatan Proteksi

Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan, Peralatan proteksi yang harus diketahui adalah :

- a. **Relai Proteksi** : sebagai komponen perasa/pengukur untuk mendeteksi adanya gangguan. Relai akan mengubah sinyal dari komponen monitoring (*instrument trafo*) kemudian akan memberikan perintah untuk memutus jaringan saat sistem mengalami gangguan. Selain itu, relai proteksi berfungsi untuk memberikan peringatan saat mendeteksi gangguan yang mungkin akan terjadi.
- b. **Pemutus Tenaga (PMT)** : PMT atau dikenal lain sebagai *Circuit Breaker* (CB) digunakan sebagai pemutus rangkaian jika terjadi gangguan didalam sistem yang bertujuan untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu, dengan kata lain membebaskan sistem dari gangguan. PMT menerima perintah (*trip signal*) dari relai proteksi untuk membuka. Dimana fungsi dari pmt ini adalah sama seperti MCB namun prinsip kerjanya saja yang berbeda, jika MCB menggunakan bimetal sebagai proteksinya namun tidak bagi PMT, dimana sifat kerja dari PMT ini adalah pasif, karena dia menunggu perintah dari relai proteksi untuk menjatuhkan PMT tersebut.

- c. **Trafo Arus (Current Transformer) atau Trafo Tegangan (Potential Transformer)**: dimana fungsi trafo arus (CT) disini adalah mengkonversi arus yang mengalir disisi primer menjadi diturunkan (*step down*) karena arus yang ada disisi sekunder akan dihubung ke komponen elektronik arus lemah seperti relai proteksi, begitu juga fungsi dari trafo tegangan (PT) yaitu mengkonversi tegangan yang mengalir disisi primer menjadi diturunkan (*step down*) karena tegangan yang ada disisi sekunder akan juga pada relai proteksi.
- d. **Batterai (accu)** : sebagai sumber tenaga untuk rangkaian kontrol pada panel listrik, rangkaian kontrol PMT (Pemutus Tenaga), catu daya untuk relai proteksi, catu daya relai bantu (*auxiliary Relay*) dan catu daya alat ukur kWh *digital*.

Secara sederhana salah satu contoh sistem proteksi untuk transmisi ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.7. Konfigurasi Sistem Proteksi Pada Panel Feeder & Jaringan(Indra Safitri, 2020)

Keterangan :

PMT : Pemutus Tenaga

CT : *Current Transformer* (Trafo Arus)

PT : *Potensial Transformer* (Trafo Tegangan)

2.2.2.3 Syarat Proteksi

Sistem proteksi harus memenuhi syarat sebagai berikut :

a. Kepakaan (*sensitivity*)

Relai harus peka mendeteksi adanya gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya walaupun dalam kondisi pada rangsangan minimum.

b. Keandalan (*reliability*)

Terbagi dua :

1. *Dependability*

Pengaman harus dapat diandalkan untuk bekerja mendeteksi adanya gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu tidak boleh gagal bekerja.

2. *Security*

Pengaman harus dapat diandalkan untuk tidak salah kerja, sehingga relai pengaman tidak boleh bekerja untuk gangguan yang bukan di daerah pengamannya.

c. Selektifitas

Pemisahan oleh relai pengaman harus sekecil mungkin yaitu seksi terganggu saja yang memang dalam daerah pengamanannya, jadi mampu membedakan dimana lokasi gangguannya.

d. Kecepatan

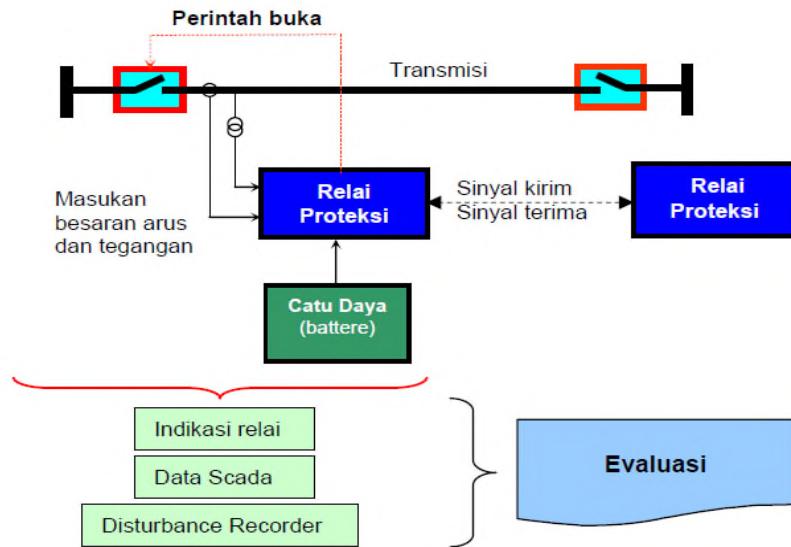
Relai pengaman harus mampu bekerja dengan cepat agar kerusakan akibat gangguan dapat diperkecil dan tidak menyebabkan terganggunya stabilitas sistem setelah *tripping* terjadi.

e. Ekonomis

Diharapkan dengan harga relai proteksi yang terjangkau, menghasilkan kemampuan proteksi pengamanan yang baik.

f. Sederhana

Dengan semakin canggihnya teknologi, diharapkan memudahkan seseorang untuk mengerti dan mengoperasikan relai proteksi tersebut.



Gambar 2.8. Blok Diagram Kerja Sistem Proteksi

2.2.2.4 Kode Proteksi ANSI Standard (American National Standard Institute)

Banyak fungsi pengaman dalam sebuah relai proteksi yang dapat digunakan untuk mengamankan sebuah panel listrik, namun dalam keseharian dikalangan orang-orang ahli proteksi penamaan sebuah ganguan tidak dikatakan dalam sebuah kata-kata melainkan dikatakan dalam angka-angka (*ANSI Code*) untuk penamaan dari sebuah ganguan yang terjadi yaitu (Intan NurmalaSari, 2016) :

Tabel 2.1. Kode Proteksi *ANSI Standard*

No	Deskripsi	ANSI Code
1	Relai <i>instant</i> arus lebih/ <i>Over Current Relay</i>	50
2	Relai <i>inverse</i> arus lebih/ <i>Over Current Time Delay Inverse Relay</i>	51
3	Relai <i>instant</i> gangguan tanah/ <i>Earth Fault Relay</i>	50N
4	Relai <i>inverse</i> gangguan tanah/ <i>Earth Fault Time Delay Inverse Relay</i>	51N
5	Relai turun arus/ <i>Under Durrent Relay</i>	37
6	Relai termal beban lebih/ <i>Thermal Over Load Relay</i>	49
7	Relai turun frekuensi/ <i>Under Frequency Relay</i>	81
8	Relai tegangan turun/ <i>Under Voltage Relay</i>	27
9	Relai tegangan lebih/ <i>Over Voltage Relay</i>	59
10	Relai <i>Synchro</i>	25
11	Relai <i>Auto Reclose</i>	79

2.2.3. *Over Current Relay (OCR)*

Terdapat pengertian dan jenis relai berdasarkan waktu yang terbagi menjadi 2 sub bab.

2.2.3.1 Pengertian *Over Current Relay (OCR)*

Relai arus lebih (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang berfungsi mendeteksi adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau beban lebih yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai arus lebih akan bekerja apabila arus yang terdeteksi oleh relai melebihi *setting* nilai ambang batas arusnya. Pada dasarnya relai arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan nilai *setting*.

Fungsi *Overcurrent Relay (OCR)* adalah sebagai pengaman utama atau cadangan untuk gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem, terutama

gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Relai arus lebih biasanya diaplikasikan sebagai:

- a. Pengaman utama pada daerah proteksi seperti jaringan tegangan menengah (saluran distribusi) dan sistem tenaga listrik yang kecil dan berbentuk *radial*.
- b. Pengaman cadangan pada sistem tenaga listrik yang besar karena sulit dalam mengkoordinasikannya untuk mendapatkan selektifitas yang baik.
- c. Pengaman cadangan transformator daya dan generator
- d. Pengaman motor listrik yang kecil.
- e. Pengaman gangguan tanah untuk sistem distribusi atau saluran transmisi.

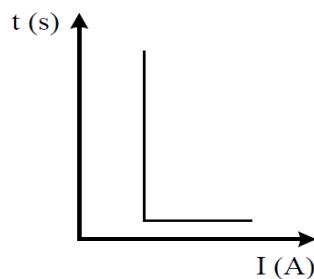
(*Overcurrent Relay*) dapat digunakan untuk mendeteksi adanya arus lebih yang mengalir pada jaringan distribusi tipe *spindle* dan tidak perlu adanya pendekripsi arah gangguan karena saluran distribusi *spindle* dalam keadaan normal hanya memiliki satu sumber diujungnya(Indra Safitri, 2020).

2.2.3.2 Jenis *Relay* Berdasarkan Karakteristik Waktu

Karakteristik waktu pengaman *Over Current*.

1. Relai arus lebih sesaat (*Instantaneous Relay*)

Relai yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) apabila terdapat arus yang mengalir melebihi nilai *settingnya* dan jangka waktu kerja relai dimulai dari pick up hingga bekerja sangat singkat (10–20 ms). Dapat dikatakan bahwa tidak terdapat beda waktu saat terjadinya gangguan dengan saat bekerjanya kontak-kontak pada rangkaian pemutus (*tripping circuit*). Berikut ini adalah karakteristik relai waktu sesaat :



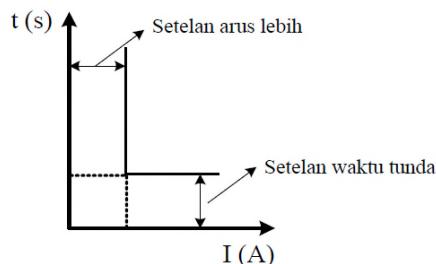
Gambar 2.9. Karakteristik OCR Tipe Arus Sesaat (Erwin Dermawan, 2017).

2. *Definite Time Lag* (waktu tertentu)

Relai yang bekerja dengan waktu tunda tertentu antara saat terjadinya gangguan dengan saat bekerjanya kontak-kontak pada rangkaian pemutus. Waktu tunda kerja relai tidak dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan ataupun besaran lain yang mengerjakan relai tersebut, melainkan waktu tundanya telah ditetapkan pada suatu harga tertentu dalam perencanaannya.

Relai ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui *settingnya* (I_s), dan jangka waktu kerja relai dimulai dari kondisi relai mendeteksi arus gangguan (kondisi *pick up*) sampai kerja relai diperpanjang dengan waktu tertentu yang tidak tergantung dengan besarnya arus yang mengerjakan relai.

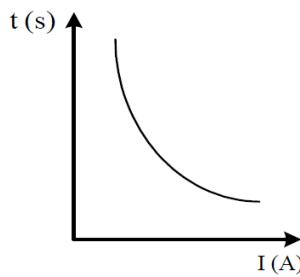
Berikut ini adalah karakteristik relai arus lebih waktu tertentu :



Gambar 2.10. Karakteristik OCR Tipe *Definite Time* (Erwin Dermawan, 2017).

3. *Inverse Time Lag* (waktu terbalik)

Relai yang bekerja dengan waktu saat terjadinya gangguan dan bekerjanya kontak-kontak pada rangkaian pemutus, saling berbanding terbalik dengan besar arus gangguan atau besaran lainnya yang mengerjakan relai tersebut. Maksudnya adalah semakin besar arus gangguan maka akan semakin cepat kerja relai dan semakin kecil arus gangguan maka waktu kerja relai semakin lambat.



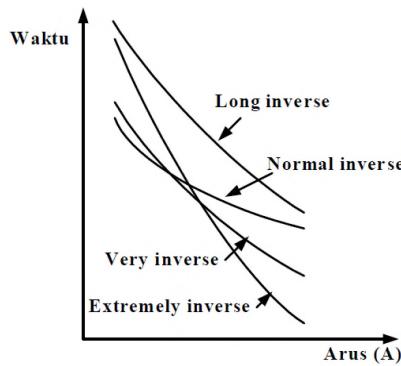
Gambar 2.11. Karakteristik OCR Tipe *Inverse* (Erwin Dermawan, 2017).

2.2.4. Macam-Macam Karakteristik *Inverse*

Over Current Relay (OCR) dengan karakteristik *inverse* sangat bermanfaat untuk mengamankan beban lebih (*overload*).

Berdasarkan standar IEC ada 4 karakteristik, *inverse* terdapat tiga jenis, yaitu :

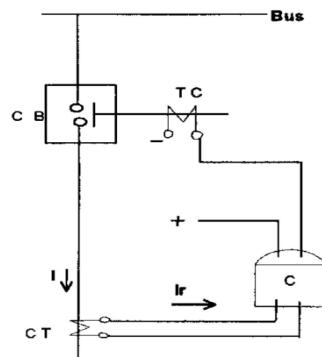
- a) **Karakteristik Standard *Inverse* (SI)**, digunakan sebagai karakteristik standar untuk koordinasi antar relai dimana kapasitas hubung singkat di berbagai lokasi relai cukup signifikan.
- b) **Karakteristik Very *Inverse* (VI)**, memiliki kurva yang lebih curam dibandingkan kurva *standard inverse*. Karakteristik ini digunakan untuk koordinasi beberapa relai dan terdapat perbedaan kapasitas hubung singkat di antara lokasi relai.
- c) **Karakteristik Extreme *Inverse* (EI)**, memiliki kurva yang lebih curam dibandingkan kurva *very inverse*. Kurva jenis ini biasa digunakan untuk koordinasi dengan pengaman lebur atau fuse di sisi bawah relai.
- d) **Karakteristik Long Time *Inverse* (LTI)**, memiliki waktu kerja yang cukup lama pada *setting* arus yang sama bila dibandingkan dengan karakteristik jenis lain. Karakteristik jenis ini biasanya digunakan untuk pengamanan tahanan pentanahan trafo dan sebagai cadangan pengaman gangguan tanah.



Gambar 2.12. Perbandingan Kelengkungan Kurva Karakteristik *Inverse Time*

2.2.5. Prinsip Kerja *Over Current Relay* (OCR)

Prinsip kerja *Over Current Relay* (*OCR*) adalah relai arus lebih akan membaca nilai masukan berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus yang terbaca oleh relai melebihi nilai *setting*, maka relai akan mengirim perintah lepas (*trip*) kepada PMT atau CB setelah tunda waktu yang diterapkan pada *setting*. Berikut adalah gambar konfigurasi diagram satu garis relai arus lebih (Indra Safitri, 2020):



Gambar 2.13. Konfigurasi Diagram Satu Garis Relai Arus Lebih (Rezky Fajrian, 2015).

Keterangan:

CB = Circuit Breaker

TC = *Trip Coil* CB

I = Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan

CT = Transformator Arus

Ir = Arus yang mengalir pada relai

C = Relai arus lebih

Ip = Arus *pick-up* dari relai

Cara kerja OCR dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Pada kondisi normal arus beban (Ib) mengalir pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) / SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) dan oleh trafo arus besaran arus ini ditransformasikan ke besaran sekunder (Ir). Arus Ir mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari suatu harga yang ditetapkan (*setting*), maka relai tidak bekerja.
- b. Apabila terjadi gangguan hubung singkat, maka arus Ib akan meningkat dan menyebabkan arus Ir meningkat pula, sehingga arus Ir akan meningkat melebihi suatu nilai yang telah ditetapkan (diatas nilai *setting*), maka relai akan bekerja dan memberikan perintah *trip* pada *tripping coil* untuk bekerja dan membuka PMT (Pemutus Tenaga), sehingga SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) / SKTM (saluran Kabel Tegangan Menengah) yang terganggu dapat dipisahkan dari jaringan.

2.2.6. Penyetelan *Over Current Relay* (OCR)

Pada arus hubung singkat yang mengalir dalam jaringan tidak jauh berbeda untuk setiap titik gangguan. Oleh karena itu tidak mungkin hanya membedakan berdasarkan penyetelan arus saja. Untuk menanggulangi hal ini, digunakan kemampuan membedakan berdasarkan waktu. Relai yang terletak paling dekat dengan lokasi gangguan akan bekerja paling cepat, sedangkan relai yang letaknya jauh dari lokasi gangguan akan bekerja lebih lambat. Waktu kerja relai proteksi umumnya diatur-atur dengan memilih skala pada relai tersebut yang biasanya disebut dengan *Time Dial* atau *Time Multiplier Setting*.

a. Arus setting Over Current Relay (OCR)

Penyetelan OCR pada sisi *Incoming* setiap gardu distribusi pada penyulang listrik jaringan distribusi dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung arus nominal transformator distribusi. Arus *setting* OCR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Indra Safitri, 2020) :

$$I_{setting} = 1,2 \times I_{nominal\ trafo} \quad (\text{A})$$

Sedangkan untuk arus *setting* pada Moment OCR (*Instantaneous Relay*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I_{high-setting} = 4 \times I_{nominal\ trafo} \quad (\text{A})$$

b. Setting waktu ($t_{setting}$)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai *setting* waktu kerja relai (TMS). Persamaan karakteristik waktu kerja relai menurut standar IEC adalah (Indra Safitri, 2020) :

$$t = \frac{K \cdot TMS}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{\alpha-1}} \quad (\text{detik})$$

Dimana :

- a. TMS (*Time Multiplier Setting*) adalah *setting* waktu atau kurva yang akan digunakan dan dirumuskan sebagai berikut:

$$TMS = \frac{\text{Arus primer}}{\text{setting Arus Primer}} = \frac{\text{Arus primer}}{\text{Setting Arus Primer} \times CT\ Ratio}$$

- b. I_f/I_s adalah perbandingan dari arus gangguan (primer) terhadap *setting* arus (MTVC-*Multiple of Tap Value Current*).
 c. K dan α merupakan konstanta karakteristik relai arus lebih waktu terbalik.

Masing-masing karakteristiknya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2. Karakteristik Operasi Waktu Jenis Relai *Inverse time*

Karakteristik	K	α	Setting Waktu (TMS)
<i>Standar Inverse</i>	0,14	0,02	$TMS = \frac{0,14 \cdot t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}$
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	$TMS = \frac{13,5 \cdot t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	$TMS = \frac{80 \cdot t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^2 - 1}$
<i>Long time Inverse</i>	120	1	$TMS = \frac{120 \cdot t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$

2.2.7. Pengujian *Relay Over Current*

Relay Test merupakan pengujian terhadap suatu *Relay* proteksi yang digunakan untuk mengamankan peralatan listrik seperti generator, trafo utama, trafo bantu, dan motor motor listrik. Untuk mengetahui dan menguji bahwa *Relay* tersebut betul betul bekerja sesuai dengan setpoint yang telah di setting. *Relay* arus lebih / *Over Current Relay* (OCR) adalah suatu *Relay* yang bekerja berdasarkan adanya arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Gangguan beban lebih dan hubung singkat fasa ke tanah atau fasa-fasa menimbulkan arus gangguan yang besarnya melebihi setting arus pada *Relay* arus lebih, sehingga *Relay* arus lebih memicu pemutus tenaga bekerja sesuai dengan setting waktu yang diterapkan, sehingga resiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindari.

2.2.7.1 Pengujian Relai Arus Lebih / *Over Current Relai* (OCR)

Pengujian Relai Arus Lebih / *Over Current Relay* (OCR) terdapat dua jenis, yaitu :

- a. Pengujian individual adalah pengujian individual relai itu sendiri, untuk mengetahui apakah masih dalam keadaan standar atau tidak.
- b. Pengujian fungsi Pengujian fungsi adalah menguji fungsi dari sistem proteksi secara keseluruhan apakah masih berfungsi atau tidak.

Selain itu juga terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengujian relai, yaitu :

1. Cara *setting*.
2. Internal diagram *Relay*.
3. Alat uji / rangkaian pengujian.
4. Item pengujian.
5. Prosedur pengujian.
6. Hasil uji dan kesimpulan.

Sehingga diharapkan apabila telah benar-benar memperhatikan komponen di atas pengujian relai dapat berjalan dengan baik dan mendapatkan hasil yang presisi sesuai dengan yang diinginkan (Erwin Dermawan, 2017).

2.2.8. Penggunaan *Methode Program Inverse Microsoft Excel* pada *System Proteksi*

Sebagai pengamanan dari gangguan arus lebih. Banyak cara untuk penyetelan *Relay*, bisa mempergunakan program Qbasic, Pascal, cobol, ETAP, Omicron, dls. Program program ini dibuat oleh vendor atau pembuat program, jika pemesan ingin mengoperasikannya hanya perlu pengetahuan cara mengisi data-data selanjutnya di Run keluar hasil yang dikehendaki. Hal ini sangat merugikan bagi si pemakai program, karena tidak mengetahui proses perhitungan dari penyetelan rele tersebut (black board) dan biayanya mahal. Program Microsoft Excel adalah salah satu jawaban untuk mengatasi perhitungan penyetelan rele OCR dan GFR yang terpasang pada jaringan distribusi primer. Pada program Microsoft Excel si pemakai dapat memasukan data dan mengetahui bagaimana proses iterasi dari Microsoft Excel dengan meneliti formula formula yang dipergunakan.

Penggunaan *Methode Program Inverse* Microsoft Excel pada *System* proteksi dengan cara perhitungan yang sederhana dan mudah dimengerti, perangkat yang sudah banyak dikenal dan ada dimana-mana.

Selain *Methode Program Inverse* digunakan sebagai perangkat lunak untuk mengolah data secara otomatis meliputi perhitungan dasar, penggunaan fungsi-fungsi, pembuatan grafik dan manajemen data. Ternyata perangkat lunak ini sangat membantu untuk menyelesaikan masalah perhitungan yang lebih kompleks.

Permasalahan sederhana tersebut misalnya membuat rencana kebutuhan barang meliputi nama barang, jumlah barang dan perkiraan harga barang. Permasalahan ini sebenarnya dapat juga diselesaikan menggunakan Microsoft Word karena hanya sedikit memerlukan proses perhitungan, tetapi lebih mudah diselesaikan dengan *Methode Program Inverse*.

Permasalahan yang lebih kompleks adalah pembuatan laporan keuangan (*general ledger*) yang memerlukan banyak perhitungan, manajemen data dengan menampilkan grafik atau *pivot* tabel atau penggunaan fungsi-fungsi matematis ataupun logika pada sebuah laporan. Penyelesaian permasalahan yang kompleks juga dapat memanfaatkan pemrograman *macro* yang disediakan oleh Microsoft Office Microsoft Excel agar proses penggunaan lebih mudah, yang membedakan penelitian ini dengan yang sebelumnya adalah penelitian sebelumnya bahwa dengan Program Microsoft Excel dapat dijadikan sebagai perhitungan peyetelan relai *Over Current*. Maka dalam penelitian ini terdapat pembaharuan untuk mengisi cela dari peneliti sebelumnya dan bertujuan untuk menganalisa juga mendesign dengan menggunakan *Aplication Program Inverse* dengan Microsoft Excel untuk membuat program perhitungan waktu jatuh (*trip time*) pemutus tenaga dan untuk mengetahui bentuk kurva *inverse* yang sesungguhnya pada pengaturan relai proteksi dan dapat digunakan pula untuk perhitungan koordinasi *System* relai proteksi dibuktikan dengan komparasi terhadap alat Omicron CMC 356 (Ir. Wahyudi Sarimun N.MT, 2004).

Ternyata fasilitas yang ada didalam Microsoft Office Microsoft Excel dapat dimanfaatkan untuk membuat program perhitungan waktu jatuh (*trip time*) PMT, PMT akan jatuh / *trip* jika terjadi suatu ganguan pada jaringan kelistrikan maka

akan diketahui sebelumnya, bahkan kita dapat mengetahui bentuk kurva *invers* yang sesungguhnya pada pengaturan relai proteksi, dimana kelemahan orang yang menggunakan kurva *invers* pada pengaturan relai proteksi didalamnya adalah dia tidak mengetahui bentuk kurva pada pengaturan yang telah dibuatnya, selain itu dapat pula digunakan untuk perhitungan koordinasi relai proteksi yang dapat dengan mudah dipahami dan dimengerti (Yusfrizal, 2022).

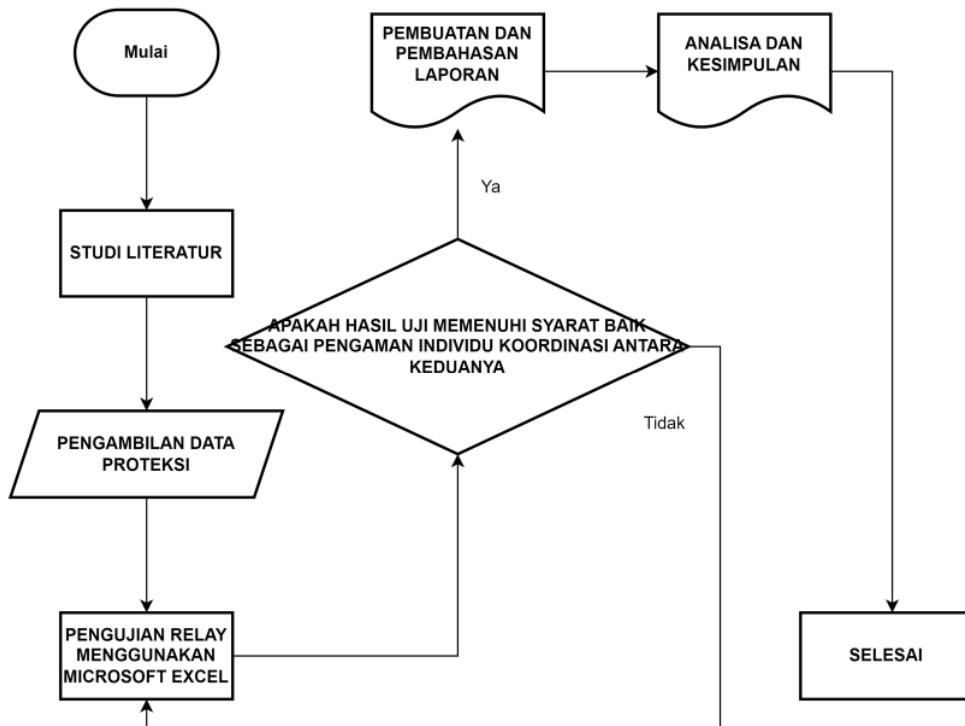
BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini menyajikan langkah-langkah kunci dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui waktu *tripping* dan koordinasi proteksi. Penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahapan yang mencakup pengumpulan data, analisis, simulasi, hingga penarikan kesimpulan. Berikut adalah jalan penelitian yang memberikan gambaran umum tentang tahapan penelitian yang akan diuraikan secara lebih mendetail.

- a) Penelitian dimulai dengan memeriksa kajian pustaka yang merujuk pada berbagai sumber ilmiah seperti buku, artikel jurnal, prosiding, dan situs resmi lembaga atau pemerintahan. Pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan kata kunci seperti "*Over Current*". Penulis juga melakukan konsultasi dengan para pakar untuk mengumpulkan data dan pengetahuan yang diperlukan untuk sistem proteksi. Sumber data dan pengetahuan ini melibatkan insinyur dari perusahaan penyedia relai proteksi, medium voltage panel, ahli relai proteksi *Schneider Electric*.
- b) Penentuan lokasi dan obyek penelitian berdasarkan pekerjaan sehingga memudahkan penulis untuk mendapatkan data, dan juga penentuan lokasi didasarkan dari tidak ada data berkaitan koordinasi *System* proteksi.
- c) Pengambilan Data Proteksi adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengambilan data melalui *single line diagram* atau *schematic* untuk kepentingan pengujian dan Analisa dalam penelitian ini.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Kawasan Industri GIIC Delta Mas Sukamahi, Cikarang Pusat, Jawa Barat pada koordinat $6^{\circ}22'46.0"S$ $107^{\circ}11'59.7"E$.

3.3 *Methode Program Inverse*

3.3.1. Pengumpulan Data

Dalam konteks penelitian terdiri dari beberapa langkah yang dapat Anda ambil untuk mengumpulkan data:

- Survei Lapangan: Melakukan survei lapangan di lokasi untuk mengidentifikasi dan memvalidasi panel yang terpasang sesuai dengan data.
- Data *Schematic*: Memperoleh gambaran tentang panel yang terpasang, data ini diperoleh dari pemilik *data center*.
- Data Koordinasi Sistem Proteksi: Memperoleh gambaran koordinasi yang sudah ada.

- d) Data Teknis Mesin: Jika Anda merencanakan menganalisa suatu *System* proteksi, Anda akan memerlukan data teknis mesin dan peralatan yang akan digunakan, termasuk spesifikasi *current transformer*, *circuit breaker*, *Relay protection* dan lainnya.
- e) Data Pembebanan: Mengumpulkan data tentang pembebanan listrik di wilayah penelitian, yang akan membantu dalam menganalisa sistem proteksi.
- f) Data *Methode Program Inverse*: Data awal yang digunakan dalam perangkat lunak *Methode Program Inverse* untuk pemodelan sistem proteksi. Ini mencakup data teknis dari semua komponen sistem yang dianalisa.
- g) Wawancara dan Kuesioner: Melakukan wawancara terkait koordinasi *System* proteksi dan kuesioner tentang seberapa paham operator tentang koordinasi proteksi yang ada di *data center*.

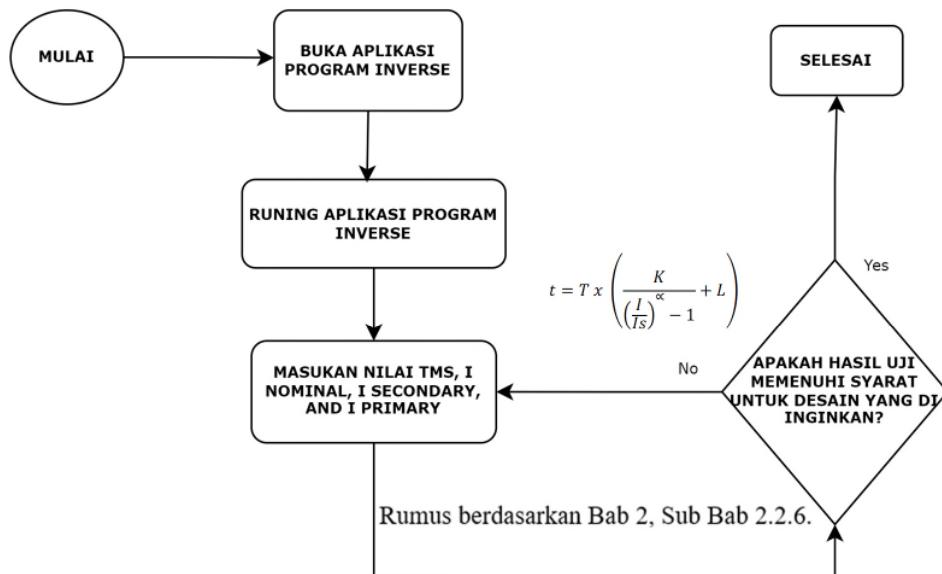
Pengumpulan data yang teliti dan akurat sangat penting untuk menganalisa model sistem proteksi dan mengoptimalkan analisanya dengan perangkat lunak *Methode Program Inverse*. Pastikan untuk memerhatikan etika penelitian dan izin yang diperlukan sebelum mengumpulkan data dari sumber eksternal atau melakukan survei lapangan.

3.3.2. Simulasi Hasil

1. Simulasi menggunakan aplikasi *Methode Program Inverse*. Setelah mengumpulkan data dan memasukan *setting value* di *Methode Program Inverse*, simulasi akan memberikan wawasan tentang proteksi sistem yang disimulasikan. Ini termasuk waktu *trip*, bentuk kurva, dan koordinasinya. Dengan hasil simulasi, peneliti dapat mengevaluasi sejauh mana sistem mencapai tujuan tertentu, seperti waktu *trip*, koordinasi antara sistem proteksi. Hasil ini kemudian dapat menjadi landasan yang kuat untuk membuktikan bahwa *Methode Program Inverse* dapat dijadikan software untuk mendesain.
2. Masukkan besaran ratio pada sisi Sekunder Trafo (**S**), data data dilihat pada panel yang akan diteliti, pada sisi sekunder trafo hanya terdapat ratio trafo /1A atau /5A, ratio yang digunakan pada panel jenisnya adalah trafo *step down* atau penurun arus, arus yang kecil /1A atau /5A ini yang akan masuk kedalam

instrumen seperti : relai proteksi, metering ampere meter analog atau ampere meter digital.

3. Masukan *Settingan* relai proteksi ke dalam angka – angka yang berwarna hijau didekat kotak bertuliskan *code ANSI* angka 51 yang artinya adalah relai proteksi ini menggunakan fungsi arus lebih dengan tunda waktu *invers*, data yang dibutuhkan adalah Arus Nominal (In), *Time Multiple Sett* (TMS) dan *standard* kurva *invers* yang digunakan yang ada pada *Methode Program Inverse*.
4. Setelah semua data diperoleh maka masukkan data gangguan yang akan diberikan pada panel tersebut, kemudian simulasikan menggunakan *Methode Program Inverse*. *Methode Program Inverse* akan merespon data gangguan yang telah disimulasikan tersebut.



Gambar 3.2 Alur Simulasi Hasil

3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu:

- a. *Single Line Diagram* yang digunakan sebagai panduan dalam proses pengambilan data dilapangan.
- b. *Schematic* yang digunakan sebagai panduan dalam proses pengetesan.

3.5 Peralatan Penelitian:

Dalam melakukan perancangan penulis menggunakan *hardware* dan *software* untuk membantu dan menunjang penelitian ini, yaitu:

- Komputer atau Laptop.

Tabel 3.1 Perangkat Keras

Hardware	Spesifikasi
Device Name	Lenovo
Jenis Komputer	Prosesor Intel i5
RAM	8.00 GB
Hardisk	500 GB
Monitor	1366x720 (32 Bit) (60 Hz)
System Type	64 Bit Operating System x64 based processor

Tabel 3.2 Perangkat Lunak

Software	Spesifikasi
Sistem Operasi	Windows 10
Web Browser	Google Chrome
Olah Data	<i>Methode Program Inverse</i>
Pembuatan Tesis	Microsoft Word
Pembuatan Presentasi	Microsoft Power Point

- Omicron CMC 356 digunakan untuk memberi tegangan dan arus dengan memasukannya sesuai *secondary CT* (*Current Transformer*).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

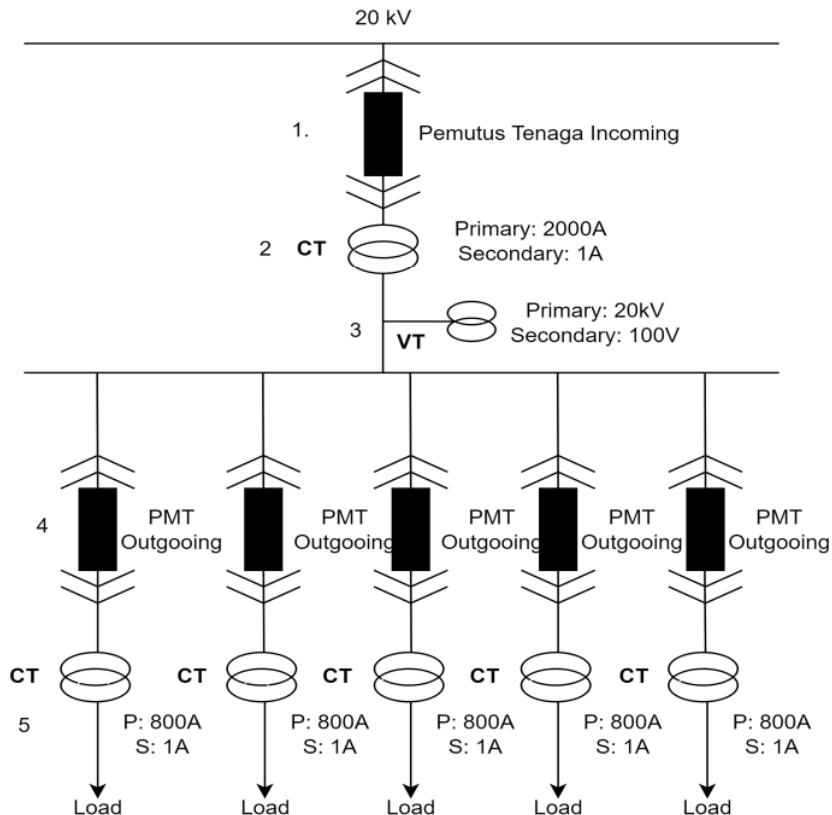
4.1. Data Pengujian

Data pengujian pada penelitian ini terbagi menjadi lima sub bab dengan penjelasan dimasing masing sub bab nya.

4.1.1. Data GI Data Center

Dalam rancangan penelitian ini, terdapat panel tipe Metal Clad bernama panel SM6, panel ini yang diproduksi oleh PT. Schneider, didalamnya terdapat PMT (CB atau Pemutus Tenaga) menggunakan tabung gas SF6 yang digunakan sebagai media peredam bunga api, dan trafo arus medium voltage dimasing – masing pasa serta relai proteksi MiCOM.

4.1.2. Diagram Satu Garis Peralatan Proteksi 20kV



Gambar 4.1 Diagram 1 Garis Peralatan Proteksi

1. Pemutus Tenaga (PMT) *Incoming*

Pemutus Tenaga (PMT) *Incoming* dapat dilalui arus atau beban sebesar 2500A dengan tegangan 20kV untuk fasa ke fasa dan 11,54kV untuk fasa ke netral dan mampu menahan arus kejut sebesar 16kA serta frekuensi 50Hz.

2. *Current Transformer (CT) Incoming*

Current Transformer (CT) memiliki spesifikasi disisi gulungan primer sebesar 2000A dan gulungan sekunder sebesar 1A dan mampu menahan arus kejut 16kA/1s.

3. *Voltage Transformer (VT)*

Voltage Transformer (VT) memiliki spesifikasi disisi gulungan primer sebesar 20kV dan gulungan sekunder sebesar 100V.

4. Pemutus Tenaga (PMT) *Outgoing*

Pemutus Tenaga (PMT) *Outgoing* dapat dilalui arus atau beban sebesar 800A dengan tegangan 20kV untuk fasa ke fasa dan 11,54kV untuk fasa ke netral dan mampu menahan arus kejut sebesar 16kA serta frekuensi 50Hz.

5. *Current Transformer (CT) Outgoing*

Current Transformer (CT) memiliki spesifikasi disisi gulungan primer sebesar 800A dan gulungan sekunder sebesar 1A dan mampu menahan arus kejut 16kA/1s.

4.1.3. *Template OCC Omicron tipe CMC 356*

Template OCC (Omicron Control Center) Omicron tipe CMC 356 digunakan sebagai *standard* karena dalam proses pengujian relai proteksi dilakukan secara otomatis dengan sekali tekan *run* maka program *template OCC* omicron akan menguji relai sesuai dengan pengaturan yang dibuat oleh penguji relai, sehingga dalam sekali tekan *run* semua pengujian dapat dilakukan dengan waktu yang singkat, yang tidak kurang dari 5 menit pengujian *standard* pabrikan

relai proteksi selesai dilakukan, lalu *test report* / laporan hasil pengujian relai proteksi dapat dibuat otomatis oleh *template* omicron.

Pengujian *standard* relai proteksi yang dilakukan yaitu pengujian arus lebih dan pengujian arus bocor dengan tunda waktu *Definite Time* (DMT) dan *Standard Invers Definite Time* (SI - IDMT) pada masing – masing fungsi pengaman ganguan.

Dibalik kemudahan tersebut, terdapat suatu kelemahan yaitu pengaturan *setting* relai proteksi harus mengikuti *setting* pengaturan *template* OCC pada Omicron, bukan sebaliknya sehingga jika ada pelanggan / *customer* meminta untuk menguji coba pengaturan setting relai proteksi yang dimilikinya maka tidak dapat dilakukan karena template pada omicron dibuat sudah baku dan sudah *standard*.

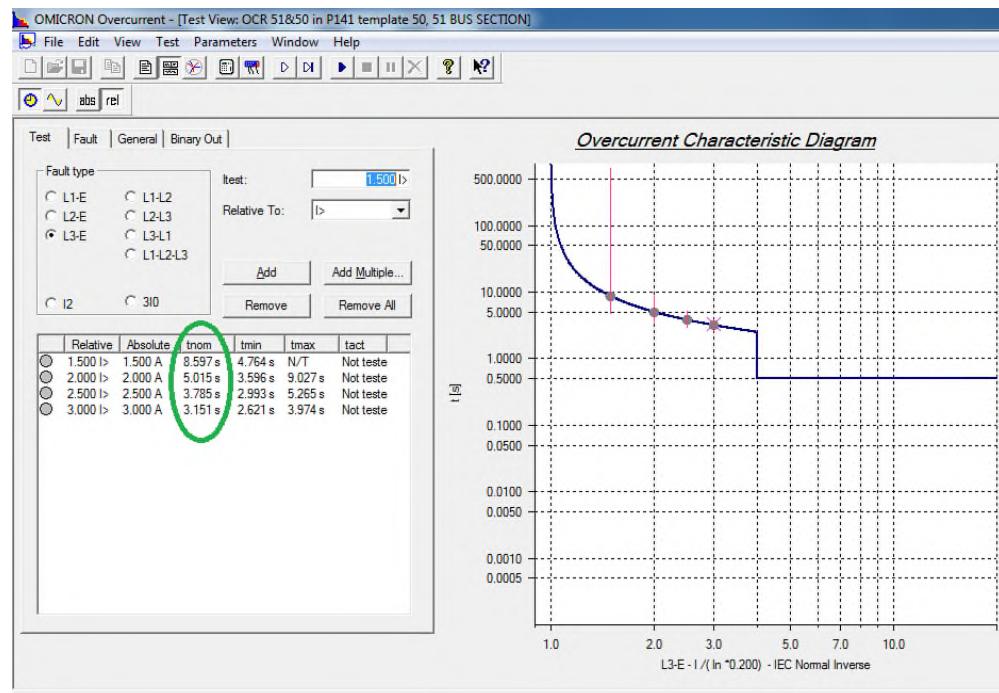
4.1.2. Data Hasil Perhitungan dari Formulasi *Template* OCC Omicron tipe CMC 356

Untuk membandingkan ke akurasian aplikasi program *invers* yang dibuat dengan Microsoft *Office* Microsoft Excel 2016 dan *standard Template* OCC Omicron CMC 356 maka *formulasi* perhitungan template OCC Omicron akan dibandingkan dengan *formulasi* penghitungan pada aplikasi program *invers* yang dibuat dengan Microsoft *Office* Microsoft Excel 2016.

Pengujian *formulasi* yang dilakukan mengikuti *standard* pada *template* OCC Omicron, yaitu:

1. Jenis kurva menggunakan *Standard Invers* (SI).
2. Pengaturan Inom / arus nominal (In) dibuat 1 kali In.

3. Pengaturan *Time Multiple Sett* (TMS) dibuat 0,5
4. Untuk *ratio* Trafo Arus pada panel *feeder* dan *Incoming* masukkan secara bebas, misalnya 2000A pada sisi primer dan 5A pada sisi sekunder.



Gambar 4.2. *Formulasi* yang dikeluarkan oleh *template* OCC Omicron CMC 355 yang didalam lingkaran berwarna hijau

Hasil *formulasi templated* OCC dapat dilihat pada hasil penghitungan OCC pada kolom yang dicetak warna biru, di bawah ini.

Over Current Relay & Earth Fault Relay
Doc. No: D-QC-R-033, Rev.B

RELAY DATA

Substation/Bay:

Substation: Uji Coba Perhitungan Formula Substation address:
 Bay: Bay address:

Device:

Name/description: Manufacturer:
 Device type: Device address:
 Serial/model number:
 Additional info 1:
 Additional info 2:

Nominal Values:

f_{nom} : Number of phases:
 V_{nom} (secondary): $V_{primary}$:
 I_{nom} (secondary): 5A $I_{primary}$: 2000A

Test Equipment

Type	Serial Number
CMC356	CK592E

1. Phase OCR 1st (51)

Test Object - Overcurrent Parameters

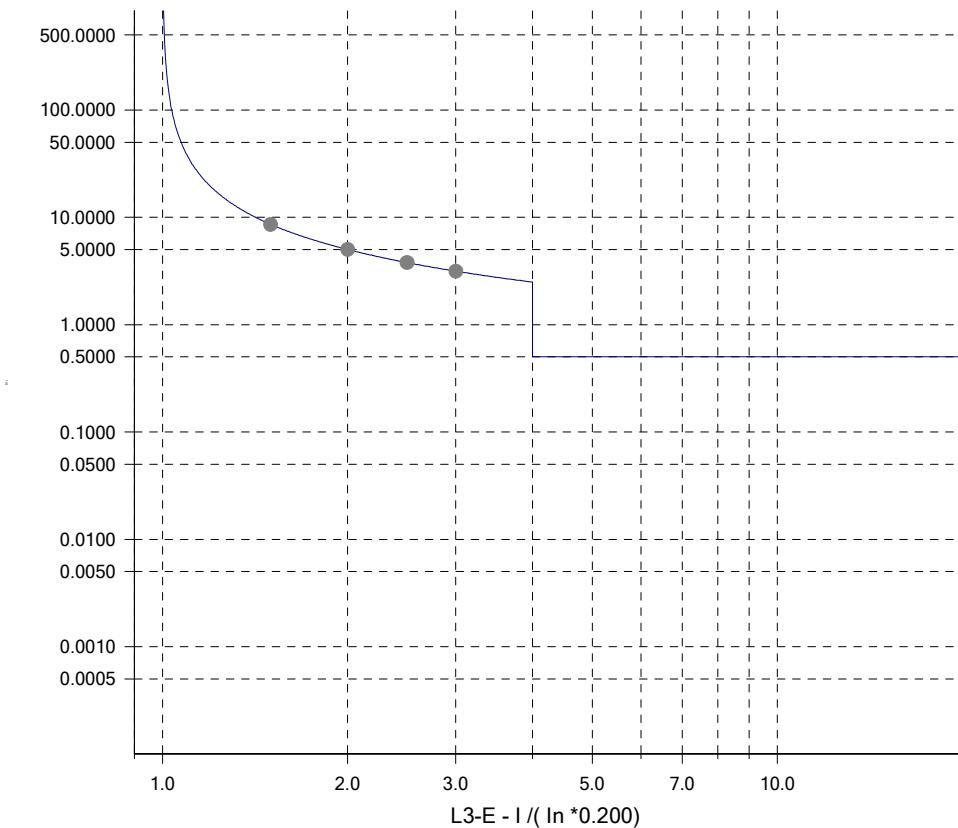
Overcurrent protection

Abs. Time Tolerance:	0.100 s	Rel. Time Tolerance:	5.00 %
Abs. Current Tolerance:	0.10 In	Rel. Current Tolerance:	5.00 %
PT connection:	On Line		
CT Starpoint Connection:	Towards Line		
Directional:	No		
Reset Ratio:	0.95		
Apply Auto Reset:	No		

Threshold	Active	Pick-up Current	Time	Characteristic
$I >$	Yes	0.200 In (1.000 A)	0.500	IEC Normal Inverse
$I >>$	Yes	0.800 In (4.000 A)	0.500 s	
$I >>>$	No	10.000 In (50.000 A)	0.050 s	

Test Results for Fault Type L1-L2-L3

Relative	I (A)	Direction	I_{nom}	t_{act}	Deviation (%)	State	Overload	Result
1.50 $I >$	1.50	n/a	8.597 s					
2.00 $I >$	2.00	n/a	5.015 s					
2.50 $I >$	2.50	n/a	3.785 s					
3.00 $I >$	3.00	n/a	3.151 s					

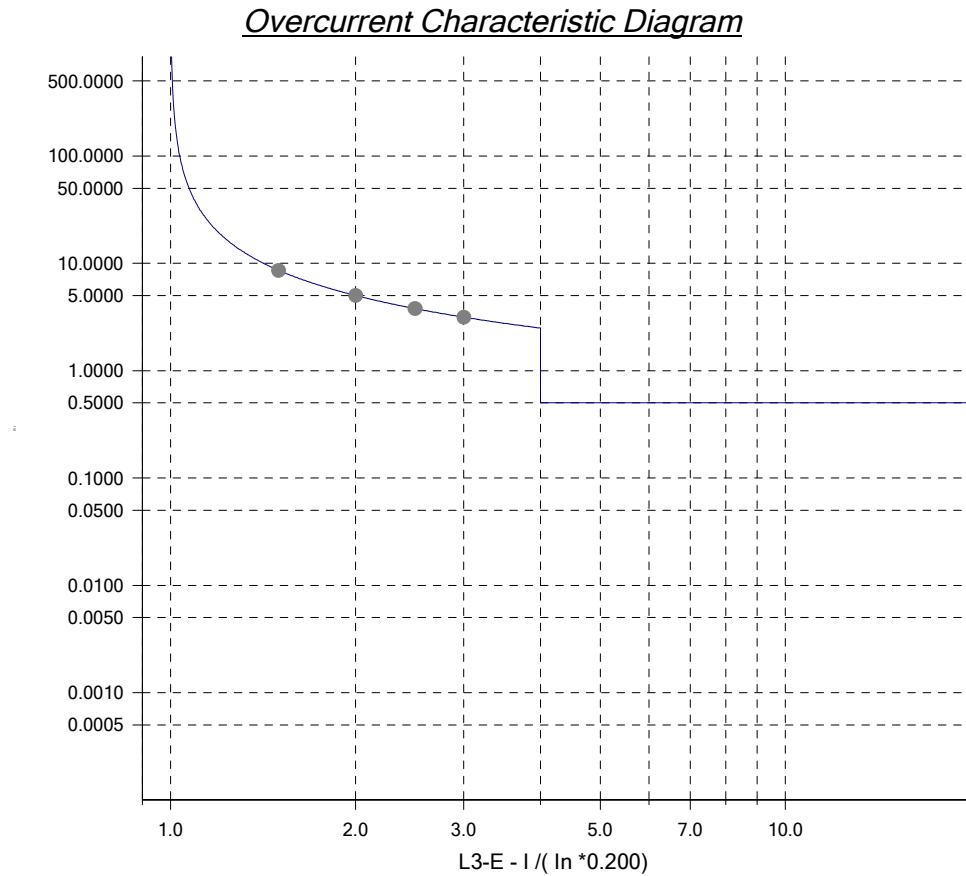
Overcurrent Characteristic Diagram**2. Ground Fault 1st Stage (51N)****Test Object - Overcurrent Parameters****Overcurrent protection**

Abs. Time Tolerance:	0.100 s	Rel. Time Tolerance:	5.00 %
Abs. Current Tolerance:	0.10 In	Rel. Current Tolerance:	5.00 %
PT connection:	On Line		
CT Starpoint Connection:	Towards Line		
Directional:	No		
Reset Ratio:	0.95		
Apply Auto Reset:	No		

Threshold	Active	Pick-up Current	Time	Characteristic
>	Yes	0.200 In (1.000 A)	0.500	IEC Normal Inverse
>>	Yes	0.800 In (4.000 A)	0.500 s	
>>>	No	10.000 In (50.000 A)	0.050 s	

Test Results for Fault Type L3-E

Relative	I (A)	Direction	tnom	tact	Deviation (%)	State	Overload	Result
1.50 >	1.50	n/a	8.597 s					
2.00 >	2.00	n/a	5.015 s					
2.50 >	2.50	n/a	3.785 s					
3.00 >	3.00	n/a	3.151 s					



4.1.3. Data Hasil Perhitungan dari *Formulasi Aplikasi Program Kurva Invers*

Invers

Sesuai dengan pengaturan *formulasi* yang dilakukan mengikuti *standard* pada *template* OCC Omicron, yaitu

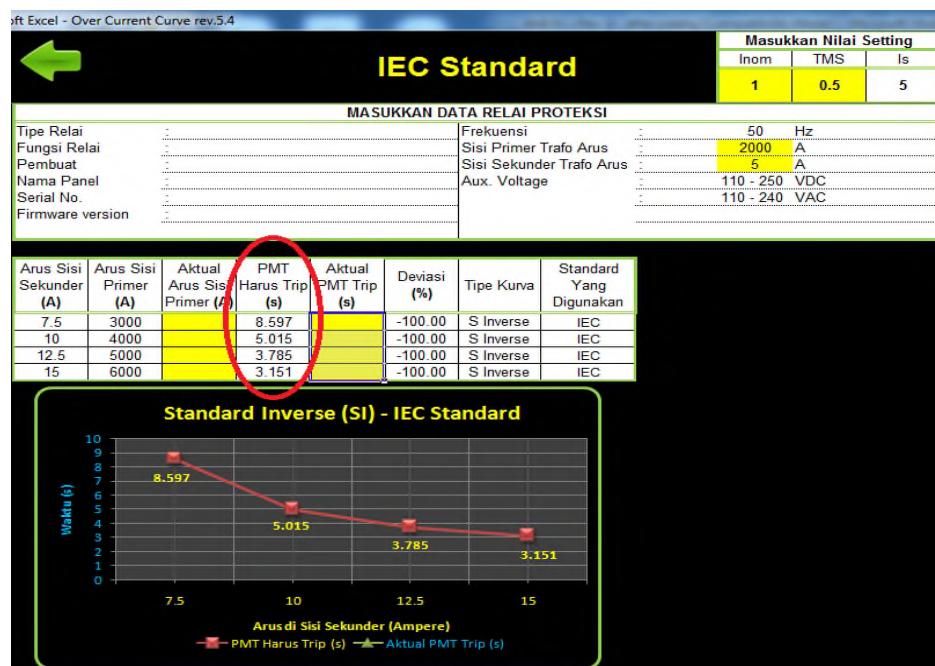
1. Jenis kurva menggunakan *Standard Invers* (SI).
2. Pengaturan *Inom* / arus nominal (*In*) dibuat 1 kali *In*.
3. Pengaturan *Time Multiple Sett* (TMS) dibuat 0,5
4. Untuk *ratio* Trafo Arus pada panel *feeder* masukkan secara bebas, misalnya 2000A pada sisi primer dan 5A pada sisi sekunder

Data pengujian yang dilakukan berdasarkan kriteria yang sudah ditetapkan maka hasil data sebagai berikut :

Hasil perhitungan menggunakan program aplikasi berbasis *Methode Program Inverse* jika terjadi ganguan arus lebih 150%, 200%, 250% dan 300%, dengan proteksi menggunakan *IEC Standard Invers (SI)*, Arus Nominal 1xIn, dengan waktu tunda *TMS* 0,5 dan ratio trafo arus disisi primer adalah 2000A dan disisi sekunder adalah 5A, maka proteksi relai akan memerintahkan PMT untuk jatuh / *trip* di waktu (s).

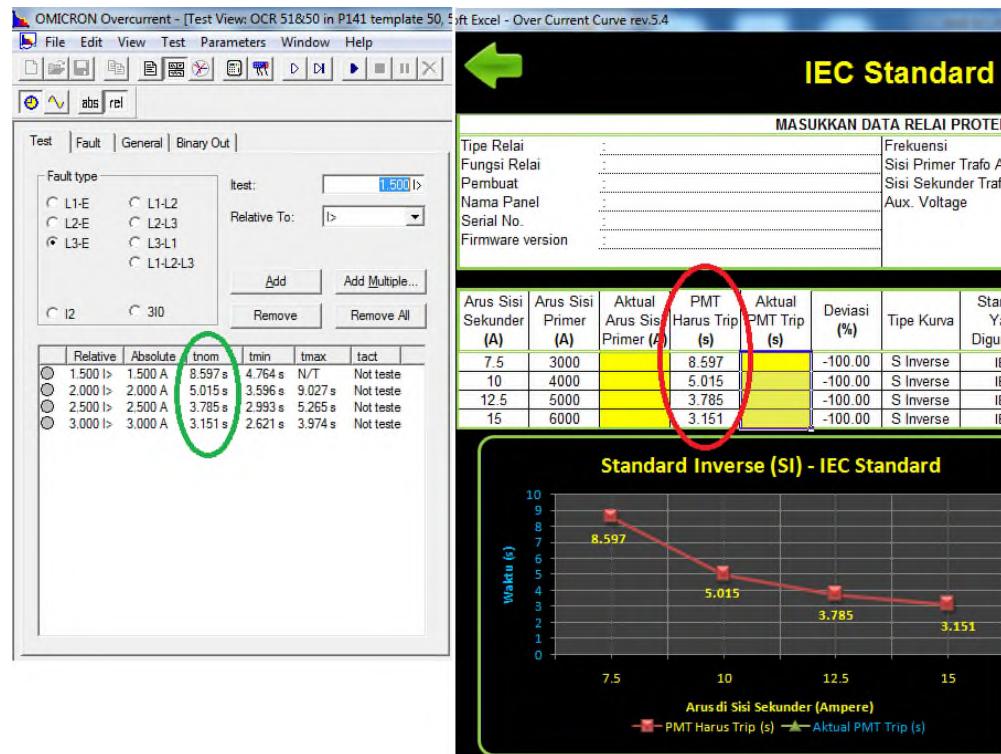
Masukkan Nilai Setting Pada Relay Protection				
Inom	TMS	CT Ratio		Is
		Primary	Sec.	
1	0,5	2000	5	5

Gambar 4.3. Aplikasi program Microsoft Excel untuk memasukkan pengaturan nilai *setting* relai proteksi kedalam program aplikasi Microsoft Excel



Gambar 4.4. Hasil kurva yang terbentuk dengan aplikasi program kurva *invers*

Jika dilihat *formulasi* data yang dihasilkan oleh *template OCC* omicron dengan aplikasi program kurva *invers* yang dibuat dengan *Methode Program Inverse* data yang diperoleh adalah sama persis, untuk memudahkan melihat perbandingan *formulasi* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.5. Perbandingan gambar *formulasi* yang dibuat oleh *template OCC* Omicron dan *formulasi* yang dibuat oleh aplikasi program kurva *invers*.

Jika dilihat komparasi keduanya, *Methode Program Inverse* lebih unggul dibandingkan dengan Omicron dikarnakan memiliki keakuratan data sama, kemudahan untuk mengoperasikannya, dan juga tidak berbayar atau terjangkau.

	Omicron	Aplikasi Program Inverse
Keakuratan Data	●	●
Kemudahan mengoprasikan	✗	●
Berbayar	●	✗
Software	✗	●
Hardware	✗	✗
Hardware and Software	●	●

Gambar 4.6. Hasil Komparasi

4.1.4. Data Hasil Simulasi Pengujian Menggunakan *Methode Program Inverse* dan Menggunakan Omicron CMC 356 di Pemutus Tenaga Feeder

4.1.4.1. Pengujian *Ground Fault Relay* (GFR)

Data Hasil Pengujian Relay

Diketahui :

Ratio Trafo disisi Primer : 800A

Ratio Trafo disisi Sekunder : 1A

Jenis Kurva *Inverse* : *Standard Inverse* (SI-IEC) dan *Definite Time*

Nilai Arus Nominal (In) : $1 \times In$

Kontanta : 0,14

α : 0.02

Nilai *Time Multiple Sett* (TMS)

: - pada pengujian diatur sebesar 0.5

Dimana “Arus Sisi Sekunder (A)” relai proteksi akan diuji arus ganguan sebanyak lima kali, dimana arus ganguan yang diujikan sebesar :

- 0.3 Ampere pada pengujian pertama.
- 0.4 Ampere pada pengujian kedua.
- 0.5 Ampere pada pengujian ketiga.
- 1 Ampere pada pengujian keempat.
- 1.2 Ampere pada pengujian kelima.

Ditanya : berapakah *Setting* waktu relai GFR:

Jawab : Rumus berdasarkan pada sub bab 2 :

$$t = T x \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_S} \right)^\alpha} + L \right)$$

a. Dengan TMS : 0.5 dan arus gangguan 0.3 A

$$t = 0,5 x \left(\frac{0,14}{\left(\frac{0,3}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 x \left(\frac{0,14}{1,00814} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 x \left(\frac{0,14}{0,00814} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 x (17,19902)$$

$$t = 8,597 \text{ second}$$

b. Dengan TMS : 0.5 dan arus gangguan 0.4 A

$$t = 0,5 x \left(\frac{0,14}{\left(\frac{0,4}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 x \left(\frac{0,14}{1,01394} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 x \left(\frac{0,14}{0,013394} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 x (10,02903)$$

$$t = 5,015 \text{ second}$$

c. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 0,5 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{0,5}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,018495} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,019495} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (7,56971)$$

$$t = 3,785 \text{ second}$$

d. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 2 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{2}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,047128} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,047128} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (2,97059)$$

$$t = 1,485 \text{ second}$$

e. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 1,2 A

Definite Time atau Arus lebih waktu tertentu akan berkerja jika arus sudah mencapai batas setting yaitu 1.2 A maka *Relay* akan memerintahkan PMT untuk putus (*trip*) dengan waktu 0.5 detik.

Ground Fault Relay
Doc. No: D-QC-R-033, Rev.B

RELAY DATA

Substation/Bay:

Substation:	Uji Coba Perhitungan Formula	Substation address:
Bay:		Bay address:

Device:

Name/description:	
Device type:	Device address:
Serial/model number:	
Additional info 1:	
Additional info 2:	

Nominal Values:

f nom:	Number of phases:
V nom (secondary):	V primary:
I nom (secondary): 1A	I primary: 800A

Test Equipment

Type	Serial Number
CMC356	CK592E

Ground Fault 1st Stage (51N)

Test Object - Overcurrent Parameters

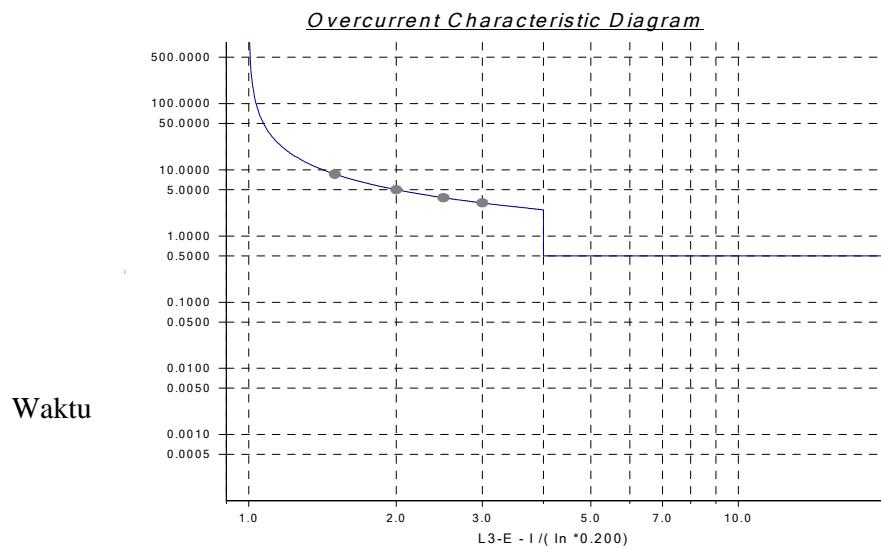
Overcurrent protection

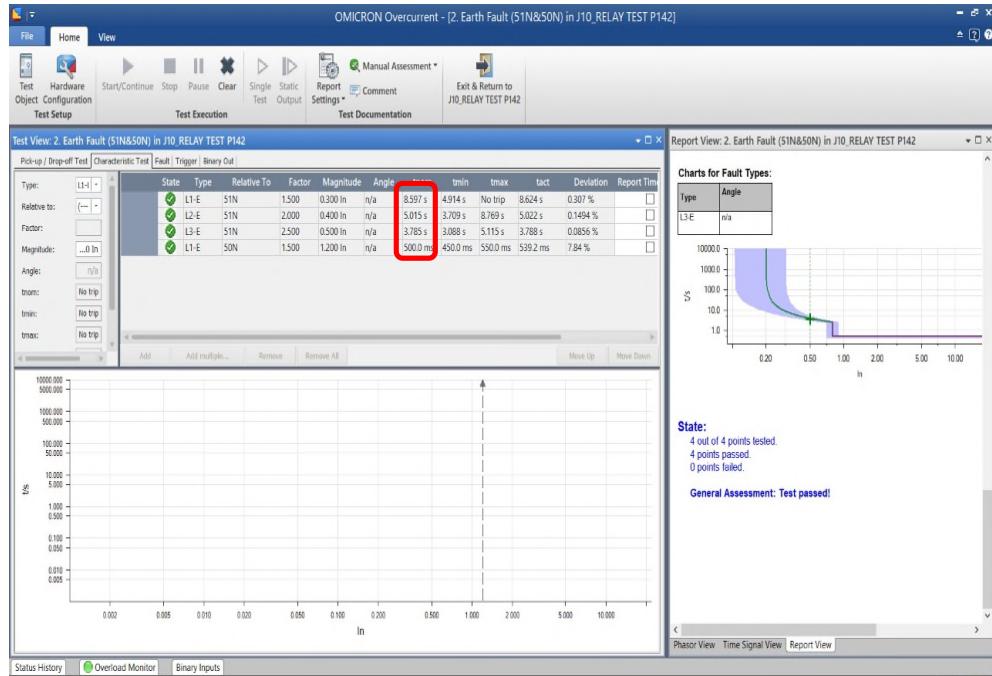
Abs. Time Tolerance:	0.100 s	Rel. Time Tolerance:	5.00 %
Abs. Current Tolerance:	0.10 In	Rel. Current Tolerance:	5.00 %
PT connection:	On Line		
CT Starpoint Connection:	Towards Line		
Directional:	No		
Reset Ratio:	0.95		
Apply Auto Reset:	No		

Threshold	Active	Pick-up Current	Time	Characteristic
I>	Yes	0.200 In (0.300 A)	0.500	IEC Normal Inverse
I>>	Yes	0.800 In (1.200 A)	0.500 s	Definite Time
I>>>	No	10.000 In (50.000 A)	0.050 s	

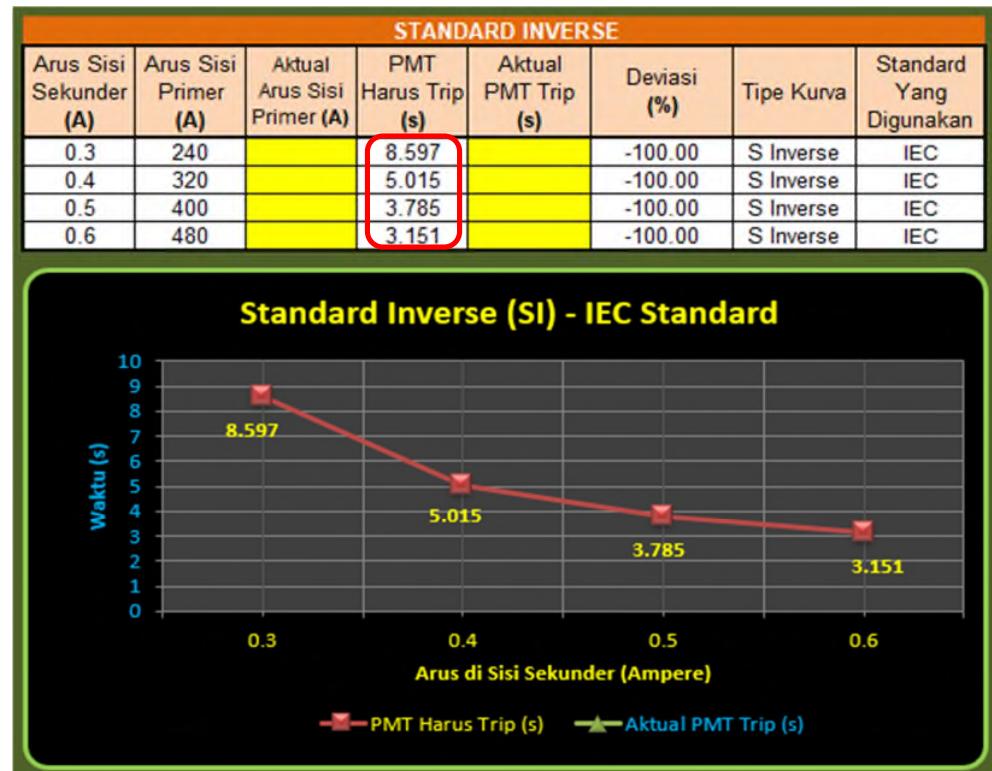
Test Results for Fault Type L3-E

Relative	I (A)	Direction	t _{nom}	t _{tact}	Deviation (%)	State	Overload	Result
1.50 I _n	0.30	n/a	8.597 s					
2.00 I _n	0.40	n/a	5.015 s					
2.50 I _n	0.50	n/a	3.785 s					
10.00 I _n	1.20	n/a	1.485 s					





Gambar 4.7. Template Pengujian *Ground Fault Outgoing*



Gambar 4.8. Data Hasil Pengujian *Ground Fault Outgoing*

Cara membacanya Data Hasil Pengujian :

- a. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.3 In, karna I nominal nya 1A maka 0.3 In sama dengan 0.3 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 240A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 8.597 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- b. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.4 In, karna I nominal nya 1A maka 0.4 In sama dengan 0.4 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 320A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 5.015 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- c. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.5 In, karna I nominal nya 1A maka 0.5 In sama dengan 0.5 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 400A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.785 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- d. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.6 In, karna I nominal nya 1A maka 0.6 In sama dengan 0.6 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 480A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.151 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- e. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* *Definite Time* sebesar 1.2 In, karna I nominalnya 1A maka 1.2 In sama dengan 1.2 A maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 960A maka PMT harus jatuh (*trip*) di kisaran waktu 0.5 detik.

4.1.4.2.Pengujian *Over Current Relay (OCR)*

Data Hasil Pengujian *Relay*

Diketahui :

Ratio Trafo disisi Primer : 800A

Ratio Trafo disisi Sekunder : 1A

Jenis Kurva *Inverse* : *Standard Inverse* (SI-IEC) dan *Definite Time*

Nilai Arus Nominal (In) : $1 \times I_n$

Kontanta : 0,14

α : 0.02

Nilai *Time Multiple Sett* (TMS)

: - pada pengujian diatur sebesar 0.5

Dimana “Arus Sisi Sekunder (A)” relai proteksi akan diuji arus ganguan sebanyak lima kali, dimana arus ganguan yang diujikan sebesar :

- a. 1.5 Ampere pada pengujian pertama.
- b. 2 Ampere pada pengujian kedua.
- c. 2.5 Ampere pada pengujian ketiga.
- d. 10 Ampere pada pengujian keempat.
- e. 6 Ampere pada pengujian kelima.

Ditanya : berapakah *Setting* waktu relai GFR:

Jawab : Rumus berdasarkan pada sub bab 2 :

$$t = T \times \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_n} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

a. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 1,5 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{1,5}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,00814 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,00814} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (17,19902)$$

$$t = 8,597 \text{ second}$$

b. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 2 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{2}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,01394 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,013394} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (10,02903)$$

$$t = 5,015 \text{ second}$$

c. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 2,5 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{2,5}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,018495 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,019495} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (7,56971)$$

$$t = 3,785 \text{ second}$$

d. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 10 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{10}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,047128 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,047128} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (2,97059)$$

$$t = 1,485 \text{ second}$$

e. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 6 A

Definite Time atau Arus lebih waktu tertentu akan berkerja jika arus sudah mencapai batas setting yaitu 6 A maka *Relay* akan memerintahkan PMT untuk putus (*trip*) dengan waktu 0.5 detik.

Over Current Relay
Doc. No: D-QC-R-033, Rev.B

RELAY DATA

Substation/Bay:

Substation:	Uji Coba Perhitungan Formula	Substation address:
Bay:		Bay address:

Device:

Name/description:	
Device type:	Device address:
Serial/model number:	
Additional info 1:	
Additional info 2:	

Nominal Values:

f nom:	Number of phases:
V nom (secondary):	V primary:
I nom (secondary): 1A	I primary: 800A

Test Equipment

Type	Serial Number
CMC356	CK592E

Phase OCR 1st (51)

Test Object - Overcurrent Parameters

Overcurrent protection

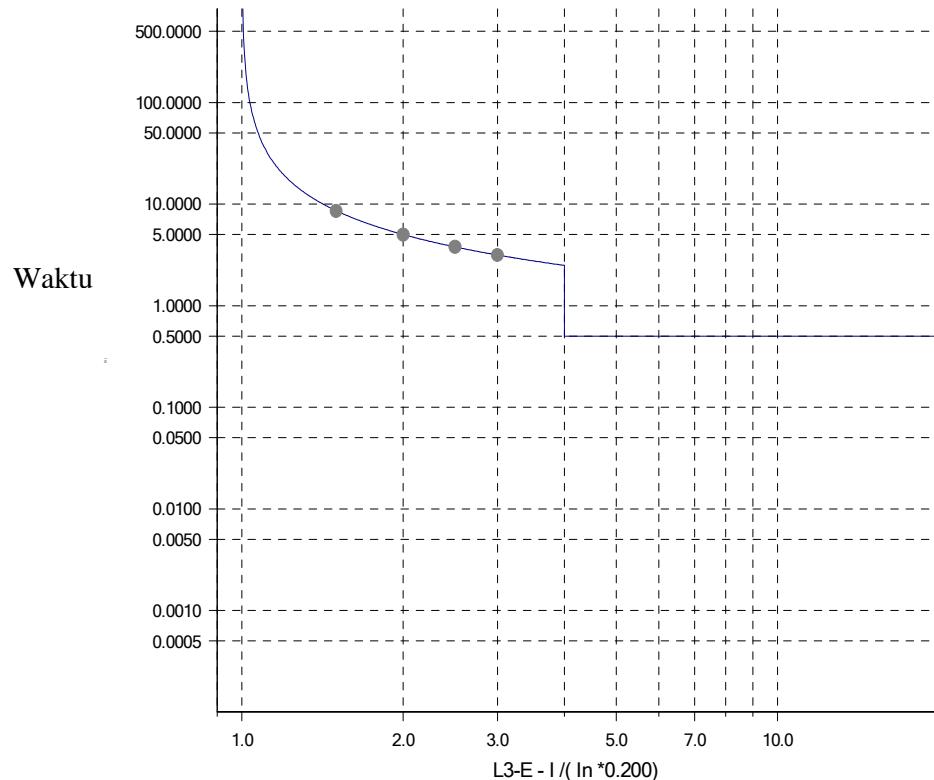
Abs. Time Tolerance:	0.100 s	Rel. Time Tolerance:	5.00 %
Abs. Current Tolerance:	0.10 In	Rel. Current Tolerance:	5.00 %
PT connection:	On Line		
CT Starpoint Connection:	Towards Line		
Directional:	No		
Reset Ratio:	0.95		
Apply Auto Reset:	No		

Threshold	Active	Pick-up Current	Time	Characteristic
I>	Yes	1.500 In (1.500 A)	0.500	IEC Normal Inverse
I>>	Yes	3.000 In (6.000 A)	0.500 s	Definite Time
I>>>	No	10.000 In (50.000 A)	0.050 s	

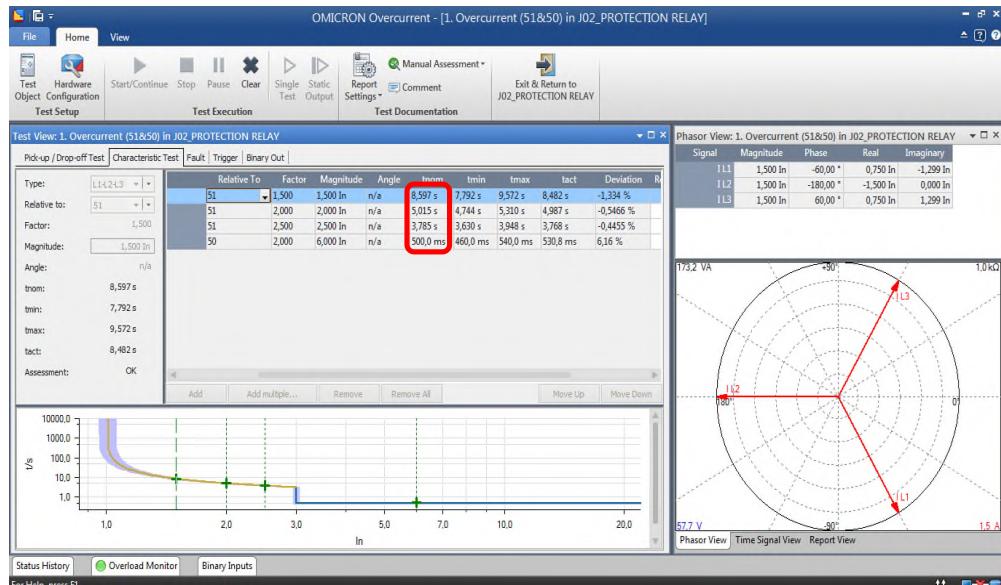
Test Results for Fault Type L1-L2-L3

Relative	I (A)	Direction	tnom	tact	Deviation (%)	State	Overload	Result
1.50 I>	1.50	n/a	8.597 s					
2.00 I>	2.00	n/a	5.015 s					
2.50 I>	2.50	n/a	3.785 s					
10.00 I>	10.00	n/a	1.485 s					

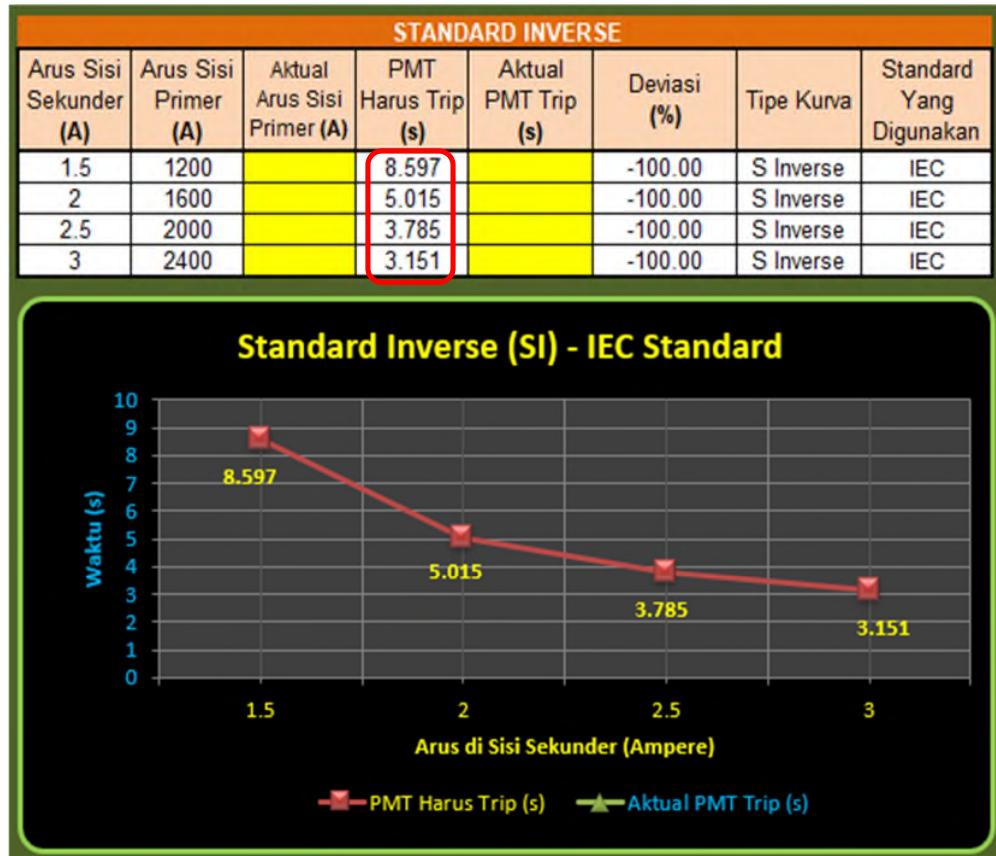
Overcurrent Characteristic Diagram



Arus di Sisi Sekunder (Amper)



Gambar 4.9. Template Pengujian Over Current Outgoing



Gambar 4.10. Data Hasil Pengujian Over Current Outgoing

Cara membacanya Data Hasil Pengujian :

- a. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 1.5 In, karna I nominal nya 1A maka 1.5 In sama dengan 1.5 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 1200 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 8.597 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- b. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 2 In, karna I nominal nya 1A maka 2 In sama dengan 2 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 1600 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 5.015 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- c. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 2.5 In, karna I nominal nya 1A maka 2.5 In sama dengan 2.5 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 2000 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.785 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- d. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 3 In, karna I nominal nya 1A maka 3 In sama dengan 3 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 2400 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.151 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- e. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* *Definite Time* sebesar 6 In, karna I nominalnya 1A maka 6 In sama dengan 6 A maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 4800 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di kisaran waktu 0.5 detik.

4.1.5. Data Hasil Simulasi Pengujian Menggunakan *Methode Program Inverse* dan Menggunakan Omicron CMC 356 di Pemutus Tenaga Incoming

4.1.5.1. Pengujian *Ground Fault Relay* (GFR)

Data Hasil Pengujian *Relay*

Diketahui :

Ratio Trafo disisi Primer : 2000A

Ratio Trafo disisi Sekunder : 1A

Jenis Kurva *Inverse* : *Standard Inverse* (SI-IEC) dan *Definite Time*

Nilai Arus Nominal (In) : $1 \times I_n$

Kontanta : 0,14

α : 0.02

Nilai *Time Multiple Sett* (TMS)

: - pada pengujian diatur sebesar 0.5

Dimana “Arus Sisi Sekunder (A)” relai proteksi akan diuji arus ganguan sebanyak lima kali, dimana arus ganguan yang diujikan sebesar :

- a. 0.3 Ampere pada pengujian pertama.
- b. 0.4 Ampere pada pengujian kedua.
- c. 0.5 Ampere pada pengujian ketiga.
- d. 1 Ampere pada pengujian keempat.
- e. 1.2 Ampere pada pengujian kelima.

Ditanya : berapakah *Setting* waktu relai GFR:

Jawab : Rumus berdasarkan pada sub bab 2 :

$$t = T \times \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_n} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

a. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 0,3 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{0,3}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,00814} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,00814} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (17,19902)$$

$$t = 8,597 \text{ second}$$

b. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 0,4 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{0,4}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,01394} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,013394} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (10,02903)$$

$$t = 5,015 \text{ second}$$

c. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 0,5 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{0,5}{0,2} \right)^{0,02}} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,018495} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,019495} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (7,56971)$$

$$t = 3,785 \text{ second}$$

d. Dengan TMS : 0.5 dan arus gangguan 2 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{2}{0,2} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,047128 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,047128} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (2,97059)$$

$$t = 1,485 \text{ second}$$

e. Dengan TMS : 0.5 dan arus gangguan 1.2 A

Definite Time atau Arus lebih waktu tertentu akan berkerja jika arus sudah mencapai batas setting yaitu 1.2 A pada sekunder atau 2400 A pada primer maka *Relay* akan memerintahkan PMT untuk putus (*trip*) dengan waktu 0.5 detik.

Ground Fault Relay
Doc. No: D-QC-R-033, Rev.B

RELAY DATA

Substation/Bay:

Substation:	Uji Coba Perhitungan Formula	Substation address:
Bay:		Bay address:

Device:

Name/description:	
Device type:	Device address:
Serial/model number:	
Additional info 1:	
Additional info 2:	

Nominal Values:

f nom:	Number of phases:
V nom (secondary):	V primary:
I nom (secondary): 1A	I primary: 2000A

Test Equipment

Type	Serial Number
CMC356	CK592E

Ground Fault 1st Stage (51N)

Test Object - Overcurrent Parameters

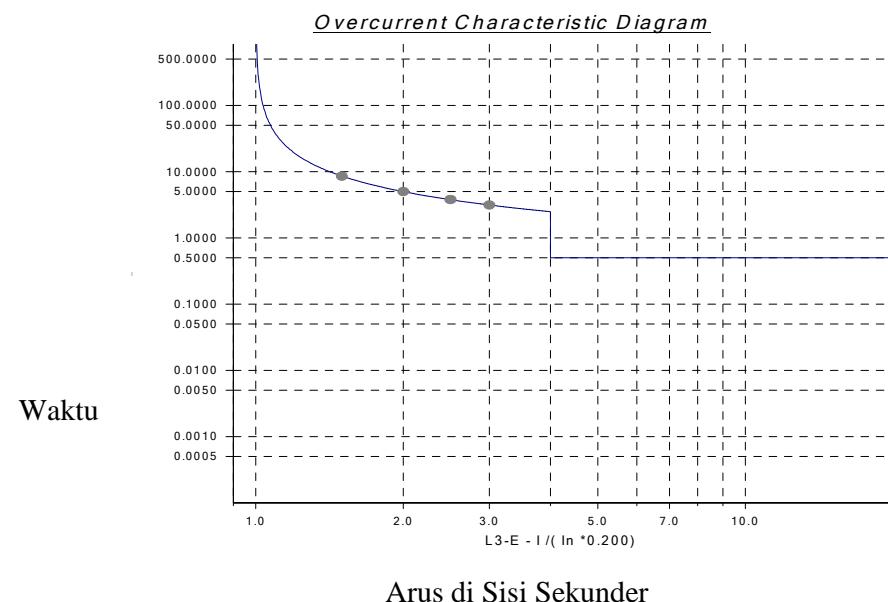
Overcurrent protection

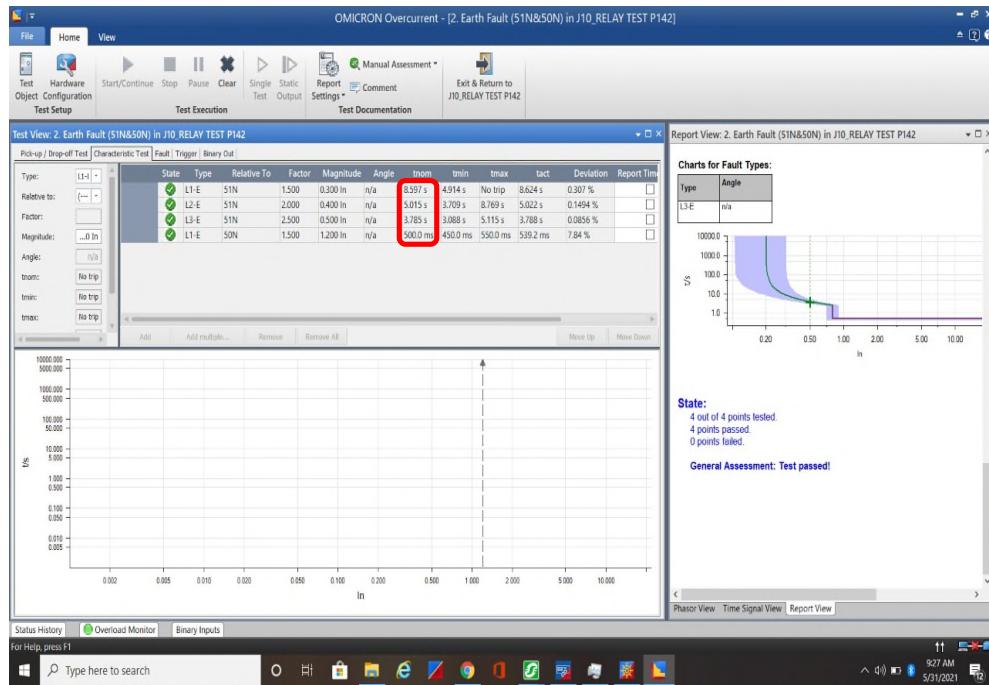
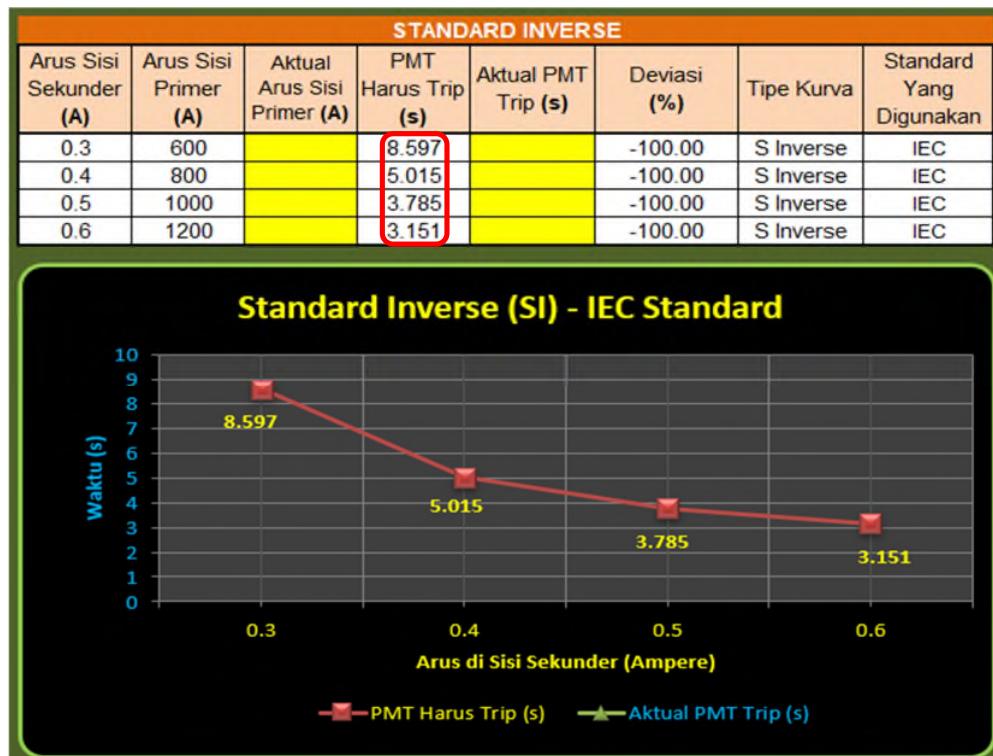
Abs. Time Tolerance:	0.100 s	Rel. Time Tolerance:	5.00 %
Abs. Current Tolerance:	0.10 In	Rel. Current Tolerance:	5.00 %
PT connection:	On Line		
CT Starpoint Connection:	Towards Line		
Directional:	No		
Reset Ratio:	0.95		
Apply Auto Reset:	No		

Threshold	Active	Pick-up Current	Time	Characteristic
I>	Yes	0.200 In (0.300 A)	0.500	IEC Normal Inverse
I>>	Yes	0.800 In (1.200 A)	0.500 s	Definite Time
I>>>	No	10.000 In (50.000 A)	0.050 s	

Test Results for Fault Type L3-E

Relative I (A)	I (A)	Direction	t _{nom}	t _{tact}	Deviation (%)	State	Overload	Result
1.50 I _n	0.30	n/a	8.597 s					
2.00 I _n	0.40	n/a	5.015 s					
2.50 I _n	0.50	n/a	3.785 s					
10.00 I _n	1.20	n/a	1.485 s					



Gambar 4.11. Template Pengujian *Ground Fault Incoming*Gambar 4.12. Data Hasil Pengujian *Ground Fault Incoming*

Cara membacanya Data Hasil Pengujian :

- a. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.3 In, karna I nominal nya 1A maka 0.3 In sama dengan 0.3 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 600A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 8.597 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- b. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.4 In, karna I nominal nya 1A maka 0.4 In sama dengan 0.4 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 800A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 5.015 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- c. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.5 In, karna I nominal nya 1A maka 0.5 In sama dengan 0.5 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 1000A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.785 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- d. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 0.6 In, karna I nominal nya 1A maka 0.6 In sama dengan 0.6 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 1200A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.151 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- e. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* *Definite Time* sebesar 1.2 In, karna I nominalnya 1A maka 1.2 In sama dengan 1.2 A maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 2400A maka PMT harus jatuh (*trip*) di kisaran waktu 0.5 detik.

4.1.5.2.Pengujian *Over Current Relay (OCR)*

Data Hasil Pengujian *Relay*

Diketahui :

Ratio Trafo disisi Primer : 2000A

Ratio Trafo disisi Sekunder : 1A

Jenis Kurva *Inverse* : *Standard Inverse* (SI-IEC) dan *Definite Time*

Nilai Arus Nominal (In) : $1 \times I_n$

Kontanta : 0,14

α : 0.02

Nilai *Time Multiple Sett* (TMS)

: - pada pengujian diatur sebesar 0.5

Dimana “Arus Sisi Sekunder (A)” relai proteksi akan diuji arus ganguan sebanyak lima kali, dimana arus ganguan yang diujikan sebesar :

- a. 1.5 Ampere pada pengujian pertama.
- b. 2 Ampere pada pengujian kedua.
- c. 2.5 Ampere pada pengujian ketiga.
- d. 10 Ampere pada pengujian keempat.
- e. 6 Ampere pada pengujian kelima.

Ditanya : berapakah *Setting* waktu relai GFR:

Jawab : Rumus berdasarkan pada sub bab 2 :

$$t = T \times \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_n} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

a. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 1,5 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{1,5}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,00814 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,00814} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (17,19902)$$

$$t = 8,597 \text{ second}$$

b. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 2 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{2}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,01394 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,013394} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (10,02903)$$

$$t = 5,015 \text{ second}$$

c. Dengan TMS : 0,5 dan arus gangguan 2,5 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{2,5}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,018495 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,019495} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (7,56971)$$

$$t = 3,785 \text{ second}$$

d. Dengan TMS : 0.5 dan arus gangguan 10 A

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{10}{1} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{1,047128 - 1} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times \left(\frac{0,14}{0,047128} + 0 \right)$$

$$t = 0,5 \times (2,97059)$$

$$t = 1,485 \text{ second}$$

e. Dengan TMS : 0.5 dan arus gangguan 6 A

Definite Time atau Arus lebih waktu tertentu akan berkerja jika arus sudah mencapai batas setting yaitu 6 A pada sekunder atau 12000 A pada primer maka *Relay* akan memerintahkan PMT untuk putus (*trip*) dengan waktu 0.5 detik.

Over Current Relay
Doc. No: D-QC-R-033, Rev.B

RELAY DATA

Substation/Bay:

Substation:	Uji Coba Perhitungan Formula	Substation address:
Bay:		Bay address:

Device:

Name/description:	
Device type:	Device address:
Serial/model number:	
Additional info 1:	
Additional info 2:	

Nominal Values:

f nom:	Number of phases:
V nom (secondary):	V primary:
I nom (secondary): 1A	I primary: 2000A

Test Equipment

Type	Serial Number
CMC356	CK592E

Phase OCR 1st (51)

Test Object - Overcurrent Parameters

Overcurrent protection

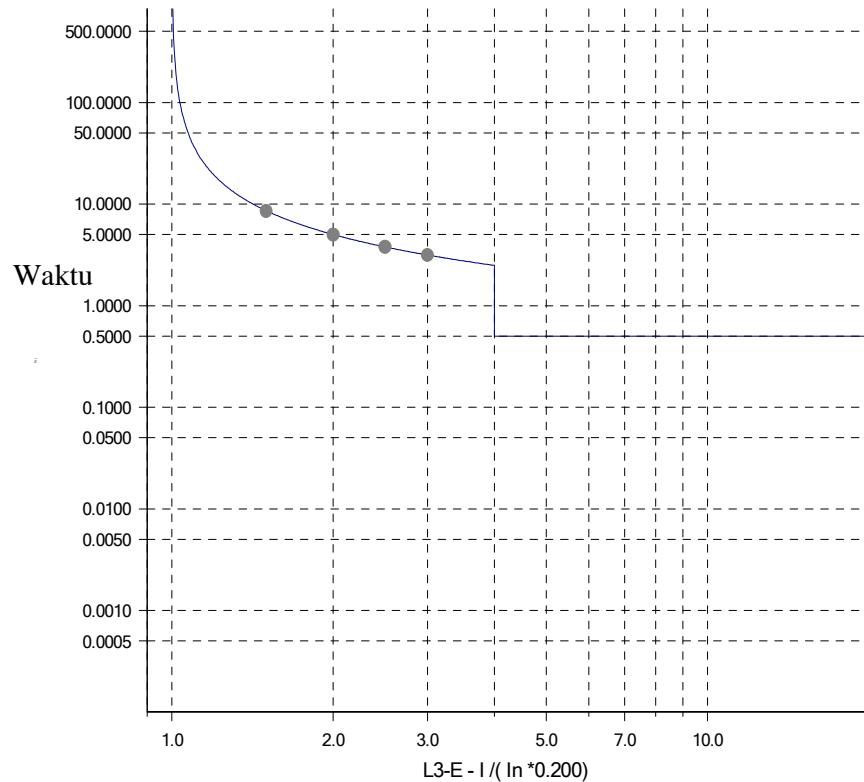
Abs. Time Tolerance:	0.100 s	Rel. Time Tolerance:	5.00 %
Abs. Current Tolerance:	0.10 In	Rel. Current Tolerance:	5.00 %
PT connection:	On Line		
CT Starpoint Connection:	Towards Line		
Directional:	No		
Reset Ratio:	0.95		
Apply Auto Reset:	No		

Threshold	Active	Pick-up Current	Time	Characteristic
I>	Yes	1.500 In (1.500 A)	0.500	IEC Normal Inverse
I>>	Yes	3.000 In (6.000 A)	0.500 s	Definite Time
I>>>	No	10.000 In (50.000 A)	0.050 s	

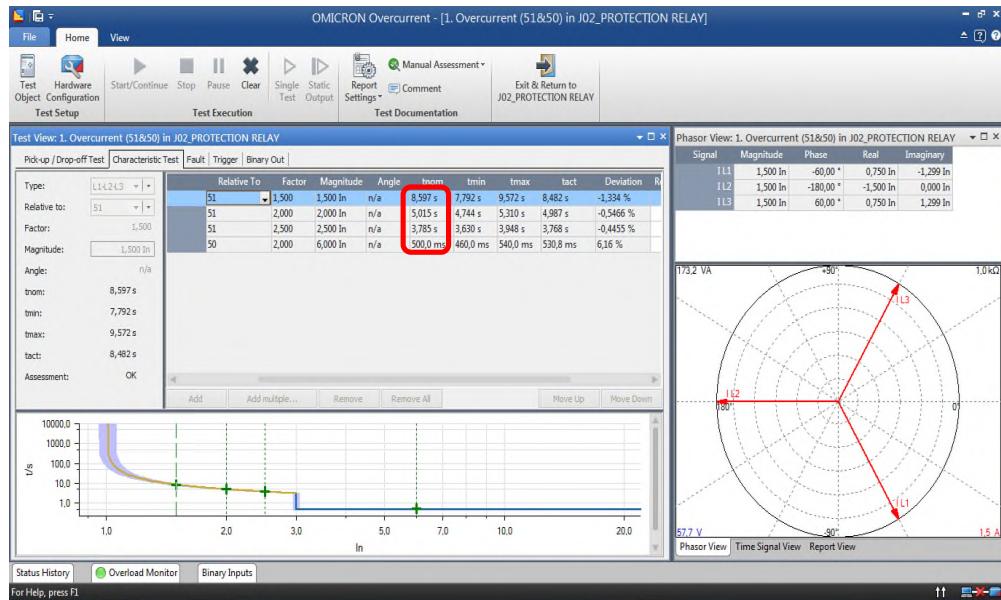
Test Results for Fault Type L1-L2-L3

Relative	I (A)	Direction	tnom	tact	Deviation (%)	State	Overload	Result
1.50 I>	1.50	n/a	8.597 s					
2.00 I>	2.00	n/a	5.015 s					
2.50 I>	2.50	n/a	3.785 s					
10.00 I>	10.00	n/a	1.485 s					

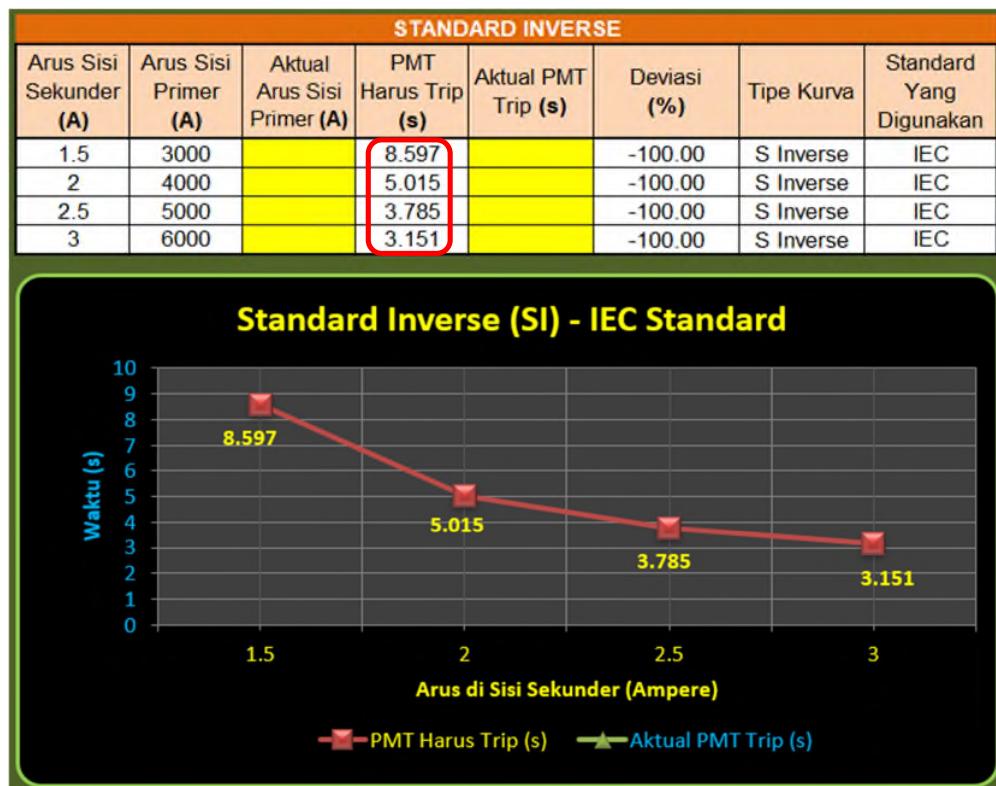
Overcurrent Characteristic Diagram



Arus di Sisi Sekunder (Amper)



Gambar 4.13. Template Pengujian Over Current Incoming



Gambar 4.14. Data Hasil Pengujian Over Current Incoming

Cara membacanya Data Hasil Pengujian :

- a. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 1.5 In, karna I nominal nya 1A maka 1.5 In sama dengan 1.5 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 3000 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 8.597 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- b. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 2 In, karna I nominal nya 1A maka 2 In sama dengan 2 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 4000 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 5.015 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- c. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 2.5 In, karna I nominal nya 1A maka 2.5 In sama dengan 2.5 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 5000 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.785 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- d. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* kurva *standart inverse* sebesar 3 In, karna I nominal nya 1A maka 3In sama dengan 3 A, maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 6000 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di waktu 3.151 detik dengan *settingan* TMS sebesar 0.5 detik.
- e. Jika terjadi gangguan arus pada sisi sekunder dengan *settingan* *Definite Time* sebesar 6 In, karna I nominalnya 1A maka 6 In sama dengan 6 A maka pada sisi primer fasa ke netral trafo terbaca arus sebesar 12000 A maka PMT harus jatuh (*trip*) di kisaran waktu 0.5 detik.

4.2. Analisa Hasil Pengujian.

Analisa hasil pengujian untuk relai pemutus tenaga *Outgoing* dan *Incoming* berkaitan dengan *over current*.

4.2.1. Analisa Pengujian Relai Pemutus Tenaga *Outgoing*

Analisa hasil pengujian relai pemutus tenaga *Outgoing* untuk *ground fault relay* dan *over current relay*.

4.2.1.1. Analisa Pengujian *Ground Fault Relay*

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian *Ground Fault Outgoing* Dengan Pengaturan TMS 0.5 s

Arus Inject (Ampere) dan Jenis Kurva	PMT Harus Jatuh pada Waktu (s)	Arus Sisi Primer
0.3 A (150%) SI	8,597 s	240 A
0.4 A (200%) SI	5,015 s	320 A
0.5 A (250%) SI	3,785 s	400 A
0.6 A (300%) SI	3,151 s	480 A
2 A (1000%) SI	1,485 s	1600 A
1.2 A (600%) DT	0.500 s	960A

Analisa pengujian *Ground Fault Relay* menghasilkan bahwa untuk arus gangguan minimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 0.3 A atau $1.5 \times I$ *setting* karena I *setting* 0.2 A jadi untuk arus gangguan minimumnya sebesar 0.3 A dapat menjatuhkan (*trip*) pemutus tenaga (PMT) dengan waktu 8.597 detik. Juga untuk arus gangguan maksimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 2 A atau $10 \times I$ *setting* karena I *setting* 0.2 A jadi untuk arus gangguan maximumnya sebesar 2 A pemutus tenaga (PMT) jatuh (*trip*) lebih cepat dengan waktu 1,485 detik. Adapun penambahan proteksi *Definite Time* dengan besar arus 1.2 A atau $6 \times I$ *setting* dan TMS 0.5 detik dengan asumsi pemutus tenaga mendapatkan gangguan secara instan dengan besaran gangguan sebesar 1.2 A maka pemutus tenaga akan langsung jatuh (*trip*) di waktu 0.5 detik.

4.2.1.2. Analisa Pengujian *Over Current Relay*

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian *Over Current Outgoing* Dengan Pengaturan

TMS 0.5 s

Arus Inject (Ampere) dan Jenis Kurva	PMT Harus Jatuh pada Waktu (s)	Arus Sisi Primer
1.5 A (150%) SI	8,597 s	1200 A
2 A (200%) SI	5,015 s	1600 A
2.5 A (250%) SI	3,785 s	2000 A
3 A (300%) SI	3,151 s	2400 A
10 A (1000%) SI	1,485 s	8000 A
6 A (600%) DT	0.500 s	4800 A

Analisa pengujian *Over Current Relay* menghasilkan bahwa untuk arus gangguan minimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 1.5 A atau $1.5 \times I_{setting}$ karna $I_{setting} = 1$ A jadi untuk arus gangguan minimumnya sebesar 1.5 A dapat menjatuhkan (*trip*) pemutus tenaga (PMT) dengan waktu 8.597 detik. Juga untuk arus gangguan maksimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 10 A atau $10 \times I_{setting}$ karna $I_{setting} = 1$ A jadi untuk arus gangguan maximumnya sebesar 10 A pemutus tenaga (PMT) jatuh (*trip*) lebih cepat dengan waktu 1,485 detik. Adapun penambahan proteksi *Definite Time* dengan besar arus 6 A atau $6 \times I_{setting}$ dan TMS 0.5 detik dengan asumsi pemutus tenaga mendapatkan gangguan secara instan dengan besaran gangguan sebesar 1.2 A maka pemutus tenaga akan langsung jatuh (*trip*) di waktu 0.5 detik.

4.2.2. Analisa Pengujian Relai Pemutus Tenaga *Incoming*

Analisa hasil pengujian relai pemutus tenaga *Incoming* untuk *ground fault relay* dan *over current relay*.

4.2.2.1. Analisa Pengujian *Ground Fault Relay*

Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian *Ground Fault Incoming* Dengan Pengaturan TMS 0.5 s

Arus Inject (Ampere) dan Jenis Kurva	PMT Harus Jatuh pada Waktu (s)	Arus Sisi Primer
0.3 A (150%) SI	8,597 s	600 A
0.4 A (200%) SI	5,015 s	800 A
0.5 A (250%) SI	3,785 s	1000 A
0.6 A (300%) SI	3,151 s	1200 A
2 A (1000%) SI	1,485 s	4000 A
1.2 A (600%) DT	0.500 s	2400 A

Analisa pengujian *Ground Fault Relay* menghasilkan bahwa untuk arus gangguan minimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 0.3 A atau $1.5 \times I_{setting}$ karna $I_{setting} = 0.2$ A jadi untuk arus gangguan minimumnya sebesar 0.3 A dapat menjatuhkan (*trip*) pemutus tenaga (PMT) dengan waktu 8.597 detik. Juga untuk arus gangguan maksimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 2 A atau $10 \times I_{setting}$ karna $I_{setting} = 0.2$ A jadi untuk arus gangguan maximumnya sebesar 2 A pemutus tenaga (PMT) jatuh (*trip*) lebih cepat dengan waktu 1,485 detik. Adapun penambahan proteksi *Definite Time* dengan besar arus 1.2 A atau $6 \times I_{setting}$ dan TMS 0.5 detik dengan asumsi pemutus tenaga mendapatkan gangguan secara instan dengan besaran gangguan sebesar 1.2 A maka pemutus tenaga akan langsung jatuh (*trip*) di waktu 0.5 detik.

4.2.2.2. Analisa Pengujian *Over Current Relay*

Tabel 4.4. Data Hasil Pengujian *Over Current Incoming* Dengan Pengaturan TMS 0.5 s

Arus Inject (Ampere) dan Jenis Kurva	PMT Harus Jatuh pada Waktu (s)	Arus Sisi Primer
1.5 A (150%) SI	8,597 s	3000 A
2 A (200%) SI	5,015 s	4000 A
2.5 A (250%) SI	3,785 s	5000A
3 A (300%) SI	3,151 s	6000 A
10 A (1000%) SI	1,485 s	20000 A
6 A (600%) DT	0.500 s	12000 A

Analisa pengujian *Over Current Relay* menghasilkan bahwa untuk arus gangguan minimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 1.5 A atau $1.5 \times I$ *setting* karna I *setting* 1 A jadi untuk arus gangguan minimumnya sebesar 1.5 A dapat menjatuhkan (*trip*) pemutus tenaga (PMT) dengan waktu 8.597 detik. Juga untuk arus gangguan maksimum dengan *setting standart inverse* dan TMS 0.5 detik yaitu sebesar 10 A atau $10 \times I$ *setting* karna I *setting* 1 A jadi untuk arus gangguan maximumnya sebesar 10 A pemutus tenaga (PMT) jatuh (*trip*) lebih cepat dengan waktu 1,485 detik. Adapun penambahan proteksi *Definite Time* dengan besar arus 6 A atau $6 \times I$ *setting* dan TMS 0.5 detik dengan asumsi pemutus tenaga mendapatkan gangguan secara instan dengan besaran gangguan sebesar 1.2 A maka pemutus tenaga akan langsung jatuh (*trip*) di waktu 0.5 detik.

4.2.3. Pembahasan Koordinasi Proteksi antara Pemutus Tenaga *Incoming* dan Pemutus Tenaga *Outgoing*

Pembahasan koordinasi proteksi antara pemutus tenaga *Incoming* dan *Outgoing* berkaitan dengan koordinasi diantara keduanya.

4.2.3.1. Pembahasan Koordinasi *Ground Fault Relay* Pemutus Tenaga *Incoming* dan *Outgoing*

Tabel 4.5. Data Hasil Pengujian *Ground Fault Incoming* dan *Outgoing* Dengan Pengaturan TMS 0.5 s

Arus Inject (Ampere) dan Jenis Kurva	PMT Harus Jatuh pada Waktu (s)	Arus Sisi Primer <i>Incoming</i>	Arus Sisi Primer <i>Outgoing</i>
0.3 A (150%) SI	8,597 s	600 A	240 A
0.4 A (200%) SI	5,015 s	800 A	320 A
0.5 A (250%) SI	3,785 s	1000 A	400 A
0.6 A (300%) SI	3,151 s	1200 A	480 A
2 A (1000%) SI	1,485 s	4000 A	1600 A
1.2 A (600%) DT	0.500 s	2400 A	960 A

Dengan data tersebut, maka selisih waktu antara pemutus tenaga *Incoming* dan pemutus tenaga *Outgoing* dapat dihitung dengan cara perkalian silang.

- Jika 240 A pada *Outgoing* waktunya 8,597 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 600 A?

$$ts = \frac{240 \text{ A}}{600 \text{ A}} \times \frac{8,597 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{240 \text{ A} \times 8,597 \text{ s}}{600 \text{ A}}$$

$$x = 3,4388 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 8,597 \text{ detik} - 3,4388 \text{ detik}$$

$$ts = 5,1582 \text{ detik}$$

- b. Jika 320 A pada *Outgoing* waktunya $5,015 \text{ s}$ maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 800 A ?

$$ts = \frac{320 \text{ A}}{800 \text{ A}} \times \frac{5,015 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{320 \text{ A} \times 5,015 \text{ s}}{800 \text{ A}}$$

$$x = 2,006 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 5,015 \text{ detik} - 2,006 \text{ detik}$$

$$ts = 3,009 \text{ detik}$$

- c. Jika 400 A pada *Outgoing* waktunya $3,785 \text{ s}$ maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 1000 A ?

$$ts = \frac{400 \text{ A}}{1000 \text{ A}} \times \frac{3,785 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{400 \text{ A} \times 3,785 \text{ s}}{1000 \text{ A}}$$

$$x = 1,514 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 3,785 \text{ detik} - 1,514 \text{ detik} = 2,271 \text{ detik}$$

- d. Jika 480 A pada *Outgoing* waktunya 3,151 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 1200 A?

$$ts = \frac{480 \text{ A}}{1200 \text{ A}} x \frac{3,151 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{480 \text{ A} \times 3,151 \text{ s}}{1200 \text{ A}}$$

$$x = 1,2604 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 3,151 \text{ detik} - 1,2604 \text{ detik}$$

$$ts = 1,8906 \text{ detik}$$

- e. Jika 1600 A pada *Outgoing* waktunya 1,485 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 4000 A?

$$ts = \frac{1600 \text{ A}}{4000 \text{ A}} x \frac{1,485 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{1600 \text{ A} \times 1,485 \text{ s}}{4000 \text{ A}}$$

$$x = 0,594 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 1,485 \text{ detik} - 0,594 \text{ detik}$$

$$ts = 0,891 \text{ detik}$$

- f. Jika 960 A pada *Outgoing* waktunya 0,5 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 2400 A?

$$ts = \frac{960 \text{ A}}{2400 \text{ A}} \times \frac{0,5 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{960 \text{ A} \times 0,5 \text{ s}}{2400 \text{ A}}$$

$$x = 0,2 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 0,5 \text{ detik} - 0,2 \text{ detik}$$

$$ts = 0,3 \text{ detik}$$

Tabel 4.6. Data Hasil Perhitungan Selisih Waktu antara *Incoming* dan *Outgoing*

Besar Arus Gangguan	Waktu untuk Jatuh PMT <i>Outgoing</i>	Waktu untuk Jatuh PMT <i>Incoming</i>	Selisih Waktu Keduanya
600 A	3,4388 s	8,597 s	5,1582 s
800 A	2,006 s	5,015 s	3,009 s
1000 A	1,514 s	3,785 s	2,271 s
1200 A	1,2604 s	3,151 s	1,8906 s
4000 A	0,594 s	1,485 s	0,891 s
2400 A	0,200 s	0,500 s	0,300 s

Dengan hasil selisih tersebut maka antara pemutus tenaga *Incoming* dan pemutus tenaga *Outgoing* tidak akan *trip* bersamaan artinya koordinasi relai diantara keduanya untuk proteksi *Ground Fault Relay* berjalan dengan baik.

Dari data diatas, program aplikasi berbasis *Methode Program Inverse* bekerja sesuai dengan perhitungan, sehingga dapat dipergunakan untuk melakukan sebuah

simulasi pada pengaturan relai proteksi yang menggunakan standard invers pada pengaturan relai proteksinya.

Selain itu dengan program aplikasi ini dapat diketahui pula kapan sebuah PMT akan jatuh / *trip* sebelum ganguan arus lebih itu terjadi, sehingga seseorang yang menggunakan kurva invers dalam pengaturan relai proteksi didalamnya dapat terbantuan.

4.2.3.2. Pembahasan Koordinasi *Over Current Relay* Pemutus Tenaga *Incoming* dan *Outgoing*

Tabel 4.7. Data Hasil Pengujian *Over Current Incoming* dan *Outgoing*

Dengan Pengaturan TMS 0.5 s

Arus Inject (Ampere) dan Jenis Kurva	PMT Harus Jatuh pada Waktu (s)	Arus Sisi Primer <i>Incoming</i>	Arus Sisi Primer <i>Outgoing</i>
1.5 A (150%) SI	8,597 s	3000 A	1200 A
2 A (200%) SI	5,015 s	4000 A	1600 A
2.5 A (250%) SI	3,785 s	5000A	2000 A
3 A (300%) SI	3,151 s	6000 A	2400 A
10 A (1000%) SI	1,485 s	20000 A	8000 A
6 A (600%) DT	0.500 s	12000 A	4800 A

Dengan data tersebut, maka selisih waktu antara pemutus tenaga *Incoming* dan pemutus tenaga *Outgoing* dapat dihitung dengan cara perkalian silang.

- Jika 1200 A pada *Outgoing* waktunya 8,597 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 3000 A?

$$ts = \frac{1200 \text{ A}}{3000 \text{ A}} \times \frac{8,597 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{1200 \text{ A} \times 8,597 \text{ s}}{3000 \text{ A}}$$

$$x = 3,4388 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 8,597 \text{ detik} - 3,4388 \text{ detik}$$

$$ts = 5,1582 \text{ detik}$$

- b. Jika 1600 A pada *Outgoing* waktunya 5,015 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 4000 A?

$$ts = \frac{1600 \text{ A}}{4000 \text{ A}} \times \frac{5,015 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{1600 \text{ A} \times 5,015 \text{ s}}{4000 \text{ A}}$$

$$x = 2,006 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 5,015 \text{ detik} - 2,006 \text{ detik}$$

$$ts = 3,009 \text{ detik}$$

- c. Jika 2000 A pada *Outgoing* waktunya 3,785 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 5000 A?

$$ts = \frac{2000 \text{ A}}{5000 \text{ A}} \times \frac{3,785 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{2000 \text{ A} \times 3,785 \text{ s}}{5000 \text{ A}}$$

$$x = 1,514 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 3,785 \text{ detik} - 1,514 \text{ detik}$$

$$ts = 2,271 \text{ detik}$$

- d. Jika 2400 A pada *Outgoing* waktunya 3,151 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 6000 A?

$$ts = \frac{2400 \text{ A}}{6000 \text{ A}} \times \frac{3,151 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{2400 \text{ A} \times 3,151 \text{ s}}{6000 \text{ A}}$$

$$x = 1,2604 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 3,151 \text{ detik} - 1,2604 \text{ detik}$$

$$ts = 1,8906 \text{ detik}$$

- e. Jika 8000 A pada *Outgoing* waktunya 1,485 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 20000 A?

$$ts = \frac{8000 \text{ A}}{20000 \text{ A}} \times \frac{1,485 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{8000 \text{ A} \times 1,485 \text{ s}}{20000 \text{ A}}$$

$$x = 0,594 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 1,485 \text{ detik} - 0,594 \text{ detik}$$

$$ts = 0,891 \text{ detik}$$

- f. Jika 4800 A pada *Outgoing* waktunya 0,5 s maka berapa waktu yang dibutuhkan *Outgoing* jika besarnya arus gangguan sebesar *Incoming* yaitu 12000 A?

$$ts = \frac{4800 \text{ A}}{12000 \text{ A}} \times \frac{0,5 \text{ s}}{x}$$

$$x = \frac{4800 \text{ A} \times 0,5 \text{ s}}{12000 \text{ A}}$$

$$x = 1,25 \text{ detik}$$

Data diatas menunjukkan waktu yang dibutuhkan *Outgoing* dengan besar gangguan yang sama dengan *Incoming*. Maka selisih waktu antara *Outgoing* dan *Incoming* yaitu:

$$ts = t2 - t1$$

$$ts = 0,5 \text{ detik} - 0,2 \text{ detik}$$

$$ts = 0,3 \text{ detik}$$

Tabel 4.8. Data Hasil Perhitungan Selisih Waktu antara *Incoming* dan *Outgoing*

Besar Arus Gangguan	Waktu untuk Jatuh PMT <i>Outgoing</i>	Waktu untuk Jatuh PMT <i>Incoming</i>	Selisih Waktu Keduanya
3000 A	3,4388 s	8,597 s	5,1582 s
4000 A	2,006 s	5,015 s	3,009 s
5000A	1,514 s	3,785 s	2,271 s
6000 A	1,2604 s	3,151 s	1,8906 s
20000 A	0,594 s	1,485 s	0,891 s
12000 A	0,200 s	0,500 s	0,300 s

Dengan hasil selisih tersebut maka antara pemutus tenaga *Incoming* dan pemutus tenaga *Outgoing* tidak akan *trip* bersamaan artinya koordinasi relai diantara keduanya untuk proteksi *Over Current Relay* berjalan dengan baik.

Dari data diatas, program aplikasi berbasis *Methode Program Inverse* bekerja sesuai dengan perhitungan, sehingga dapat dipergunakan untuk melakukan sebuah simulasi pada pengaturan relai proteksi yang menggunakan standard invers pada pengaturan relai proteksinya.

Selain itu dengan program aplikasi ini dapat diketahui pula kapan sebuah PMT akan jatuh / *trip* sebelum ganguan arus lebih itu terjadi, sehingga seseorang yang menggunakan kurva invers dalam pengaturan relai proteksi didalamnya dapat terbantuan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan ada 4 hal yang mempengaruhi kurva *invers* pada sebuah relai proteksi yang digunakan untuk pengaman Pemutus Tenaga (PMT), diantaranya yaitu :

1. Karakteristik kurva *Invers*, waktu jatuh PMT akan sesuai dengan besar arus yang mengalir, jika arus gangguan kecil maka waktu jatuh PMT akan lama, sebaliknya jika arus gangguan besar maka waktu jatuh PMT akan semakin cepat.
2. Semakin kecil pengaturan untuk *Time Multiple Sett* (TMS) pada relai proteksi maka akan semakin cepat PMT untuk jatuh / *trip*, sebaliknya jika semakin lama pengaturan TMS pada relai proteksi maka akan semakin lama pula PMT untuk jatuh / *trip*.
3. Semakin kecil pengaturan *Inom* (In) pada relai proteksi maka akan semakin kecil pula arus yang diperbolehkan mengalir untuk menjatuhkan PMT, sebaliknya jika semakin besar pengaturan *Inom* (In) pada relai proteksi maka akan semakin besar pula arus yang diperbolehkan mengalir pada panel *feeder* tersebut. Aplikasi program invers dengan *Methode Program Inverse* dibuat sedemikian rupa, khusunya pada *operating System Windows* dan hasil yang diberikan bisa dijadikan acuan untuk *design* pengujian sistem proteksi untuk mengetahui koordinasi pada sistem proteksi tersebut.

5.2 Saran

1. Kepada Fakultas Teknik Elektro dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta untuk menambah perbendaharaan dan perangkat yang menunjang mata kuliah Proteksi Sistem Tenaga, mata kuliah Proteksi Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga dan mata kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik, karena selama ini teori sistem proteksi saja yang mendominasi.
2. Untuk dibuatkan *laboratorium*, khusus digunakan untuk riset dan penelitian Mahasiswa dan Dosen dalam program studi sistem relai proteksi.
3. Untuk diadakan studi atau kunjungan industri rutin setiap semester untuk Mahasiswa ke instansi swasta yang diselenggarakan oleh pihak Fakultas Teknik Elektro dan Ilmu Komputer.
4. Belajar sistem proteksi tidaklah mudah dan murah, setelah melakukan pengamatan riset dan uji coba hampir semua komponen yang menyangkut sistem proteksi itu mahal dan kisaran harganya diatas ratusan juta rupiah, sebut saja alat sekunder injektor arus dan tegangan seperti Omicron CMC 356 seharga tidak kurang dari 700juta rupiah, selain itu harga relai proteksi seperti MiCOM seharga diatas 1000 US\$ atau sekitar 100 juta rupiah, oleh karena itu atas keterbatasan subsidi dan dana riset serta pengembangan *laboratorium* dari instansi pendidikan, kiranya untuk lebih melakukan peningkatan kerjasama antara pihak kampus dengan industri, dengan tujuan meskipun lembaga instansi pendidikan tidak mempunyai alat dan bahan yang mahal seperti itu.

Ilmu dalam bidang proteksi sangatlah luas dan spesifik, Universitas Global Jakarta ada baiknya mencetak mahasiswa yang dapat diandalkan di

dunia industri yaitu dengan cara menambah perbendaharaan perangkat yang menunjang mata pelajaran proteksi ini selain menunjang bahan ajar dosen ke mahasiswa, setidaknya aplikasi kerja diindustri kelak sudah dapat dipahami lebih jauh dilembaga pendidikan sehingga saat sudah diindustri hanya tinggal menambahkan prakteknya saja, selain itu kesempatan berkarya di Industri juga terbuka lebar.

DAFTAR PUSTAKA

- Arka, Mudiana, Abasana.** (2016). Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20kV dengan *Over Current Relay* (OCR) dan *Grounding Fault Relay* (GFR). (Bali: Politeknik Negri Bali).
- Aslimeri.** (2008). Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1,2,3. (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan).
- A S Pabla.** (1994). Sistem Distribusi Daya Listrik, (Jakarta: Erlangga).
- Daryanto dan Koko Budi.** (1999). Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. (Bandung: Angkasa).
- Erwin Dermawan.** (2017). Analisa Koordinasi *Over Current Relay* Dan *Ground Fault Relay* Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka. (Jakarta: Elektum).
- Gill, A.S.** (1982). *Electrical Equipment Testing and Maintenance*, (Virginia: Reston Publishing Company).
- Indra Safitri.** (2020). Analisa Koordinasi Setting Proteksi *Over Current Relay* (OCR) *Outgoing* 20 kV dan Recloser pada Trafo II 60 MVA Feeder RBG 01 di Gardu Induk 150 kV Rembang.
- Intan NurmalaSari.** (2016). Analisa Pemilihan Relai Proteksi Pada Panel Listrik Untuk Studi Kasus Tegangan Menengah 20kV. (Jakarta: Universitas Marsekal Suryadarma).
- Ir. Wahyudi Sarimun N. MT.** (2004). Penyetelan *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* Mempergunakan Program Sederhana Ms-Microsoft Excel. (Jakarta: STT-YPLN).
- I Wayan Sukadana.** (2021). Koordinasi Proteksi Arus Lebih Penyulang Tembuku terhadap Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) ULP Bangli. (Bali: Universitas Pendidikan Nasional Denpasar).
- Izzy Fekrat.** (2022) Analisa Arus Hubung Singkat Untuk *Over Current Relay* Pada Jaringan Distribusi 20 kV di Gardu Induk Kambang. (Sumatra Barat: Institut Teknologi Padang).

- Oktaviawan Danar Wibowo.** (2017). Analisa Proteksi *Over Current Relay* Pada Gardu Induk Konsumen Tegangan Tinggi. (Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Rezky Fajrian.** (2015). Analisa Koordinasi Proteksi *Overcurrent Relay* Pada Jaringan Distribusi SUTM 20 kV dengan menggunakan *Software* ETAP. (Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta).
- Suhadi.** (2008). Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan).
- Yusfrizal.** (2022). Pengolahan Data Nilai Siswa Menggunakan *Methode Program Inverse*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Penunjukan Dosen



Nomor : 029/B7/ST/III/JGU/2024
Lampiran : 1 lembar
Perihal : Surat Tugas Dosen Pembimbing
Proposal Tesis dan Tesis
Semester Genap TA. 2023/2024

Depok, 04 Maret 2024

Kepada Yth.
Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng
Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., MT
Adhes Gamayel, Ph.D
Sinka Wilyanti, ST., MT
Ariep Jaenul, S.Pd., MSc.Eng
Brainvendra Widi Dionova, S.ST., MSc.Eng
Untung Supriadi, S.Kom., M.Pd
Dosen Tetap Magister Teknik Elektro
di Depok

Dengan Hormat,

Sesuai Standar Nasional Pendidikan di Universitas Global Jakarta (JGU) bahwa setiap mahasiswa diwajibkan membuat Proposal Tesis dan Tesis yang merupakan salah satu persyaratan Ujian Magister Strata Dua, dengan ini kami menunjuk saudara sebagai Dosen Pembimbing Proposal Tesis dan Tesis dari :

No	NPM / No Matrik	Dosen Pembimbing	Nama Mahasiswa	Peminatan	Smt	Keterangan
1	210121801004 / 092021090157	1. Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., MT 2. Ariep Jaenul, S.Pd., MSc.Eng	ALI FIKRI	Teknik Komputer	6	Proposal Tesis dan Tesis
2	200121801004 / 092020030092	1. Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., MT 2. Ariep Jaenul, S.Pd., MSc.Eng	ICHSANI NURUL ISLAM	Teknik Komputer	6	Tesis
3	210121801008 / 09202109015	1. Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., MT 2. Sinka Wilyanti, ST., MT	SANDY THIAS ANDREATNO	Teknik Komputer	6	Proposal Tesis dan Tesis
4	092022090233 / 092022090233	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Adhes Gamayel, Ph.D	ABDUL FAKIH	Energi Listrik	4	Tesis
5	092022090284 / 092022090284	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Adhes Gamayel, Ph.D	ABI NURHIDAYAT	Energi Listrik	4	Tesis
6	092022090248 / 092022090248	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Brainvendra W. Dionova, S.ST., MSc.Eng	ALIEFATIN AGUSTINA	Energi Listrik	4	Tesis
7	092022090216 / 092022090216	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Adhes Gamayel, Ph.D	ASEP SUPRIADI	Energi Listrik	4	Tesis

Jakarta Global University (JGU)

Grand Depok City, Jl. Boulevard Raya No. 2, Kota Depok, 16412, Jawa Barat, Indonesia

www.jgu.ac.id

Telp. (021) 8461 155 / +62 878 8000 1472

8	092022090175 / 092022090175	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Sinka Wilyanti, ST., MT	EDICARNEDI	Energi Listrik	4	Tesis
9	092022090268 / 092022090268	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Sinka Wilyanti, ST., MT	MAHMUD ARYANTO	Energi Listrik	4	Tesis
10	092022090106 / 092022090106	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Brainvendra W. Dionova, S.ST., MSc Eng	SUHARTO	Energi Listrik	4	Tesis
11	092022090114 / 092022090114	1. Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., MT 2. Sinka Wilyanti, ST., MT	TANDI PANGGESANG	Teknik Komputer	4	Tesis
12	092022090283 / 092022090283	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Adhes Gamayel, Ph.D	VICKY BALQIS FAHRUZAM-ZAM	Energi Listrik	4	Tesis
13	092023020014 / 092023020014	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Sinka Wilyanti, ST., MT	INDRA FEBRIAN	Energi Listrik	3	Proposal Tesis
14	092023020010 / 092023020010	1. Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng 2. Sinka Wilyanti, ST., MT	RACHMAT HIDAYAT	Energi Listrik	3	Proposal Tesis
15	092023090493 / 092023090493	1. Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., MT 2. Untung Suprihadji, S.Kom., M.Pd	ERMA DEARNI WATI	Teknik Komputer	2	Proposal Tesis

Bimbingan Tesis meliputi penyusunan naskah Tesis, metodologi, dan pemantapan teori yang nantinya akan diuji pada sidang proposal Tesis dan ujian sidang Tesis. Demikian Surat Penugasan ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Depok, 04 Maret 2024

Mengetahui,
Wakil Rektor I Bidang Akademik

Ketua Prodi Magister Teknik Elektro




Adhes Gamayel, Ph.D.
NIK. S092012120005



Sinka Wilyanti, S.T., M.T.
NIK. S092012120066

Jakarta Global University (JGU)
Grand Depok City, Jl. Boulevard Raya No. 2, Kota Depok, 16412, Jawa Barat, Indonesia

www.jgu.ac.id

Telp. (021) 8461 155 / +62 878 8000 1472

Lampiran 2. Form Monitoring Revisi Tesis

FMJGU/L.064																	
 JGU Jakarta Global University																	
Form I – Lembar Monitoring Revisi Sidang Thesis	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020																
LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG THESIS																	
<p>Nama Mahasiswa : Vicky Balqis Fahruzam-zam NIM : 092022090283 Judul : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih Menggunakan Microsoft Excel pada Gardu Distribusi 20kV Dosen Penguji 1 : Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si, M.T.</p>																	
<table border="1"><thead><tr><th>No.</th><th>Uraian Revisi</th><th>Revisi/Jawaban Penulis</th><th>Paraf</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>Methodology yang diusulkan harus di perjelas</td><td>Untuk ini saya sudah merevisi, refer to naskah tesis Bab 3</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>Study literatur perlu di tambahkan terkait state-of-the-art penelitian</td><td>penambahan sudah dilakukan daftar pustaka halaman 90 dan juga Bab 2, sub Bab 2.2.8</td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		No.	Uraian Revisi	Revisi/Jawaban Penulis	Paraf	1	Methodology yang diusulkan harus di perjelas	Untuk ini saya sudah merevisi, refer to naskah tesis Bab 3		2	Study literatur perlu di tambahkan terkait state-of-the-art penelitian	penambahan sudah dilakukan daftar pustaka halaman 90 dan juga Bab 2, sub Bab 2.2.8		3			
No.	Uraian Revisi	Revisi/Jawaban Penulis	Paraf														
1	Methodology yang diusulkan harus di perjelas	Untuk ini saya sudah merevisi, refer to naskah tesis Bab 3															
2	Study literatur perlu di tambahkan terkait state-of-the-art penelitian	penambahan sudah dilakukan daftar pustaka halaman 90 dan juga Bab 2, sub Bab 2.2.8															
3																	
<p>Depok, 15 Agustus 2024 Mengetahui, Ketua Prodi Magister Teknik Elektro</p>																	
<p>(Sinka Wilyanti, ST., MT) NIK. S092012120066</p>																	
<p>JAKARTA GLOBAL UNIVERSITY (JGU) Grand Depok City, Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Kota Depok.</p>																	
www.jgu.ac.id	Telp. (021) 8461 155 / +62 878 8000 1472																

Form I – Lembar Monitoring Revisi Sidang Thesis	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG THESIS

Nama Mahasiswa : Vicky Balqis Fahruzam-zam
 NIM : 092022090283
 Judul : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih
 Menggunakan Microsoft Excel pada Gardu Distribusi 20kV
 Dosen Pengaji 2 : Dr.Ir. Sidik Mulyono, M.Eng

No.	Uraian Revisi	Revisi/Jawaban Penulis	Paraf
1	Belum ada landasan ilmia, harus dibuat studi literatur yang terkait dengan penelitian	Berdasarkan hasil pencarian saya untuk landasan teori berkaitan ini, ditemukan bahwa sudah ada penelitian sebelumnya berkaitan dengan overcurrent, yang membedakan Penelitian yang saya lakukan dengan yang sebelumnya adalah, di penelitian saya terdapat koordinasi antara incoming dan outgoing. Jawaban ini dapat di temukan di naskah Thesis Bab 2, sub bab 2.2.8 halaman 30	
2	Perbandingan hasil antara omicron dan excel harus <i>apple to apple</i>	Untuk ini sudah saya perbaiki Pak berdasarkan sidang thesis yang sudah dilaksanakan, refer ke naskah thesis bab 4, sub bab 4.1.4	

Depok, 15 Agustus 2024
 Mengetahui,
 Ketua Prodi Magister Teknik Elektro

(Sinka Wilyanti, ST., MT)

JAKARTA GLOBAL UNIVERSITY (JGU)
 Grand Depok City, Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Kota Depok.

www.jgu.ac.id

Telp. (021) 8461 155 / +62 878 8000 1472

Form I – Lembar Monitoring Revisi Sidang Thesis	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG THESIS

Nama Mahasiswa : Vicky Balqis Fahruzam-zam
 NIM : 092022090283
 Judul : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih
 Menggunakan Microsoft Excel pada Gardu Distribusi 20kV
 Dosen Pengudi 3 : Mauludi Manfaluthy, S.T., M.T

No.	Uraian Revisi	Revisi/Jawaban Penulis	Paraf
1	Apa perbedaan penelitian saudara dengan penelitian sebelumnya?	Berdasarkan hasil pencarian saya untuk landasan teori berkaitan ini, ditemukan bahwa sudah ada penelitian sebelumnya berkaitan dengan overcurrent, yang membedakan Penelitian yang saya lakukan dengan yang sebelumnya adalah, di penelitian saya terdapat koordinasi antara incoming dan outgoing. Jawaban ini dapat di temukan di naskah Thesis Bab 2, sub bab 2.2.8 halaman 30	
2	Perbandingan simulasi anda dengan hitungan biasa atau simulasi non excel	Untuk revisi ini refer ke naskah tesis Bab 4, sub bab 4.1.4 halaman 46	
3	Tambahkan perbandingan hasil/fungsi dari excel yang anda buat	Untuk revisi ini refer ke naskah tesis Bab 4, sub bab 4.1.4 halaman 51	
4	Tambahkan referensi jurnal pengujian relay proteksi menggunakan ETAP/MATLAB	Untuk ini refer ke daftar pustaka di halaman 90 Pak	

Depok, 15 Agustus 2024
 Mengetahui,
 Ketua Prodi Magister Teknik Elektro

(Sinka Wilyanti, ST., MT)

NIK. S092012120066

JAKARTA GLOBAL UNIVERSITY (JGU)
 Grand Depok City, Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Kota Depok.

www.jgu.ac.id

Telp. (021) 8461 155 / +62 878 8000 1472

Lampiran 3. Form Bimbingan Tesis

FM/JGU/L.053	 JGU Jakarta Global University		
Form B – Lembar Konsultasi Tesis	Revisi ke: 2 Tanggal revisi ke-1: 13 Agustus 2020 Tanggal revisi ke-2: 22 Desember 2022		
LEMBAR KONSULTASI TESIS			
<p>Nama Mahasiswa : Vicky Balqis Fahrizam-zam NIM : 092022090283 Judul : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih Menggunakan Microsoft Excel pada Gardu Distribusi 20kV Dosen Pembimbing I : Dr. Yanuar Zulardiansyah Arief, Ceng</p>			
No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	24/05/2024	Bimbingan Tesis Online	
2	01/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
3	08/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
4	15/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
5	22/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
6	09/07/2024	Bimbingan Tesis Online	
7			
8			

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, _____ 2024
Mengetahui,
Ketua Prodi Magister Teknik Elektro


(Sinka Wilyanti, ST., MT)

JAKARTA GLOBAL UNIVERSITY (JGU)
Grand Donkor City 71 Bsdimandiri Desa Bsdimandiri, Tangerang Selatan, Banten 15314
NIK. S092012120066

Form B – Lembar Konsultasi Tesis	Revisi ke: 2
	Tanggal revisi ke-1: 13 Agustus 2020
	Tanggal revisi ke-2: 22 Desember 2022

LEMBAR KONSULTASI TESIS

Nama Mahasiswa : Vicky Balqis Fahruzam-zam
 NIM : 092022090263
 Judul : Desain Pengujian Relai Proteksi Arus Lebih
 Menggunakan Microsoft Excel pada Gardu Distribusi
 20kV

Dosen Pembimbing II : Adhes Gamayol, Ph.D

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	12/05/2024	Bimbingan Tesis Online	
2	02/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
3	03/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
4	04/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
5	05/06/2024	Bimbingan Tesis Online	
6	08/07/2024	Bimbingan Tesis Offline	
7			
8			

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, _____ 2024

Mengetahui,
 Ketua Prodi Magister Teknik Elektro



(Sinka Wilyanti, ST., MT)

NIK. S092012120066

JAKARTA GLOBAL UNIVERSITY (JGU)

Grand Depok City, Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Kota Depok.

www.jgul.ac.id

Telp. (021) 8461 155 / 162 878.8600222222