TUGAS AKHIR – EE 184801

PENENTUAN NILAI *TIME DIAL SETTING* & PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC* PADA PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* DENGAN *NUMERICAL COMPUTATION METHOD* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA *REFINERY UNIT* V BALIKPAPAN

Finola Pirade
NRP 07111640000025

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – EE 184801

PENENTUAN NILAI *TIME DIAL SETTING* & PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC* PADA PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* DENGAN *NUMERICAL COMPUTATION METHOD* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA *REFINERY UNIT* V BALIKPAPAN

Finola Pirade
NRP 07111640000025

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – EE 184801

DETERMINATION OF TIME DIAL SETTING CALCULATION & TIME-CURRENT CHARACTERISTIC CURVE SELECTION FOR INVERSE OVERCURRENT RELAY PROTECTION USING NUMERICAL COMPUTATION METHOD IN PT PERTAMINA REFINERY UNIT V BALIKPAPAN SYSTEM

Finola Pirade
NRP 07111640000025

Supervisor(s)
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Inteligence Electrical and Informatic Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Penentuan Nilai *Time Dial Setting* & Pemilihan kurva *Time-Current Characteristic* pada Proteksi Rele Arus Lebih *Inverse* Dengan *Numerical Computation Method* pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina *Refinery Unit* V Balikpapan**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2020

Finola Pirade
NRP. 0711 16 4000 0025

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENENTUAN NILAI *TIME DIAL SETTING* & PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC* PADA PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* DENGAN *NUMERICAL COMPUTATION METHOD* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA *REFINERY UNIT* V BALIKPAPAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian
Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
NIP. 196603181990101001

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENENTUAN NILAI *TIME DIAL SETTING &* PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC* PADA PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* DENGAN *NUMERICAL COMPUTATION METHOD* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA *REFINERY UNIT* V BALIKPAPAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian
Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T
NIP. 197411292000121001

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENENTUAN NILAI *TIME DIAL SETTING* & PEMILIHAN KURVA *TIME-CURRENT CHARACTERISTIC* PADA PROTEKSI RELE ARUS LEBIH *INVERSE* DENGAN *NUMERICAL COMPUTATION METHOD* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA *REFINERY UNIT* V BALIKPAPAN

Nama mahasiswa	: Finola Pirade
NRP	: 07111640000025
Dosen Pembimbing I	: Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dosen Pembimbing II	: Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ABSTRAK

PT Pertamina RU V Balikpapan merupakan perusahaan yang bergerak di bidang minyak dan gas. dengan pekerjaan vital tersebut, perlu adanya perhatian lebih lanjut terhadap koordinasi proteksi sistem kelistrikannya. Sedangkan pada koordinasi rele arus lebihnya sendiri, PT Pertamina RU V Balikpapan membutuhkan peningkatan *setting* rele dalam segi waktu dan kemudahan. Metode *Numerical Computation* diajukan sebagai topik tugas akhir ini guna membantu *setting* sistem koordinasi proteksi,terlebih pada penentuan nilai Time Dial *Setting* (TDS) dan Pemilihan jenis kurva *Time-Current Characteristic* (TCC) di PT Pertamina RU V Balikpapan. Dengan diadakannya penelitian ini, diharapkan pada *setting* rele arus lebih nanti akan lebih mudah dalam mencari nilai *setting* sehingga dapat menghindari kerusakan-kerusakan pada peralatan listrik.

Kata kunci: *(Time Dial Setting, TCC Curve, Rele Arus Lebih Inverse, Numerical Computation.)*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETERMINATION OF TIME DIAL SETTING CALCULATION & TIME-CURRENT CHARACTERISTIC CURVE SELECTION FOR INVERSE OVERCURRENT RELAY PROTECTION USING NUMERICAL COMPUTATIONMETHOD IN PT PERTAMINA REFINERY UNIT V BALIKPAPAN SYSTEM

Name	: Finola Pirade
NRP	: 07111640000025
Supervisor I	: Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Supervisor II	: Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

ABSTRACT

PT Pertamina RU V Balikpapan is a company engaged in the oil and gas sector. Due to this vital work, further attention is needed to coordinate the protection of the electrical system. The coordination of overcurrent relay itself, PT Pertamina RU V Balikpapan requires an increase in relay settings in terms of time and ease. The Numerical Computation method is proposed as the topic of this final project to help re-setting the protection coordination system, especially in determining the value of the Time Dial Setting (TDS) and the selection of Time-Current Characteristic (TCC) curve types at PT Pertamina RU V Balikpapan. With the holding of this research, it is expected that in the setting of overcurrent relays it will be easier to find setting values so it can to minimize the damage caused by interference and faults that occur in the system.

Keywords**:** *(Time Dial Setting, TCC Curve, Rele Arus Lebih Inverse, Numerical Computation.)*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan kasih-Nya mampu menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul "**Penentuan Nilai *Time Dial Setting* & Pemilihan kurva *Time-Current Characteristic* pada Proteksi Rele Arus Lebih *Inverse* Dengan *Numerical Computation Method* pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina *Refinery Unit* V Balikpapan"**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan berkat dan karunia-Nya yang begitu besar
2. Daniel Pirade dan Afrida Somba selaku orang tua penulis yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan dan semangat yang berlimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT selaku dosen pembimbing 2 yang membimbing dan memberikan arahan serta masukan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan lingkungan yang mendukung untuk menuntut ilmu.
5. Angkatan e56 yang telah berjuang bersama selama penulis berada di dunia perkuliahan.
6. Teman – teman Yoman Yolo Konco dan grup minus yang telah menemani dan memberikan dukungan kepada penulis selama menuntut ilmu di Surabaya.
7. Teman-teman HIMATEKTRO dan Kabinet DINAKARA yang telah memberikan 1 tahun penuh pengalaman yang sangat berharga bagi penulis selama berkuliah di Teknik Elektro ITS
8. Rafin Aqsa Izza Mahendra , Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad dan G.A Indrasaputra selaku mentor penulis yang banyak membantu dan bertukar ilmu kepada penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

9. Pihak – pihak yang belum disebutkan yang telah membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini

Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya tidak luput dari kesalahan, Oleh karena itu penulis berharap adanya kritik dan saran untuk memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini di masa yang akan datang. Besar harapan penulis bahwa tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2020

Penulis,
Finola Pirade
07111640000025

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **v**
DAFTAR ISI ..... **vii**
DAFTAR GAMBAR ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 1
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Metodologi 2
1.6 Sistematika Penulisan 3
1.7 Relevansi 4
BAB 2* SISTEM PROTEKSI DAN *NUMERICAL COMPUTATION ALGORITHM **5**
2.1 Gangguan Pada Sistem Kelistrikan 5
2.1.1 Jenis-Jenis Hubung Singkat 5
2.2 Tipe Rele dan Faktor Pemilihan Rele 8
2.3 Rele Arus Lebih *Inverse* 8
2.4 Skema Koordinasi Proteksi 10
2.5 *Coordination Time Interval* 11
2.6 *Numerical Computation* 11
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITMA *NUMERICAL COMPUTATION* **13**
3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan 13
3.2 Data Pembangkitan dan Pembebanan PT Pertamina RU V Balikpapan 14
3.3 Data Transformator Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan 15
3.4 Perancangan Otomatisasi Koordinasi Kerja Rele 17
3.5 Perancangan *Numerical Computation* 18
3.6 Algoritma *Numerical Computation* 20
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PERHITUNGAN *NUMERICAL COMPUTATION* **25**

4.1 Penentuan Tipikal Skema Proteksi Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan.....25
4.1.1 Tipikal 1 (Saluran Terpanjang Menuju *Outgoing Ring*) 25
4.1.2 Tipikal 2 (Beban Terbesar Menuju *Outgoing Ring*) 26
4.1.3 Tipikal 3 (Saluran dari Beban Menuju Generator) 27
4.2 Data Proteksi Eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan 29
4.2.1 Data Proteksi Eksisting Tipikal 1 29
4.2.2 Data Proteksi Eksisting Tipikal 2 37
4.2.3 Data Proteksi Eksisting Tipikal 3 42
4.3 Perhitungan TDS dengan Algoritma *Numerical Computation*.....46
4.3.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 dengan *Numerical Computation*.....47
4.3.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 dengan *Numerical Computation*.....57
4.3.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 dengan *Numerical Computation*.....63
4.4 Analisa Hasil Perhitungan *Numerical Computation* dengan Kondisi Eksisting.....67
BAB 5 PENUTUP.....71
5.1 Kesimpulan 71
5.2 Saran.....72
DAFTAR PUSTAKA.....73
BIOGRAFI PENULIS 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemodelan gangguan hubung singkat 3 fasa 6
Gambar 2.2 Pemodelan gangguan hubung singkat antar fasa..... 7
Gambar 2.3 Pemodelan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.... 7
Gambar 2.4 Skema Koordinasi Proteksi 10
Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan 13
Gambar 3.2 Single Line Diagram Koordinasi Rele Gangguan Bus 1 17
Gambar 3.3 Single Line Diagram Koordinasi Rele Gangguan Bus 2 18
Gambar 3.4 *Flowchart* Algoritma *Numerical Computation* 23
Gambar 4.1 Skema Koordinasi Tipikal 1 26
Gambar 4.2 Skema Koordinasi Tipikal 2 27
Gambar 4.3 Skema Koordinasi Tipikal 3 28
Gambar 4.4 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus T61D-P..... 32
Gambar 4.5 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus SS61MB 33
Gambar 4.6 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus SS61MB 34
Gambar 4.7 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 2AL-B (Bus D) 35
Gambar 4.8 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 2 36
Gambar 4.9 Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 25 39
Gambar 4.10 Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 2HT 40
Gambar 4.11 Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 104 41
Gambar 4.12 Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa pada Bus7 44
Gambar 4.13 Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa pada Bus 1AL-B (Bus B)..... 45
Gambar 4.14 Tampilan Input Data Tipikal 1 Numerical Computation..... 49
Gambar 4.15 Setting Rele 1 Tipikal 1 49
Gambar 4.16 *Setting* Rele 2 Tipikal 1 50
Gambar 4.17 Kurva Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 1 50

Gambar 4.18 *Setting* rele 3 Tipikal 1 51
Gambar 4.19 Kurva Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 1 51
Gambar 4.20 *Setting* Rele 4 Tipikal 1 52
Gambar 4.21 Kurva Koordinasi Rele 3 dan 4 Tipikal 1 52
Gambar 4.22 *Setting* Rele 5 Tipikal 1 53
Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Rele 4 dan 5 Tipikal 1 53
Gambar 4.24 Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 1.....54
Gambar 4.25 Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 1.....55
Gambar 4.26 Koordinasi Rele 2, 3 dan 4 Tipikal 1.....56
Gambar 4.27 Koordinasi Rele 4 dan 5 Tipikal 1.....57
Gambar 4.28 Tampilan Input Data Tipikal 2 *Numerical Computation*.....59
Gambar 4.29 *Setting* Rele 1 Tipikal 2 59
Gambar 4.30 *Setting* Rele 2 Tipikal 2 60
Gambar 4.31 Kurva Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 2 60
Gambar 4.32 *Setting* Rele 3 Tipikal 2 61
Gambar 4.33 Kurva Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 2 61
Gambar 4.34 Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 2.....62
Gambar 4.35 Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 2.....63
Gambar 4.36 Tampilan Input Data Tipikal 3 *Numerical Computation*.....65
Gambar 4.37 *Setting* Rele 1 Tipikal 3 65
Gambar 4.38 *Setting* Rele 2 Tipikal 2 *Numerical Computation*.....66
Gambar 4.39 Kurva Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 3 66
Gambar 4.40 Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 3.....67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien kurva rele *inverse* MICOM 10
Tabel 2.2 Waktu CTI rele 11
Tabel 3.1 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT Pertamina RU V Balikpapan 14
Tabel 3.2 Pembebaban pada *Bus* Utama PT Pertamina RU V Balikpapan 14
Tabel 3.3 Data Transformator Tiga Belitan di PT Pertamina RU V Balikpapan 15
Tabel 3.4 Data Transformator Dua Belitan di PT Pertamina RU V Balikpapan 15
Tabel 3.5 Data Transformator Dua Belitan di PT Pertamina RU V Balikpapan (lanjutan) 16
Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat 0,5 *cycle* Tipikal 1 31
Tabel 4.2 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus TF61-P 36
Tabel 4.3 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus SS61MB 37
Tabel 4.4 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus SS61MB 37
Tabel 4.5 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus 2AL-B 37
Tabel 4.6 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus 2 37
Tabel 4.7 Data Arus Hubung Singkat 0,5 *cycle* Tipikal 2 39
Tabel 4.8 Data Waktu Operasi Tipikal 2 pada Bus 25 41
Tabel 4.9 Data Waktu Operasi Tipikal 2 pada Bus 2HT 42
Tabel 4.10 Data Waktu Operasi Tipikal 2 pada Bus 104 42
Tabel 4.11 Data Arus Hubung Singkat 0,5 *cycle* tipikal 3 43
Tabel 4.12 Data Waktu Operasi Tipikal 3 pada Bus T64E-P 45
Tabel 4.13 Data Waktu Operasi Tipikal 3 pada Bus 1AL-B (Bus B) ... 46
Tabel 4.14 Input Data Tipikal 1 49
Tabel 4.15 Input Data Tipikal 2 59
Tabel 4.16 Input Data Tipikal 3 64
Tabel 4.17 Perbandingan Waktu Operasi Tipikal 1 68
Tabel 4.18 Perbandingan Waktu Operasi Tipikal 2 69
Tabel 4.19 Perbandingan Waktu Operasi Tipikal 3 70

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem kelistrikan di perindustrian, kontinuitas tenaga listrik dituntut untuk selalu bekerja secara optimal dalam proses produksinya. Sistem proteksi kelistrikan pada suatu perindustrian merupakan sesuatu yang sangat penting,karena dari sistem proteksi tersebut diharapkan mampu untuk mengisolir gangguan yang ada sehingga tidak merusak peralatan-peralatan lain dan dapat mencegah terjadinya *blackout*.

Salah satu komponen utama pada sistem proteksi adalah rele. Rele yang akan dibahas pada tugas akhir kali ini adalah rele arus lebih, yang berfungsi untuk mengamankan gangguan berupa beban berlebih *(overload)* ataupun hubung singkat [1], sehingga ketika ada gangguan, rele arus lebih inilah yang akan mengirimkan sinyal operasi kepada *Circuit Breaker* untuk membuka *Circuit Breaker*. Pada komponen rele arus lebih, ada beberapa nilai yang harus kita atur sedemikian rupa sehingga mampu mengamankan sistem ketika terjadi gangguan.

Proteksi pada sistem kelistrikan *existing* PT Pertamina RU V Balikpapan saat ini masih memiliki kekurangan, diantaranya adalah pengaturan *setting* rele yang masih belum sesuai dengan aktual rele karena adanya perbedaan manufaktur rele yang digunakan sehingga tidak *semua time delay* pada *setting* rele yang kita buat bisa di samakan. Koordinasi proteksi di PT Pertamina RU V Balikpapan juga masih belum banyak yang menguasai sehingga kesalahan *setting* koordinasi proteksi masih sangat rawan untuk terjadi (*trial and error)*.

Pada tugas akhir ini, penulis menggunakan metode *Numerical Computation* yang dimaksudkan untuk mempermudah pengerjaan *setting* rele arus lebih inverse pada suatu sistem kelistrikan radial serta mengurangi perbedaan nilai *setting* antara aktual dengan yang di *setting* ,yang nantinya diharapkan dapat membantu *engineer* untuk melakukan *setting* rele arus lebih seperti penentuan nilai *Time Dial Setting* dan penentuan jenis kurva *Time-Current Characteristic*.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang di bahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan parameter koordinasi proteksi dengan proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan.

2. Menentukan algortima yang tepat dengan metode *Numerical Computation* untuk penghitungan *Time Dial Setting (*TDS) dan pemilihan *Time-Current Characteristic Curve* (TCC) pada rele arus lebih *inverse*

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisis sistem proteksi kelistrikan yang ada pada PT Pertamina RU V Balikpapan.
2. Membuat algoritma berbasis *Numerical Computation* untuk mempermudah penentuan nilai *setting* TDS dan penentuan kurva TCC pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Pengaturan hanya dilakukan pada rele arus lebih dengan tipikal yang telah ditentukan
2. Pengaturan hanya dilakukan pada kurva arus lebih *inverse* (Rele 51)
3. Gangguan yang digunakan adalah $I_{sc3Ø}$ 0,5 *cycle* dan gangguan hanya di simulasikan pada bus.
4. Kurva *motor starting* dan *damage curve transformator* tidak diperhitungkan
5. Data untuk perhitungan TDS dan pemilihan kurva TCC diambil dari simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0 pada *plant* PT Pertamina RU V Balikpapan
6. Pembuatan Algoritma *Numerical Computation* untuk perhitungan TDS dan pemilihan kurva TCC dilakukan pada *software* MATLAB R2018a.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan penulis dalam menyusun tugas akhir ini adalah:

1. Pengumpulan Data dan Studi literatur
   Mengumpulkan data-data pendukung pada sistem kelistrikan pada PT Pertamina RU V Balikpapan serta referensi-referensi

terkait penelitian ini sebagai bahan dan acuan dasar dalam pengerjaan tugas akhir .

2. Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan
   Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan data-data penunjang yang telah didapatkan sebelumnya. Pemodelan sistem kelistrikan tersebut memungkinkan dilakukannya simulasi aliran daya (*Load Flow*), hubung singkat (*Short Circuit*), dan pengaturan koordinasi proteksi (*Protection Coordination Setting*)
3. Pembuatan Algoritma
   Pada tahap ini diperlukan perancangan algoritma dengan metode *Numerical Computation* yang dapat menunjang proses penghitungan nilai TDS dan pemilihan tipe kurva TCC. Perancangan algoritma dengan metode *Numerical Computation* dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2018a
4. Analisis Algoritma Perhitungan
   Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap algoritma *Numerical Computation* untuk mendapat nilai TDS dan kurva TCC yang optimal. Analisis yang dilakukan berupa analisis pengujian algoritma dalam memproses nilai input serta penyempurnaan alogritma untuk mendapatkan hasil yang paling memuaskan.
5. Pengujian Algoritma Perhitungan ke dalam *Plant*
   Setelah didapatkan nilai TDS dan jenis kurva TCC yang terbaik, kedua nilai tersebut diujikan pada plant terkait yaitu sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan
6. Penyusunan laporan tugas akhir
   Pada tahap ini dilakukan penyusunan buku tugas akhir yang merupakan serangkaian proses pengerjaan tugas akhir ini

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini membahas penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan relevansi.

BAB 2 Sistem Proteksi dan *Numerical Computation Algorithm*

Bab ini membahas penjelasan mengenai dasar teori yang menunjang penulisan tugas akhir ini seperti teori penunjang mengenai koordinasi proteksi dan metode numerik.

BAB 3 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan dan Perancangan *Numerical Computation.*

Bab ini memuat tentang sistem kelistrikan yang ada di PT. Pertamina RU V Balikpapan dan juga perancangan algorithma *Numerical Computation* untuk mencari nilai terbaik dari *setting* koordinasi proteksi rele arus lebih.

BAB 4 Hasil Simulasi dan Analisis Perhitungan *Numerical Computation*

Bab ini memuat tentang hasil pengujian terhadap algoritma *Adaptive Modified Firefly* dalam menentukan nilai TDS, selanjutnya akan dianalisa nilai TDS yang didapatkan melalui *software* ETAP untuk menguji keberhasilan algoritma.

BAB 5 Penutup

Bab ini merupakan akhir dari proses pengerjaan tugas akhir, diakhir akan ditarik kesimpulan dari hasil pengujian serta diberikan saran dan masukan untuk penelitian serupa berikutnya.

1.7 Relevansi

Hasil dari pengerjaan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pertimbangan PT Pertamina RU V Balikpapan dalam melakukan *setting* parameter *inverse time overcurrent relay* (Rele 51)
2. Sebagai bahan referensi mengenai studi perhitungan *Time Dial Setting* untuk penyusunan tugas akhir dengan topik yang serupa.
3. Mampu membantu para *engineer* atau *user* dalam melakukan *setting* koordinasi proteksi.

BAB 2
SISTEM PROTEKSI DAN *NUMERICAL COMPUTATION ALGORITHM*

2.1 Gangguan Pada Sistem Kelistrikan

Pada umumnya pada sistem kelistrikan terdapat beberapa gangguan, contohnya yaitu gangguan beban lebih (*overload)* dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang terjadi saat arus yang mengalir pada suatu sistem melebihi batas normal arus yang diijinkan untuk mengalir [2]. Gangguan ini dapat menyebabkan rusaknya peralatan-peralatan yang berada pada sistem karena adanya *losses* berupa arus berlebih yang dapat menyebabkan panas.

Gangguan selanjutnya yaitu gangguan hubung singkat. Gangguan ini umumnya terjadi karena adanya kegagalan isolasi akibat arus yang mengalir sangat besar sehingga menyebabbkan panas berlebih dan mengurangi kemampuan isolator. Selain itu gangguan ini juga dapat terjadi karena adanya kerusakan mekanik akibat dari kelalaian teknisinya. Gangguan hubung singkat dapat kita klasifikasikan menjadi 2, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Yang termasuk kedalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa. Sedangkan yang termasuk kedalam gangguan hubung singkat asimetri yaitu gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa ke tanah dan antar fasa [3].

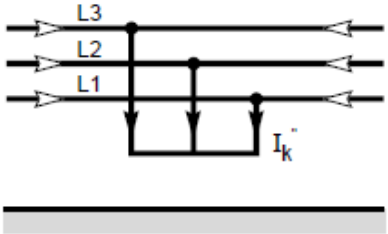
2.1.1 Jenis-Jenis Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat menurut klasifikasi simetri dan asimetri dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa
   Nilai arus gangguan pada hubung singkat 3 fasa ini mempunyai nilai arus paling besar diantara gangguan hubung singkat lainnya. Nilainya dapat dihitung dengan rumus :

$$I_{sc3\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.1)$$

Dimana V_{LN} merupakan nilai tegangan fasa ke tanah dan X_1 merupakan nilai reaktansi urutan positif



Gambar 2.1 Pemodelan gangguan hubung singkat 3 fasa

2. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi karena adanya pertemuan atau bersentuhannya dua fasa menjadi 1 titik. Nilai arus gangguannya dapat dihitung dengan rumus :

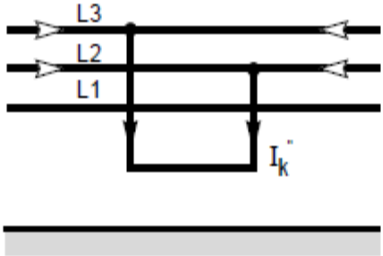
$$I_{sc2\emptyset} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2}$$

Jika nilai reaktansi urutan negatif sama dengan nilai reaktansi urutan positif, maka rumus diatas dapat kita tulis menjadi :

$$I_{sc2\emptyset} = \frac{\sqrt{3} V_{LN}}{2X_1}$$

Dengan V_{LL} pada persamaan sebelumnya merupakan nilai tegangan fasa ke fasa dan X_2 merupakan nilai reaktansi urutan negatif. Dari rumus di atas jika di sederhanakan lagi berdasarkan acuan pada persamaan hubung singkat 3 fasa maka dapat kita tulis menjadi :

$$I_{sc2\emptyset} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{Isc3\emptyset} \approx 0{,}866\, I_{Isc3\emptyset} \quad (2.2)$$



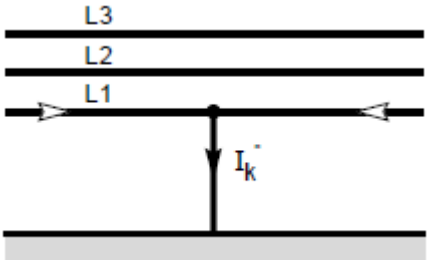
Gambar 2.2 Pemodelan gangguan hubung singkat antar fasa

3. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah
   Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada kasus-kasus gangguan hubung singkat pada suatu sistem kelistrikan. Hal ini terjadi ketika salah satu fasanya terhubung ke tanah, persamaannya dapat kita tuliskan dengan rumus :

$$I_{sc1\emptyset} = \frac{3V_{LN}}{X_0+X_1+X_2+Z_G}$$

Dengan X_0 merupakan nilai reaktansi urutan nol dan Z_G merupakan nilai impedansi ke tanah. Jika nilai Z_G sangat kecil dan nilai dari X0=X1=X2, maka persamaannya dapat kita sederhanakan menjadi :

$$I_{sc1\emptyset} = \frac{3V_{LN}}{3X_1} = I_{sc3\emptyset} \qquad \textbf{(2.3)}$$



Gambar 2.3 Pemodelan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

2.2 Tipe Rele dan Faktor Pemilihan Rele

Rele Proteksi sendiri mempunyai jenis-jenis yang berbeda-beda tergantung dari fungsinya, adapun jenis rele dibagi menjadi [2]:

1. Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*) : Rele yang bekerja ketika ada arus berlebih
2. Rele Jarak (*Distance Relay*) : Rele yang bekerja dengan cara memberikan informasi di titik mana gangguan terjadi
3. Rele Differential (*Differential Relay*) : Rele yang prinsip kerjanya membandingkan antara 2 nilai arus pada sebuah peralatan listrik (antara income dan outcome)

Adapun beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk menjamin keandalan kinerja suatu rele proteksi [4]:

1. Selektivitas : Kemampuan rele untuk menentukan di posisi mana kah gangguan dan memutus rangkaian yang terhubung dengan gangguan tersebut dengan pemutus terdekat dari titik gangguan
2. Kecepatan Bereaksi : Kemampuan rele bereaksi untuk mengirimkan sinyal pelepasan *circuit breaker* . semakin cepat kecepatan reaksi sebuah rele untuk mengirimkan sinyal operasi, maka akan semakin minim kerusakan pada peralatan listrik
3. Sensitivitas : Kemampuan rele untuk merasakan adanya gangguan pada suatu titik.
4. Keandalan : Sebuah rele dikatakan memiliki keandalan yang baik ketika rele tersebut dapat bekerja dan bereaksi terhadap gangguan yang ada. Nilai rele pengaman yang baik memiliki rentang nilai di 90%
5. Ekonomis :semakin pentingnya peralatan yang diamankan, maka rele pengaman yang digunakan harus semakin baik yang otomatis memakan biaya yang lebih.

2.3 Rele Arus Lebih *Inverse*

Rele arus lebih merupakan rele yang bekerja untuk mengirimkan sinyal pemutus kepada *Circuit Breaker* ketika nilai arus yang mengalir pada suatu sistem kelistrikan dirasa lebih besar dari nilai arus yang telah

kita tetapkan atau telah di *setting* [2]. Rele arus lebih dapat diklasifikasikan menjadi rele arus lebih waktu instan, rele arus lebih waktu tertentu dan rele arus lebih waktu *inverse*. Rele arus lebih *inverse* memiliki beberapa sifat dan karakteristik, salah satunya adalah semakin besar arus gangguan, maka semakin cepat pula rele arus lebih tersebut untuk beroperasi.

Pada rele arus lebih waktu *inverse*, ada beberapa parameter yang harus dipenuhi terlebih dahulu sebelum kita dapat menentukan waktu kerja rele tersebut. Contohnya adalah arus *pickup* dan *Time Dial Setting* (TDS). menurut British Standard BS 142,nilai arus *pickup*(I_p) mempunyai rentang arus yang dapat dituliskan dengan persamaan :

$$1{,}05\ \mathrm{FLA} < \mathrm{Ip} < 1{,}4\ \mathrm{FLA} \tag{2.4}$$

Batas penentuan nilai arus *pickup* diatas bertujuan untuk melindungi dari gangguan beban lebih, sementara untuk batas penentuan nilai arus *pickup* pada rele sebagai pelindung kejadian hubung singkat dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$1{,}6\ \mathrm{FLA} < \mathrm{Ip} < 0.8\ \mathrm{Isc\ min} \tag{2.5}$$

Dengan FLA(*Full Load Ampere*) merupakan arus nominal yang mengalir dan $I_{SC\ MIN}$ merupakan arus hubung singkat minimum (arus hubung singkat 2 fasa) dengan durasi 30 *cycle* (*Steady State*) [5].

Dalam menentukan nilai TDS, diperlukan perhitungan berdasarkan jenis kurva dan manufaktur yang akan digunakan. Perhitugan nilai TDS rele arus lebih *inverse* dapat dituiskan dengan rumus [1]:

$$t_{op} = TDS \times \left(\frac{\beta}{\left(\left(\frac{I}{I_P} \right)^{\propto} - 1 \right)} + L \right) + C \tag{2.6}$$

t_{op} = Waktu operasi dari rele arus lebih.
TDS = *Time Dial Setting.*
I = Arus saat operasi rele (arus hubung singkat 3 fasa)
I_p = Arus *pickup.*
α,β,L = Koefisien rele arus lebih waktu *inverse*.

Koefisien dari rele arus lebih *inverse* memiliki perbedaan sesuai dengan manufaktur rele yang digunakan [6], [7], [8]. Berikut adalah

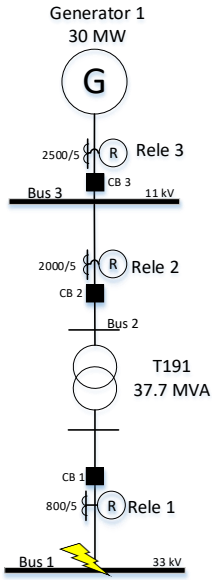
salah satu contoh nilai koefisien rele arus lebih *inverse* yang akan digunakan pada tugas akhir ini :

Tabel 2.1 Koefisien kurva rele *inverse* MICOM

Tipe Kurva	***β***	∝	***L***	***C***
Standard Inverse	0,14	0.02	0	0
Very Inverse	13,5	1	0	0
Extremely Inverse	80	2	0	0
Long Time Inverse	120	1	0	0

2.4 Skema Koordinasi Proteksi

Dalam menentukan *setting* koordinasi proteksi, diperlukan skema koordinasi proteksi agar mendapatkan hasil waktu operasi yang aman dan sesuai. Contoh dari skema koordinasi proteksi dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 2.4 Skema Koordinasi Proteksi

Pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat pada Bus 1, rele 1 akan beroperasi paling cepat untuk mengamankan titik gangguan dan rele 2 akan bekerja sebagai rele *backup* ketika rele 1 gagal beroperasi, waktu operasi rele 2 tersebut tidak beroperasi bersamaan, melainkan memiliki waktu operasi dengan selang waktu CTI detik. Hal yang sama juga berlaku ketika gangguan berada di Bus 2, dimana rele 2 akan beroperasi paling cepat untuk mengamankan titik gangguan dan rele 3 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan selang waktu t2+CTI detik ketika rele 2 gagal beroperasi

2.5 *Coordination Time Interval*

Dalam skema koordinasi proteksi, sebuah sistem dikatakan memiliki sistem proteksi yang baik ketika mempunyai rele utama dan rele *backup*. Ketika rele utama gagal untuk mengirimkan sinyal untuk membuka *Circuit Breaker*, maka rele *backup* yang kemudian akan menggantikan fungsi dari rele utama tadi. Selang waktu antara rele utama dan rele *backup* disebut *Coordination Time Interval (CTI).* Menurut [9], waktu dari CTI dikelompokkan sesuai dengan tipe rele nya.

Tabel 2.2 Waktu CTI rele

Komponen	**Waktu Kerja (Detik)**	
	Elektromekanik	**Statik**
Waktu *Circuit Breaker* membuka	0,08	0,08
Overtravel pada rele	0,1	0
Toleransi rele dan *error setting*	0,12	0,12
Total CTI	**0,3**	**0,2**

2.6 *Numerical Computation*

Semua ilmu tentang sains dan teknik menggunakan komputasi numerik untuk menganalisa permasalahan yang kompleks. Metode *numerical* biasanya digunakan oleh *engineer* ketika diharuskan untuk menghitung sebuah perhitungan rumit. Penggunanan *Numerical Computation* memungkinkan kita untuk melakukan perhitungan dalam skala besar dan banyak dengan waktu yang sangat singkat. Tujuan para

engineer menggunakan *Numerical Computation* [10] antara lain :

1. Mendesain suatu produk atau meningkatkan produk yang telah ada
2. Meminimalisir biaya,konsumsi daya ,dan segala bentuk biaya lainnya atau *non-returable engineering (NRE)*
3. Meminimalisir waktu untuk pemasaran

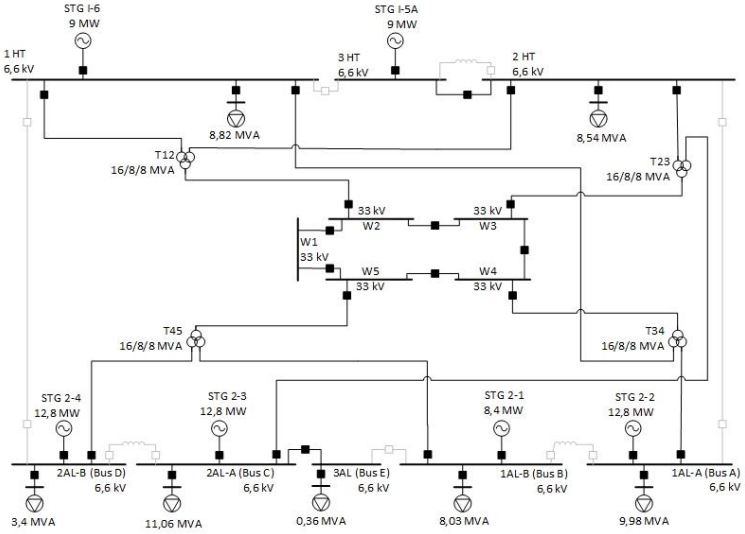
Oleh sebab-sebab diatas, *Numerical Computation* sangat banyak digunakan dalam dunia perindustrian maupun di bidang riset dan penelitian karena dapat mempermudah proses perhitungan serta mempersingkat waktu pengerjaan

BAB 3
SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITMA *NUMERICAL COMPUTATION*

Pada bagian bab ini akan dijelaskan mengenai data - data yang didapat dari sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan. Selain informasi tentang data – data yang didapat pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan, akan dijelaskan pula mengenai perancangan *Numerical Computation* untuk menjawab permasalahan yang ada.

3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Sistem kelistrikan pada PT Pertamina RU V Balikpapan dirancang agar dapat mengintegrasikan aliran daya dari tiap *substation* ke dalam suatu *ring* bus dengan level tegangan 33 kV.



Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan pada kondisi normal disuplai oleh 6 generator berjenis *steam turbine generator* (STG). Pada sistem distribusi kelistrikan terdiri dari 3 level tegangan

yang berbeda yaitu mulai dari 0.38 kV, 6.6 kV, dan 33 kV. Level tegangan 0.38 kV digunakan sebagai suplai beban berkapasitas kecil. Tegangan 6.6 kV merupakan tegangan keluaran generator turbin uap. Dan digunakan sebagai suplai beban berkapasitas besar seperti motor. Tegangan 33 kV merupakan tegangan yang berada pada sistem *ring* yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem.

3.2 Data Pembangkitan dan Pembebanan PT Pertamina RU V Balikpapan

Nilai pembangkitan dan pembebanan pada PT Pertamina RU V Balikpapan saat kondisi normal dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT Pertamina RU V Balikpapan

Generator ID	Lokasi Bus	Daya Rating (MW)	Tegangan (kV)	Faktor Daya (PF)
STG 1-6	1HT	9	6,6	80%
STG 1-5A	3HT	9	6,6	80%
STG 2-4	2AL-B (*Bus* D)	12,8	6,6	80%
STG 2-3	2AL-A (*Bus* C)	12,8	6,6	80%
STG 2-1	1AL-B (*Bus* B)	8,4	6,6	80%
STG 2-2	1AL-A (*Bus* A)	12,8	6,6	80%

Tabel 3.2 Pembebaban pada *Bus* Utama PT Pertamina RU V Balikpapan

Area	Daya Pembebanan		
	MW	MVAR	MVA
1HT	7.73	4.26	8.82
2HT	7.47	4.14	8.54
2AL-B (*Bus* D)	3	1.6	3.4
2AL-A (*Bus* C)	9.39	5.86	11.06
3AL (*Bus* E)	0.3	0.2	0.36
1AL-B (*Bus* B)	6.54	4.66	8.03
1AL-A (*Bus* A)	8.2	5.7	9.98
Total	**42.63**	**26.42**	**50.21**

3.3 Data Transformator Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Sistem kelistrikan pada PT Pertamina RU V Balikpapan memiliki 4 buah transformator tiga belitan yang menghubungkan antar generator dengan *bus* 33 KV. Data Transformator tiga belitan pada PT Pertamina RU V Balikpapan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.3 Data Transformator Tiga Belitan di PT Pertamina RU V Balikpapan

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
T12	16/8/8	33/6.6/6.6
T23	16/8/8	33/6.6/6.6
T34	16/8/8	33/6.6/6.6
T45	16/8/8	33/6.6/6.6

Di sistem kelsistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan juga terdapat beberapa transformator dua belitan yang berfungsi menurunkan tegangan 6.6 kV ke 0.38 kV untuk menyuplai beban dengan kapasitas kecil. Data transformator tiga belitan pada PT Pertamina RU V Balikpapan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.4 Data Transformator Dua Belitan di PT Pertamina RU V Balikpapan

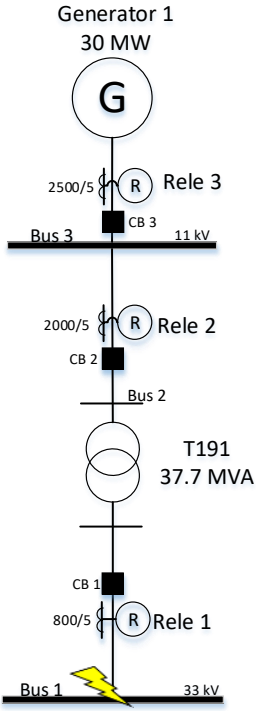
ID Rele	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
HSTR1	1	6.6/0.38
HSTR2	1	6.6/0.38
HSTR3	1	6.6/0.38
TR61A	1.6	6.6/0.38
TR61B	1.6	6.6/0.38
TR61C	1	6.6/0.38
TR61D	1	6.6/0.38

Tabel 3.5 Data Transformator Dua Belitan di PT Pertamina RU V Balikpapan (lanjutan)

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
TR61E	1	6.6/0.38
TR61F	1	6.6/0.38
TR62A	1.6	6.6/0.38
TR62B	1.6	6.6/0.38
TR63A	1.6	6.6/0.38
TR63B	1.6	6.6/0.38
TR64A	1	6.6/0.38
TR64B	1	6.6/0.38
TR65A	1	6.6/0.38
TR65B	1	6.6/0.38
TR66A	1.6	6.6/0.38
TR66B	1.6	6.6/0.38
TR67A	1.6	6.6/0.38
TR67B	1.6	6.6/0.38
TR68A	1	6.6/0.38
TR68B	1	6.6/0.38

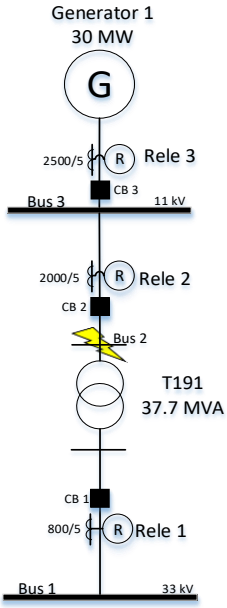
3.4 Perancangan Otomatisasi Koordinasi Kerja Rele

Pada tugas akhir ini, akan dirancang skema otomatisasi koordinasi proteksi rele arus lebih tipe *inverse.* Dimana untuk skema pengerjaan otomatisasi pada program tugas akhir ini akan dijelaskan melalui gambar dibawah ini.



Gambar 3.2 Single Line Diagram Koordinasi Rele Gangguan Bus 1

Pada contoh gambar diatas, ketika terjadi gangguan hubung singkat pada Bus 1, maka Rele 1 akan bekerja sebagai rele primer dan Rele 2 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan CTI yang bisa disesuaikan dengan *setting* pengguna. Jika berada pada tegangan yang sama maka nilai CTI akan ditambahkan ke waktu operasi relay *backup* sebesar 0,2 detik.



Gambar 3.3 Single Line Diagram Koordinasi Rele Gangguan Bus 2

Sedangkan ketika terjadi gangguan pada Bus 2 seperti gambar diatas, maka Rele 2 akan bekerja sebagai rele primer dan Rele 3 akan bekerja sebagai rele *backup*. Program akan secara otomatis melakukan perhitungan untuk gangguan pada Bus 3 dan mencari waktu operasi terbaik untuk Rele 3 sebagai rele primer. Dimana jumlah perhitungan pada program ini disesuaikan dengan masukkan jumlah rele yang akan di *setting* nilai TDS dan tipe kurva yang digunakan.

3.5 Perancangan *Numerical Computation*

Untuk melakukan otomatisasi perhitungan nilai TDS dan pemilihan kurva pada sistem proteksi PT Pertamina RU V Balikpapan, digunakan metode *numerical computation* dengan beberapa algoritma untuk mendapatkan hasil terbaik pada program tugas akhir ini. Secara singkat ada beberapa formulasi permasalahan yang harus dipenuhi dalam perhitungan program ini yang berlandaskan pada penelitian-penelitian sebelumnya tentang topik yang sama [5], [11] . Selain itu ada beberapa

tambahan formulasi permasalahan yang digunakan untuk memaksimalkan perhitungan program tugas akhir ini dan juga pengembangan lainnya untuk validasi manufaktur rele dan juga persamaan tipe kurva yang ada. Kelebihan tugas akhir ini adalah adanya perhitungan otomatis dari semua jenis kurva tipe *inverse* dan juga pemilihan *setting* terbaik untuk rele proteksi. Secara garis besar, formulasi permasalahan yang dimasukkan pada program tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Kriteria Koordinasi

   Kondisi gangguan dirasakan oleh rele primer maupun *backup*. Dimana rele *backup* beroperasi untuk membuka *circuit breaker* (CB) ketika rele primer gagal beroperasi. Nilai ini didapatkan dari penjumlahan durasi waktu rele primer, waktu *overtravel* antar rele, dan juga waktu *overshoot* rele. Waktu yang diperlukan untuk selang waktu bekerja antara rele primer dan rele *backup* disebut juga sebagai *coordination time interval* (CTI) dengan persamaan seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.

2. Batas Waktu Operasi Rele

   Rele membutuhkan jumlah waktu tertentu untuk beroperasi, dan nilai minimum operasi rele harus lebih besar dari batas minimum operasi rele. Di sisi lain, rele juga tidak boleh bekerja pada waktu yang terlalu lama agar tidak merusak peralatan ketika terjadi gangguan. Dimana timin merupakan batas bawah operasi rele, sedangkan timax merupakan batas atas waktu operasi rele. Waktu operasi rele dapat dinyatakan dalam persamaan :

   $$t_{imin} \leq t_i \leq t_{imax} \tag{3.1}$$

3. Batas pada Pengaturan Rele

   Manufaktur rele menyediakan batas bawah dan atas nilai pengaturan yang diizinkan untuk mengatur nilai TDS. Dimana pada program ini nilai batas pengaturan TDS sudah disesuaikan sesuai dengan pilihan manufaktur rele yang akan digunakan pada perhitungan. Batas pengaturan TDS dapat dinyatakan dengan persamaan :

   $$TDS_{i,min} \leq TDS_i \leq TDS_{i,max} \tag{3.2}$$

4. Batas pada Karakteristik rele
   Setiap rele mempunyai karakteristik yang berbeda, baik dari tipe kurva *inverse* yang disediakan ataupun dari koefisien persamaan kurva yang berbeda-beda. Pada program ini sudah disesuaikan pada pilihan manufaktur rele yang dipilih yang nantinya akan menyesuaikan karakteristik rele yang dipilih.
5. Batas Kemampuan Rele
   Beberapa rele mempunyai batas kerja operasi yang berbeda-beda, oleh sebab ini pada program tugas akhir ini diberikan batasan baru pada tiap rele sesuai dengan karakteristiknya. Seperti contoh padatugas akhir ini digunakan jenis manufaktur rele ALSTOM MICOM , dengan batasan kerja :

$$I_{i,operate} \leq 30 \; x \; I_{i,pickup} \tag{3.3}$$

3.6 Algoritma *Numerical Computation*

Pada bagian ini akan dibahas mengenai algoritma apa saja yang digunakan pada program tugas akhir untuk mengotomatisasi perhitungan koordinasi proteksi pada PT Pupuk Kalimantan Timur, dengan fungsi objektif sebagai berikut :

1. Input Data Program *Numerical Computation*
   Pada tahap awal program, dibutuhkan input data untuk diolah kedalam program tugas akhir, data yang dibutuhkan untuk perhitungan TDS dan pemilihan kurva adalah data jumlah rele, arus hubung singkat primer, arus hubung singkat *backup*, nilai tegangan rele bekerja, *full load ampere* (FLA), nilai primer CT rele, dan waktu *setting* awal yang diinginkan

2. Pemilihan Manufaktur dan Tipe Rele
   Setelah memasukkan data masukkan untuk perhitungan koordinasi proteksi, langkah selanjutnya adalah memilih manufaktur rele yang telah disediakan didalam program. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan karakteristik rele yang akan digunakan dalam kalkulasi. Mulai dari koefisien

perhitungan waktu operasi, batas kerja rele, serta *range* dan *step* TDS.

3. Inisiasi Perhitungan Waktu Operasi
   Untuk menentukan waktu operasi dari setiap tipe kurva, diperlukan inisasi perhitungan untuk mengkalkulasi waktu kerja dari setiap tipe kurva. Menggunakan persamaan waktu operasi rele dari setiap kurva *inverse* yang tersedia dari manufaktur rele yang dipilih.

4. Mencari Waktu Terdekat dari Waktu *Setting*
   Pada perhitungan awal, setiap kurva dihitung untuk mencari nilai waktu operasi yang paling mendekati dari waktu *setting* yang diinginkan. Nantinya dari setiap waktu operasi rele yang telah digenerasi dari *step* TDS setiap kurva akan dicari nilai *error* terkecil dari waktu *setting* awal yang diinginkan

$$\boldsymbol{td_{min} = td_{rele} - td_{set}} \tag{3.4}$$

   Dengan td_{min} merupakan waktu rele kerja dengan *error* terkecil, td_{rele} merupakan waktu rele kerja dari setiap TDS yang digenerasi, dan td_{set} adalah waktu operasi awal yang diinginkan.

5. Mencari Waktu Terbaik dari Setiap Kurva *Inverse*
   Setelah diinisiasi dengan perhitungan dari setiap waktu kerja rele, selanjutnya mencari nilai minimum dari waktu kerja rele pada setiap jenis kurva *inverse.*

$$\boldsymbol{td_{minrele} = \min(td_{\min(i,j)})} \tag{3.5}$$

   Dengan $td_{minrele}$ merupakan waktu kerja rele dengan *error* terkecil yang telah dibandingkan dengan setiap pilihan kurva *inverse* yang tersedia.

6. Evaluasi Waktu Operasi Rele
   Pada tahap ini, waktu operasi terbaik dari setiap rele dievaluasi apakah sudah memenuhi kedua syarat batas waktu rele. Yaitu batas waktu koordinasi antar rele, dan juga batas waktu operasi rele dari tiap-tiap rele yang ada. Dimana nilai CTI dapat diatur secara otomatis atau manual sesuai dengan keinginan *setting* proteksi yang ada. Waktu

operasi rele *backup* dapat dievaluasi melalui persamaan berikut :

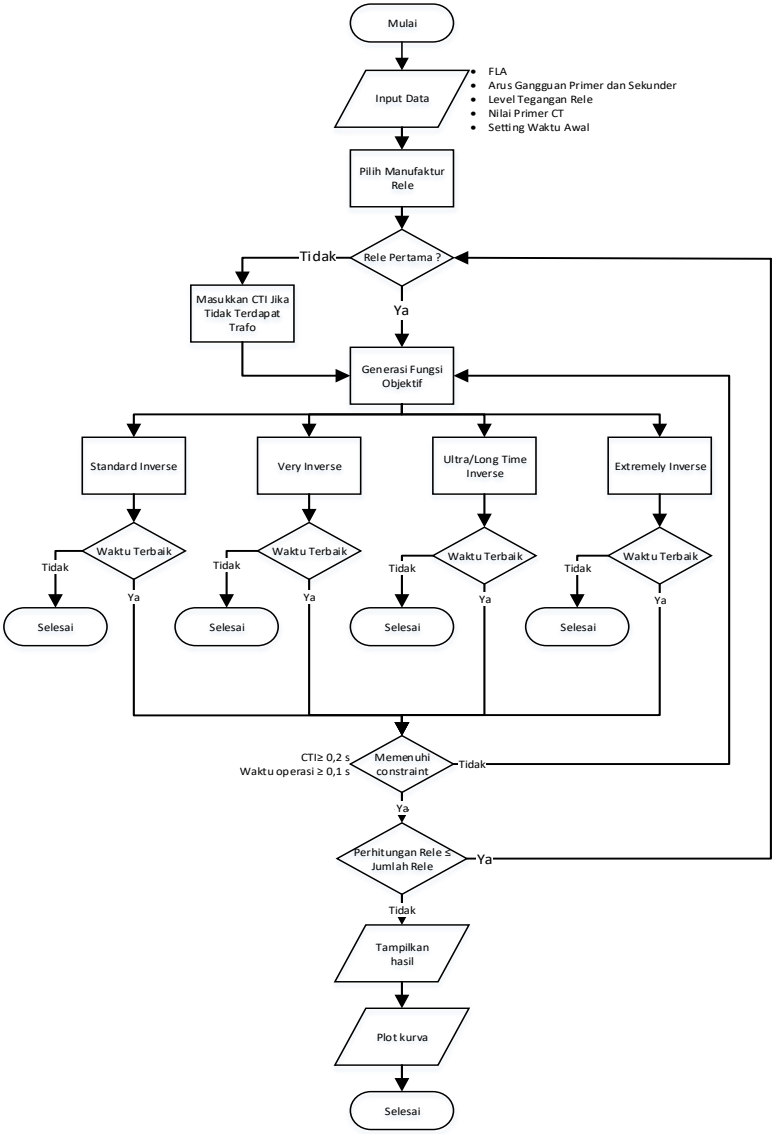
$$\boldsymbol{td_{minrele(i+1,j)} - \left(td_{minrele(i,j)} + CTI\right) \geq 0} \quad (3.6)$$

Dimana setiap rele *backup* harus memenuhi persyaratan :

$$\boldsymbol{td_{minrele(i+1,j)}\ sebagai\ rele\ primer \geq 0,1s} \quad (3.7)$$

7. Koordinasi Antar Rele
   Di langkah ini, terdapat pilihan koordinasi antar rele. Apakah rele selanjutnya berada pada tegangan yang sama atau dipisahkan dengan trafo. Nilai *setting* CTI pada rele berikutnya dapat ditentukan sesuai dengan kondisi koordinasi proteksi, dimana jika terdapat beda tegangan waktu operasi rele berikutnya dapat diberikan *time grading* transformator atau dapat diabaikan sehingga didapatkan hasil *setting* yang kita inginkan.

8. *Main Loop While*
   Setelah didapatkan hasil waktu operasi rele, maka program akan bekerja untuk menentukan *setting* rele berikutnya secara otomatis. Dimana program akan berhenti ketika jumlah rele yang di *setting* sudah sebanyak dengan input jumlah rele yang ditentukan diawal perhitungan.



Gambar 3.4 *Flowchart* Algoritma *Numerical Computation*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4
HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PERHITUNGAN *NUMERICAL COMPUTATION*

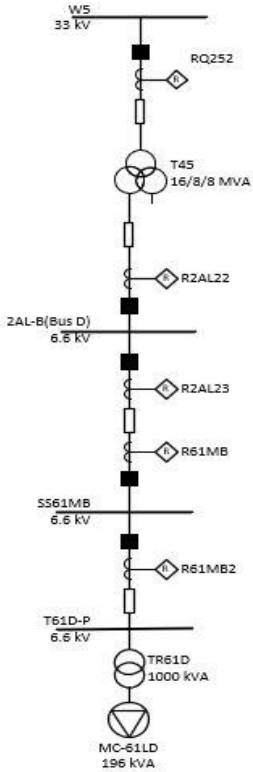
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari simulasi koordinasi proteksi sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan dengan metode *Numerical Computation* untuk memudahkan perhitungan masing – masing tipikal yang dipilih. Pada program tugas akhir ini, semua otomatisasi perhitungan hanya dapat dilakukan pada rele arus lebih tipe *inverse*. Karena itu perlu adanya penyesuaian pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan, dimana pada kondisi eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan rele arus lebih yang aktif menggunakan rele *instantaneous* (ANSI 50) dan juga rele *inverse* (ANSI 51) secara bersamaan. Sehingga agar perhitungan dapat dilakukan, perlu adanya penonaktifan rele *instantaneous* (ANSI 50) pada rele arus lebih yang akan dilakukan perhitungan sesuai dengan tipikal yang telah dipilih.

4.1 Penentuan Tipikal Skema Proteksi Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada pengujian program tugas akhir ini, akan dilakukan pemilihan beberapa tipikal yang mewakili beberapa contoh kasus *setting* rele proteksi. Pemilihan ini dibagi menjadi tiga bagian dengan tipe beban dan jumlah rele yang berbeda.

4.1.1 Tipikal 1 (Saluran Terpanjang Menuju *Outgoing Ring*)

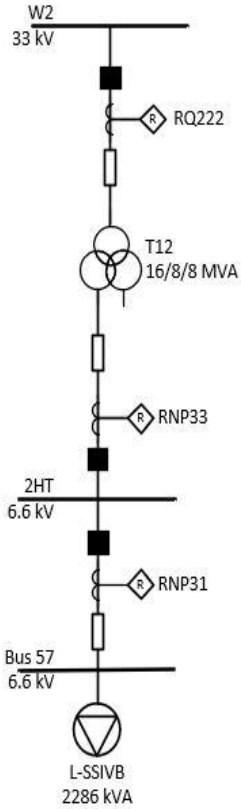
Tipikal 1 merupakan saluran terpanjang dari beban menuju *Outgoing Ring* Bus 33 kV. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban *Lump Load* MC-61LD(90% *motor load* dan 10% *static* load.305 kVA) - TR61D (1000 KVA) – Bus T61D-P(6.6 kV) – Bus SS61MB (6.6 kV) – Bus 2AL-B (Bus D) (6.6 kV) – T45 (3 belitan, 16/8/8 MVA) – Bus W5 (33 kV). Tipikal ini memiliki total lima rele arus lebih yang nantinya akan di *setting* yaitu R61MB2, R61MB, R2AL23, R2AL22 dan RQ252. *Setting* yang akan dilakukan hanyalah pada rele arus lebih *inverse* (ANSI 51).



Gambar 4.1 Skema Koordinasi Tipikal 1

4.1.2 Tipikal 2 (Beban Terbesar Menuju *Outgoing Ring*)

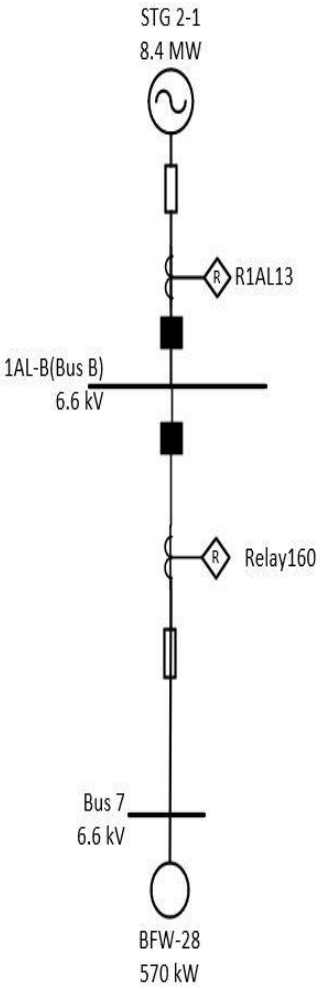
Tipikal 2 merupakan skema koordinasi dengan beban terbesar yaitu *Lumped Load* L-SSIVB dengan beban sebesar 2286 kVA. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban L-SSIVB (2286 kVA) – Bus 57 (6.6 kV) – Bus 2HT (6.6 kV) – T12 (3 belitan, 16/8/8 MVA) - Bus W2 (33 kV). Tipikal ini memiliki total tiga rele arus lebih yang nantinya akan di *setting* yaitu RNP31, RNP33 dan RQ222. *Setting* yang akan dilakukan hanyalah pada rele arus lebih *inverse* (ANSI 51).



Gambar 4.2 Skema Koordinasi Tipikal 2

4.1.3 Tipikal 3 (Saluran dari Beban Menuju Generator)

Tipikal 3 merupakan skema koordinasi dari beban hingga menuju generator aktif yaitu STG 2-1 dengan besar 8.4 MW. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban motor BFW-28 (570 kW) – Bus7 (6.6 kV) – 1AL-B (Bus B)(6.6 kV) – STG 2-1 (8.4 MW). Tipikal ini memiliki total dua rele arus lebih yang nantinya akan di *setting* yaitu Relay160 dan R1AL13. *Setting* yang dilakukan hanyalah pada rele arus lebih *inverse.*



Gambar 4.3 Skema Koordinasi Tipikal 3

4.2 Data Proteksi Eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan

Merujuk dari data *setting* sistem proteksi PT Pertamina RU V Balikpapan, dapat dilihat bahwa *setting* proteksi telah diaplikasikan ke dalam *single line diagram* PT Pertamina RU V Balikpapan. Data *setting* tersebut dapat digunakan sebagai data acuan serta pembanding pada tugas akhir ini. Data *setting* eksisting pada PT Pertamina RU V Balikpapan di simulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6.0

4.2.1 Data Proteksi Eksisting Tipikal 1

Pada tipikal satu merupakan koordinasi dengan saluran terpanjang antara beban hingga menuju *outgoing ring* bus. Beban yang digunakan pada tipikal ini merupakan beban *lumped load* MC-61LD dengan besar 305 kVA yang mempunyai komposisi 90% *motor load* dan 10% static *load.* Beban ini terhubung dengan TR61D yang memiliki kapasitas 1000 kVA dan diberi rele proteksi arus lebih R61MB2 yang dilengkapi dengan CT 100/5 A untuk mengamankan baik trafo maupun beban. Kemudian tersambung ke bus SS61MB dengan level tegangan 6.6 kV dan diberi dua rele proteksi arus lebih yaitu R61MB dan R2AL23 dengan masing-masing rating CT 750:1 A dan 1250:1 A. Setelah itu rele terhubung ke bus 2AL-B (Bus D) dengan level tegangan 6.6 kV dan diberi rele proteksi arus lebih yaitu R2AL22 dengan CT 1000:1 A. rele tersebut kemudian terhubung ke T45 dengan kapasitas 16/8/8 MVA dan dihubungkan dengan rele proteksi arus lebih RQ252 dengan CT 500 :1 A untuk melindungi transformator tiga belitan.

Setting koordinasi proteksi eksisting untuk kelima rele pada tipikal 1 dijelaskan sebagaimana berikut :

R61MB2

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 100/5 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Very Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.92
I_P (ANSI 51)	: 92 A
TDS	: 0.025
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 26
I_P (ANSI 50)	: 2600 A
Delay	: 0.1 s

R61MB

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 750/1 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Standard Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.7
I_P (ANSI 51)	: 525 A
TDS	: 1.2
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 11.33
I_P (ANSI 50)	: 8500 A
Delay	: 0.3 s

R2AL23

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 1250/1 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Standard Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.42
I_P (ANSI 51)	: 525 A
TDS	: 1.2
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 6.8
I_P (ANSI 50)	: 8500 A
Delay	: 0.3 s

R2AL22

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 122
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 1000/1 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Standard Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.735
I_P (ANSI 51)	: 735 A
TDS	: 0.9
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 3
I_P (ANSI 50)	: 3000 A
Delay	: 0.7 s

RQ252

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 33 kV
Rasio CT	: 500/1 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Very Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.7
I_P (ANSI 51)	: 350 A
TDS	: 0.6
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 2
I_P (ANSI 50)	: 1000 A
Delay	: 0.1 s

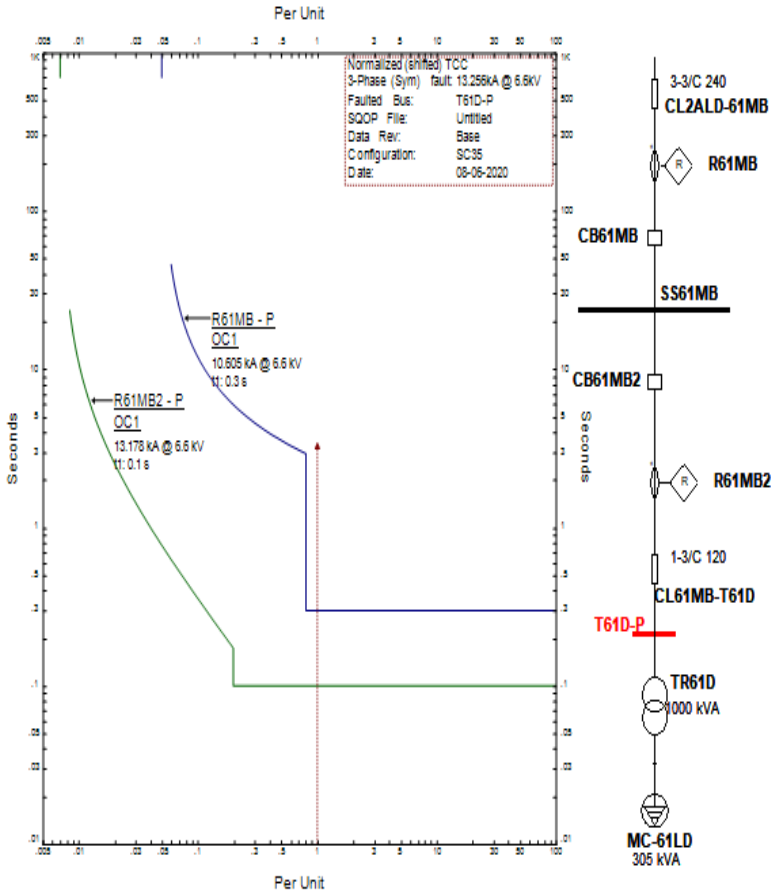
Pada tipikal 1, disimulasikan terjadi gangguan hubung singkat pada bus-bus yang dianggap dapat merepresentasikan waktu operasi dari koordinasi proteksi tipikal ini. Pada tugas akhir ini hanya menggunakan gangguan hubung singkat 0,5 *cycle* yang merupakan nilai arus hubung singkat maksimal untuk mengevaluasi kurva TCC apakah bersilangan atau tidak.

Berikut data arus hubung singkat maksimum pada tipikal 1 yang dirasakan oleh rele primer maupun rele *backup* saat terjadi gangguan :

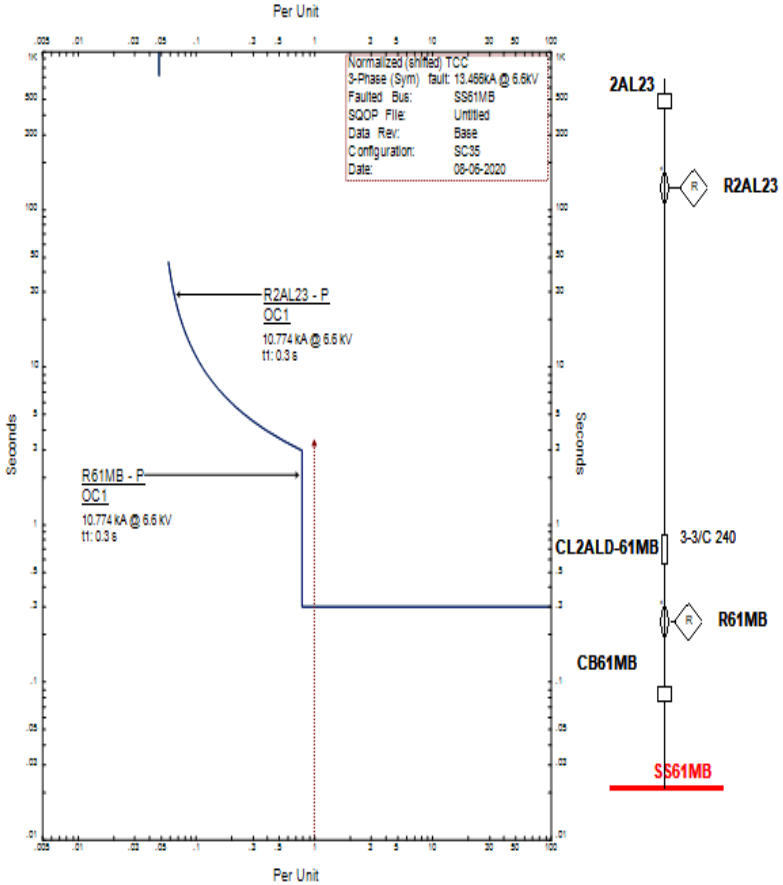
Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat 0,5 *cycle* Tipikal 1

Nomor	*ID* Rele	Tegangan (kV)	*Isc Max* Utama (A)	*Isc Max Backup*	Primer CT
1	R61MB2	6.6	13178	-	100
2	R61MB	6.6	10774	10605	750
3	R2AL23	6.6	10774	10605	1250
4	R2AL22	6.6	11935	10483	1000
5	RQ252	33	19832	1713	500

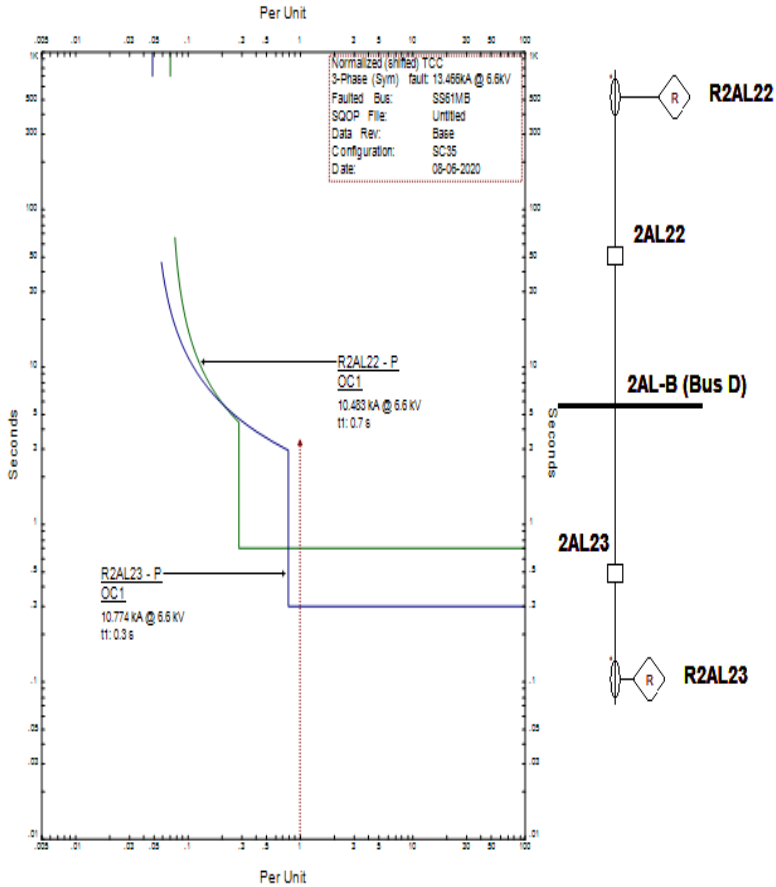
Setelah didapatkan data arus gangguan hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle,* maka dapat dilakukan simulasi kejadian hubung singkat untuk mendapatkan kurva *Time – Current Characteristic* (TCC) yang dapat menunjukkan skema koordinasi proteksi pada saat terjadi gangguan. Kurva TCC pada tipikal 1 dapat dilihat pada gambar dibawah :



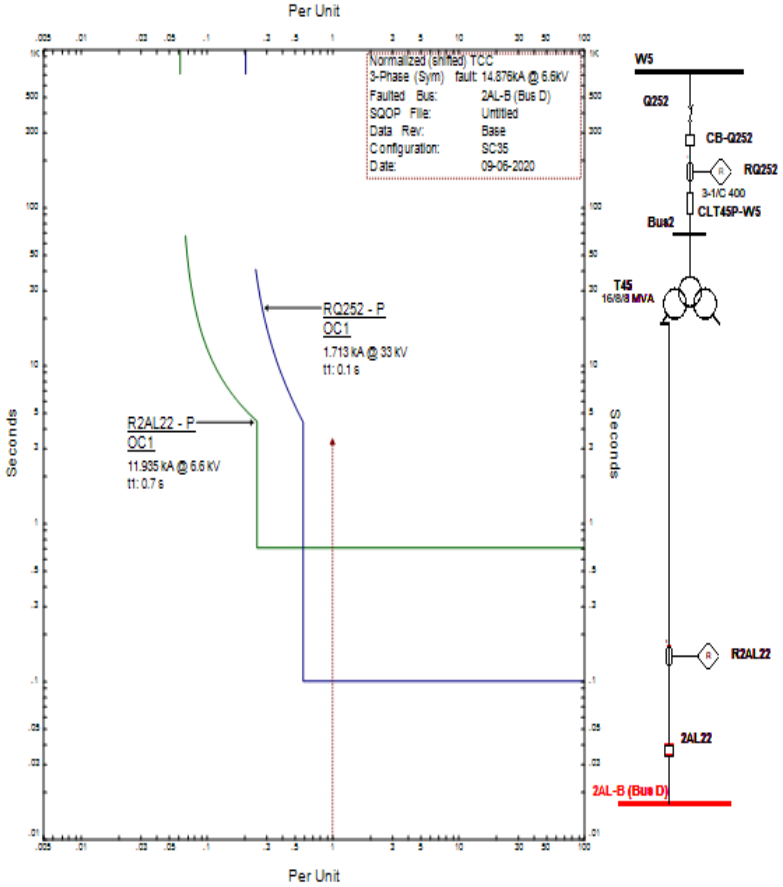
Gambar 4.4 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 *Cycle* pada Bus T61D-P



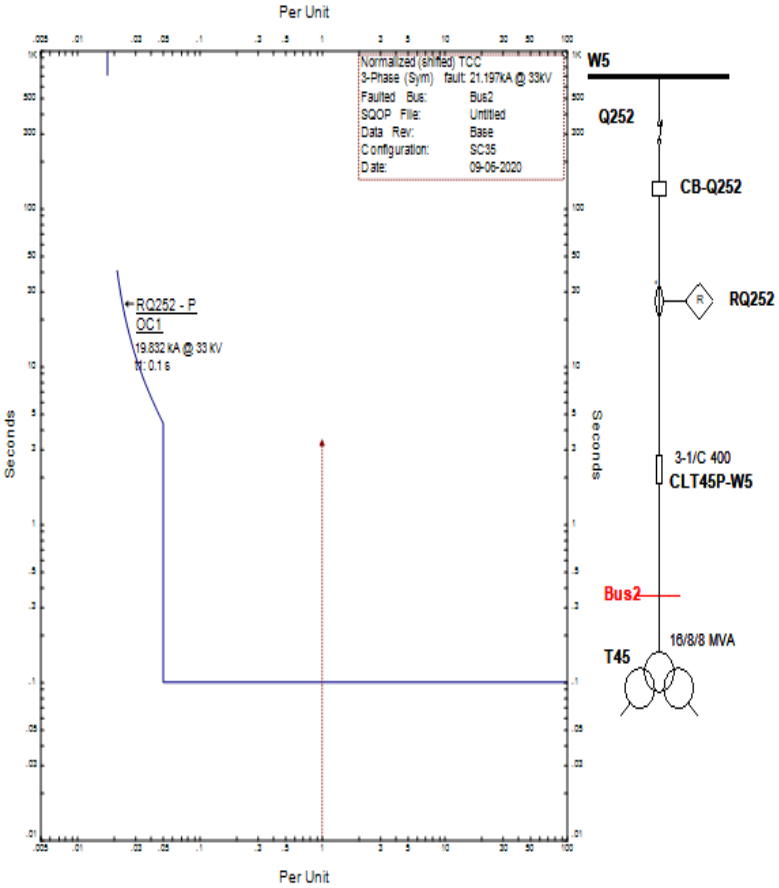
Gambar 4.5 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus SS61MB



Gambar 4.6 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus SS61MB



Gambar 4.7 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 2AL-B (Bus D)



Gambar 4.8 Tipikal 1 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 2

Dari hasil simulasi diatas, didapat waktu operasi rele pada tipikal 1 dengan bus – bus yang telah ditentukan sebelumnya. Data waktu operasi rele pada tipikal 1 dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.2 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus TF61-P

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	R61MB2	0,1	Rele Primer
2	R61MB	0,3	Rele *Backup*

Tabel 4.3 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus SS61MB

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	R61MB	0,3	Rele dalam 1 Feeder (bekerja bersamaan)
2	R2AL23	0,3	Rele dalam 1 Feeder (bekerja bersamaan)

Tabel 4.4 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus SS61MB

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	R2AL23	0,3	Rele Primer
2	R2AL22	0,7	Rele *Backup*

Tabel 4.5 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus 2AL-B

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	R2AL22	0,7	Rele Primer
2	RQ252	0,1	Rele *Backup*

Tabel 4.6 Data Waktu Operasi Tipikal 1 pada Bus 2

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	RQ252	0,1	Rele Primer

4.2.2 Data Proteksi Eksisting Tipikal 2

Pada tipikal 2, merupakan tipikal dengan beban terbesar pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan dengan besar 2286 kVA yang memiliki komposisi 80% *motor load* dan 20% *static load.* Tipikal ini dimulai dari beban L-SSIVB yang diberi rele proteksi arus lebih RNP31 dengan CT 400:5 A. rele ini tersambung ke bus 2HT dengan level tegangan 6.6 kV yang kemudian disambungkan ke rele proteksi arus lebih RNP33 dengan nilai CT 1000:1 A. Rele tersebut kemudian dihubungkan ke T12 yang merupakan trafo 3 belitan dengan rating 16/8/8 MVA dan dipasang rele proteksi arus lebih RQ222 dengan nilai CT 500:1 untuk melindungi trafo tiga belitan.

Setting koordinasi proteksi eksisting untuk ketiga rele pada tipikal 2 dijelaskan sebagaimana berikut :

RNP31

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 400/5 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Standard Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.945
I_P (ANSI 51)	: 378 A
TDS	: 0.275
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 20
I_P (ANSI 50)	: 8000 A
Delay	: 0.5 s

RNP33

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 122
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 1000/1 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Standard Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.75
I_P (ANSI 51)	: 750 A
TDS	: 0.2
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 3.1
I_P (ANSI 50)	: 3100 A
Delay	: 0.7 s

RNQ222

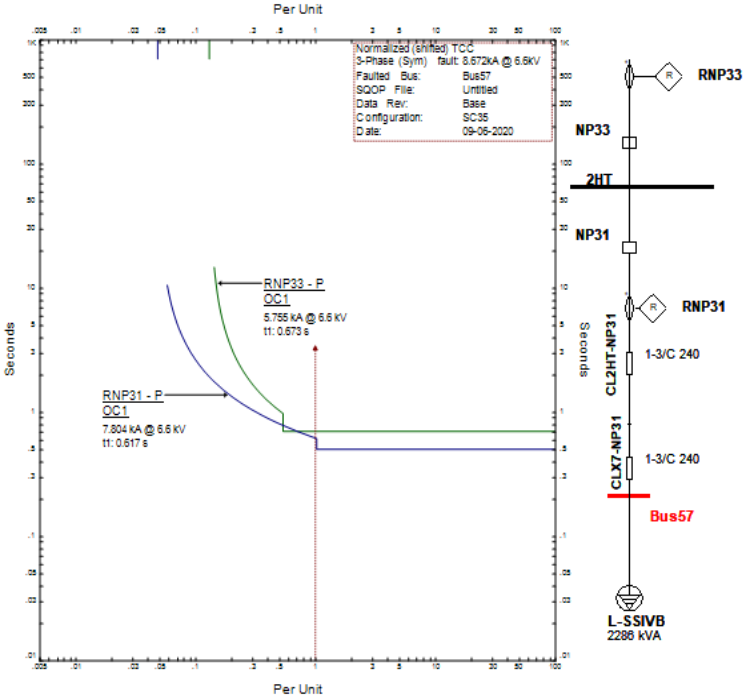
Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 33 kV
Rasio CT	: 500/1 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	:*Standard Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.7
I_P (ANSI 51)	: 350 A
TDS	: 0.7
Jenis Kurva (ANSI 50)	: *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50)	: 5
I_P (ANSI 50)	: 2500 A
Delay	: 0.2 s

Untuk data pasangan arus hubung singkat primer dan *backup* yang mengalir pada masing – masing rele dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

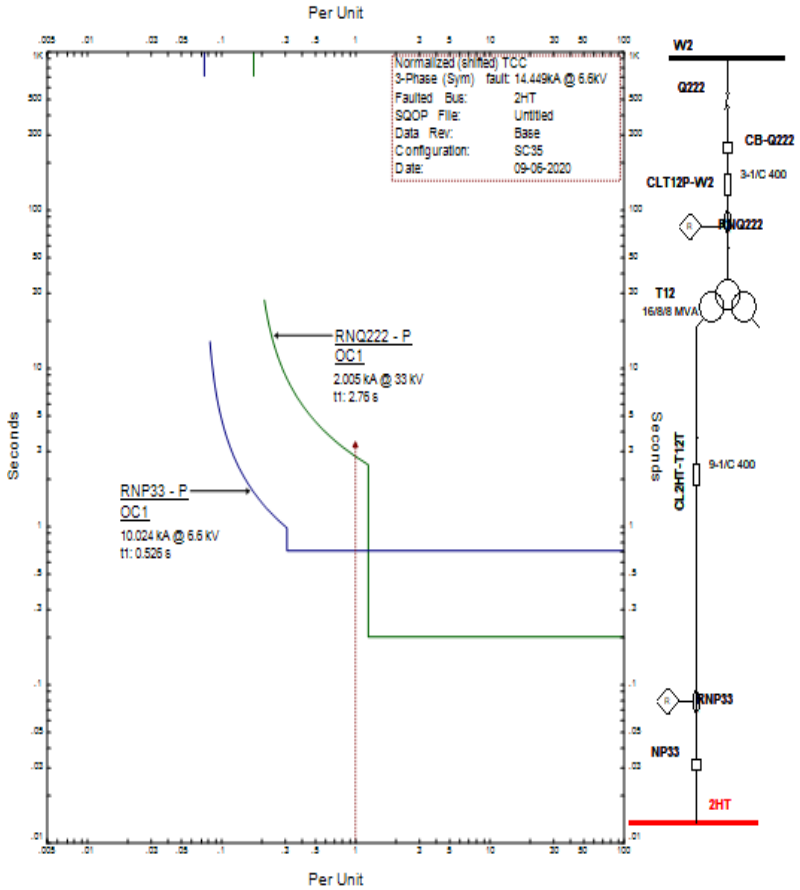
Tabel 4.7 Data Arus Hubung Singkat 0,5 *cycle* Tipikal 2

Nomor	*ID* Rele	Tegangan (kV)	*Isc Max* Utama (A)	*Isc Max Backup*	Primer CT
1	RNP38	6.6	7804	-	400
2	RNP33	6.6	10024	5755	1000
3	RQ222	33	20553	2005	500

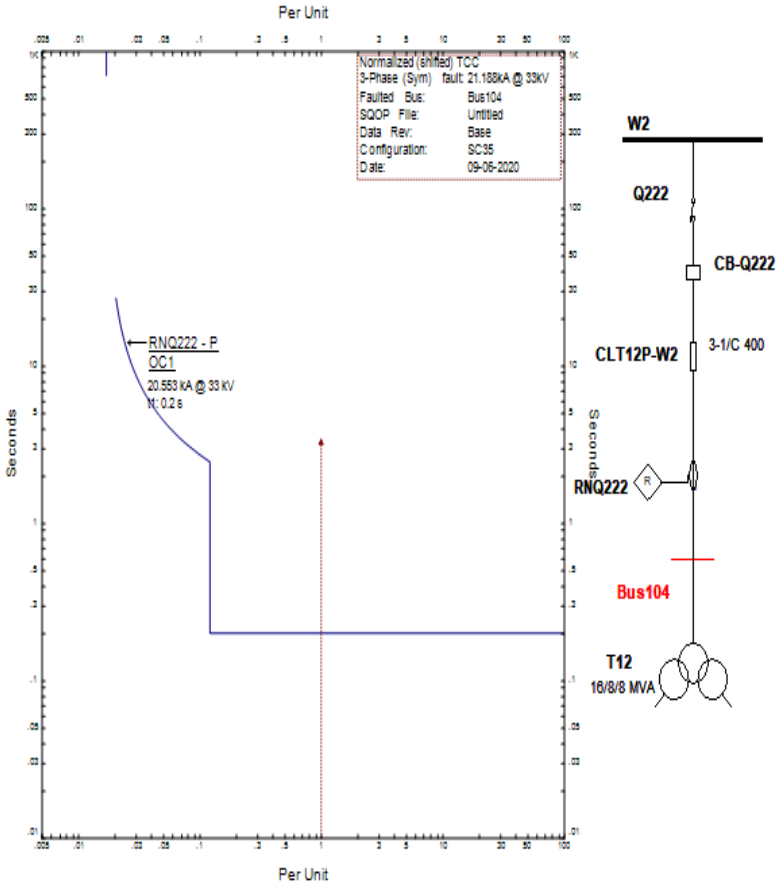
Setelah didapatkan data arus gangguan hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle,* maka dapat dilakukan simulasi kejadian hubung singkat untuk mendapatkan kurva *Time – Current Characteristic* (TCC) untuk mengetahui skema koordinasi pada tipikal ini. Kurva TCC pada tipikal 2 dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.9 Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 25



Gambar 4.10 Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 2HT



Gambar 4.11 Tipikal 2 Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle pada Bus 104

Dari data - data simulasi pada tipikal 2 diatas, maka dapat kita rangkum waktu operasi rele dari masing – masing sesuai dengan titik gangguan seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.8 Data Waktu Operasi Tipikal 2 pada Bus 25

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	RNP38	0,617	Rele Primer
2	RNP33	0,673	Rele *Backup*

Tabel 4.9 Data Waktu Operasi Tipikal 2 pada Bus 2HT

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	RNP33	0,526	Rele Primer
2	RQ222	2,76	Rele *Backup*

Tabel 4.10 Data Waktu Operasi Tipikal 2 pada Bus 104

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	RQ222	0,2	Rele Primer

4.2.3 Data Proteksi Eksisting Tipikal 3

Pada tipikal ini merupakan skema koordinasi proteksi dari beban menuju ke generator. Skema koordinasi dimulai dari beban MC-64LE yang merupakan beban *Lumped Load* dengan komposisi 90% *motor load* dan 10% *static load* dan bernilai 667 kVA. Beban ini terhubung ke TR64E dengan rating 1600 kVA dan diberi rele proteksi arus lebih R64MA3 dengan nilai CT 150:5 untuk melindungi baik trafo maupun beban di bawahnya. Rele ini kemudian tersambung pada Bus SS64MA dengan level tegangan 6.6 kV dan dipasang dua rele proteksi arus lebih yaitu R64MA dan R1AL17 dengan masing – masing nilai CT yaitu 600:1 A dan 1250:5 A. Kedua rele ini terhubung pada bus *Main Distribution* 1AL-B (Bus B0 dengan level tegangan 6.6 kV dan terhubung dengan *Steam Generator* STG 2-1 dengan rating 8.4 MW yang mempunyai rele proteksi arus lebih R1AL13 dengan CT 1000:5 untuk melindungi generator dari gangguan hubung singkat.

Setting koordinasi proteksi eksisting untuk keempat rele di tipikal 3 ini akan dijelaskan sebagaimana berikut :

Relay160

Manufacture	: ALSTOM
Model	: MiCOM P 142
Tegangan	: 6.6 kV
Rasio CT	: 75/5 A
Jenis Kurva (ANSI 51)	: *Very Inverse*
Tap CT (ANSI 51)	: 0.9867
I_P (ANSI 51)	: 148 A
TDS	: 0.23

Jenis Kurva (ANSI 50) : *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50) : 20
I_P (ANSI 50) : 3000 A
Delay : 0.1 s

R1AL13

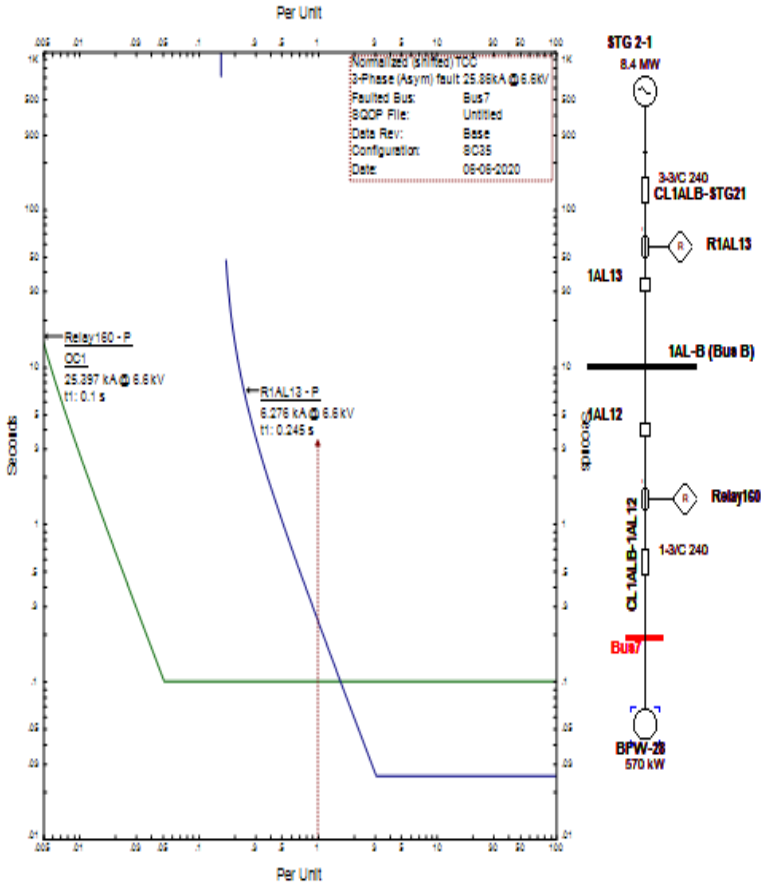
Manufacture : ALSTOM
Model : MiCOM P 343
Tegangan : 6.6 kV
Rasio CT : 1000/5 A
Jenis Kurva (ANSI 51) : *Very Inverse*
Tap CT (ANSI 51) : 1.1
I_P (ANSI 51) : 1100 A
TDS : 0.96
Jenis Kurva (ANSI 50) : *Definite Time*
Tap CT (ANSI 50) : 2
I_P (ANSI 50) : 2000 A
Delay : 0.9 s

Berikut disajikan data pasangan arus hubung singkat primer dan *backup* yang dirasakan masing – masing rele saat terjadi gangguan :

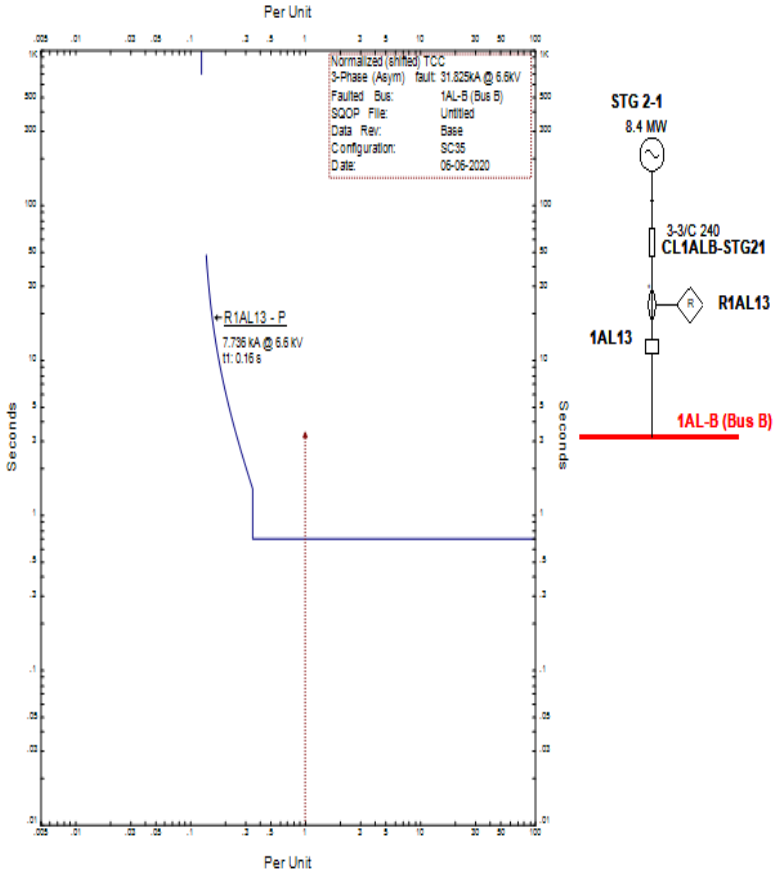
Tabel 4.11 Data Arus Hubung Singkat 0,5 *cycle* tipikal 3

Nomor	*ID* Rele	Tegangan (kV)	*Isc Max* Utama (A)	*Isc Max Backup*	Primer CT
1	Relay160	6.6	19230	-	75
2	R1AL13	6.6	5204	4752	1000

Setelah didapatkan data diatas, maka dilakukan simulasi kejadian hubung singkat untuk mendapatkan kurva *Time – Current Characteristic* (TCC) pada gambar berikut dibawah ini :



Gambar 4.12 Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa pada Bus7



Gambar 4.13 Tipikal 3 Hubung Singkat 3 Fasa pada Bus 1AL-B (Bus B)

Dari data – data simulasi diatas, dapat kita tuliskan waktu operasi masing – masing rele pada tipikal 3 saat terjadi gangguan pada titik yang telah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 4.12 Data Waktu Operasi Tipikal 3 pada Bus T64E-P

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	Relay 160	0,1	Rele Primer
2	R1AL13	0,245	Rele *Backup*

Tabel 4.13 Data Waktu Operasi Tipikal 3 pada Bus 1AL-B (Bus B)

No	Rele	Waktu Operasi (s)	Keterangan
1	R1AL13	0,7	Rele Primer

4.3 Perhitungan TDS dengan Algoritma *Numerical Computation*

Setelah melakukan rekap data proteksi koordinasi dari sistem kelistrikan eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan, data tersebut dapat kita jadikan acuan untuk melakukan *setting* proteksi menggunakan algoritma *Numerical Computation.* Diharapkan nilai dari *setting* proteksi menggunakan algoritma ini sesuai dengan kondisi eksisting yang ada ataupun dapat memperbaiki waktu operasi rele yang kurang sesuai pada kondisi eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan. Berikut disajikan paramater – parameter batasan tambahan yang sebelumnya telah dijelaskan pada Bab sebelumnya :

1. Input nilai – nilai yang dibutuhkan untuk perhitungan ini, yaitu jumlah rele yang akan di *setting,* nilai arus gangguan primer dan backup, nilai FLA, level tegangan rele dan nilai primer CT.
2. Manufaktur rele yang digunakan pada perhitungan ini mengacu pada kondisi eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan yang menggunakan manufaktur ALSTOM MiCOM dengan tipe P142, P220, P343. Karakteristik dari manufaktur telah dimasukkan kedalam perhitungan rele.
3. Nilai Tap CT dan TDS *Range* telah disesuaikan dengan manufaktur rele
4. Pembacaan *Saturated Point* telah disesuaikan dengan karakteristik manufaktur rele, sehingga ketika nilai dari arus gangguan melebihi batas pembacaan, dapat disesuaikan dengan fungsi *saturated point* masing – masing rele.
5. NIlai CTI yang digunakan pada perhitungan kali ini sebesar 0,2 detik untuk rele dengan level tegangan yang sama. Jika arus gangguan hubung singkat primer dan backup bernilai sama, maka CTI tidak berlaku.
6. Pada perhitungan menggunakan *Numerical Computation*, dimasukkan karakteristik manufaktur rele ABB SPAJ140C sebagai opsi manufaktur rele yang akan digunakan

4.3.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 dengan *Numerical Computation*

Untuk menjalankan perhitungan *Numerical Computation* pada tipikal 1, diberikan informasi dari tiap – tiap rele yang akan dilakukan perhitungan *setting* . Penamaan masing-masing rele pada tipikal 1 akan diubah menjadi Rele 1, Rele 2, Rele 3, Rele 4 dan Rele 5 agar dapat memudahkan penamaan rele dalam program perhitungan.

- R61MB2

Manufacture	: ALSTOM
ID Program	: Rele 1
Model	: MiCOM P142
Tegangan	: 6.6 kV
CT	: 100/5 A
Tap CT	: 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output	: CB61MB2 OPEN
Range TDS	: 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Long Time Inverse IEC Extremely Inverse

- R61MB

Manufacture	: ALSTOM
ID Program	: Rele 2
Model	: MiCOM P142
Tegangan	: 6.6 kV
CT	: 750/1 A
Tap CT	: 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output	: CB61MB OPEN
Range TDS	: 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Long Time Inverse IEC Extremely Inverse

- R2AL23

Manufacture	: ALSTOM
ID Program	: Rele 3
Model	: MiCOM P142
Tegangan	: 6.6 kV
CT	: 1250/1 A
Tap CT	: 0,08 ~ 4 dengan step 0,01

Output : 2AL23 OPEN
Range TDS : 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse
IEC Very Inverse
IEC Long Time Inverse
IEC Extremely Inverse

- R2AL22

Manufacture : ALSTOM
ID Program : Rele 4
Model : MiCOM P122
Tegangan : 6.6 kV
CT : 1000/1 A
Tap CT : 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output : 2AL22 OPEN
Range TDS : 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse
IEC Very Inverse
IEC Long Time Inverse
IEC Extremely Inverse

- RQ252

Manufacture : ALSTOM
ID Program : Rele 5
Model : MiCOM P142
Tegangan : 33 kV
CT : 500/1 A
Tap CT : 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output : CB-Q252 OPEN
Range TDS : 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse
IEC Very Inverse
IEC Long Time Inverse
IEC Extremely Inverse

Perhitungan dengan *Numerical Computation* dimulai dengan memasukkan input data yang diperlukan oleh prorgam seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.14 Input Data Tipikal 1

ID Rele	Isc Primer (A)	Isc *Backup* (A)	CT Primer Rele	FLA (A)	Level Tegangan Rele (kV)
Rele 1	13178	0	100	87.48	6.6
Rele 2	10774	10605	750	755.05	6.6
Rele 3	10774	10605	1250	755.05	6.6
Rele 4	11935	10483	1000	699.8	6.6
Rele 5	19832	1713	500	279.9	33

Saat program dijalankan, input data yang diperlukan untuk perhitungan ditulis pada *Command Window* program *Numerical Computation* seperti pada gambar dibawah ini:

```
Jumlah rele yang akan disetting :5
Arus gangguan primer Rele 1 sampai Rele ke 5 (A) :[13178 10774 10774 11935 19832]
Arus gangguan sekunder Rele 1 sampai Rele ke 5 (A) :[0 10605 10605 10483 1713]
Level tegangan Rele 1 sampai Rele ke 5 (kV) :[6.6 6.6 6.6 6.6 33]
Nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke 5 A :[87.48 755.05 755.05 699.8 279.9]
Nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke 5 A :[100 750 1250 1000 500]
```

Gambar 4.14 Tampilan Input Data Tipikal 1 Numerical Computation

Setelah data-data yang diperlukan untuk perhitungan pada program *Numerical Computation* telah dimasukkan, selanjutnya yaitu menentukan waktu operasi awal Rele 1 sesuai dengan acuan koordinasi eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan yaitu sebesar 0,1 detik. Program akan melakukan perhitungan waktu operasi dari empat jenis kurva pada ALSTOM MiCOM dan melakukan perbandingan dari hasil perhitungan tersebut, dimana nilai operasi yang digunakan merupakan nilai minimal waktu operasi dari keempat kurva *inverse*. Setelah didapatkan nilai terbaik di antara keempat jenis kurva, program akan menampilkan hasil *setting* Rele 1 yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 1 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : 1.1
Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : 1.05
Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : 0.10011  (s)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

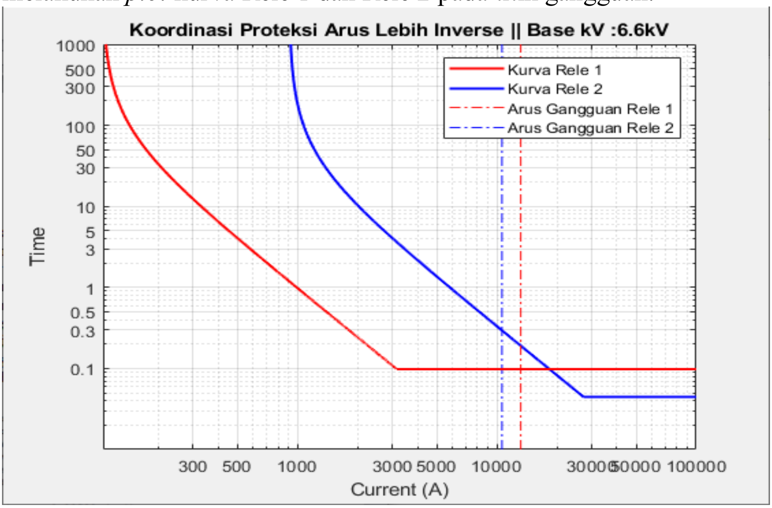
Gambar 4.15 Setting Rele 1 Tipikal 1

Sebelum melanjutkan untuk menghitung nilai *setting* Rele 2, program menemukan bahwa level tegangan dari Rele 2 sama dengan Rele 1, sehingga nilai CTI harus dimasukkan untuk menentukan *setting* Rele 2, dimana nilai CTI yang dimasukkan sebesar 0,2 detik. Setelah mendapatkan nilai CTI, program akan memulai perhitungan untuk *setting* rele 2 dengan mencari nilai minimal operasi dari tiap perhitungan jenis kurva *inverse.* Dari keempat perhitungan jenis kurva, didapatkan waktu operasi terbaik dari pilihan kurva *inverse* terbaik yaitu *Extremely Inverse.* Program selanjutnya akan menampilkan hasil *setting* Rele 2 yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 2 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.5
Nilai Tap CT Rele 2 yang harus disetting adalah : 1.21
Waktu Kerja Rele 2 adalah (s) :
Backup : 0.30982 detik        Primer : 0.28582 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Gambar 4.16 *Setting* Rele 2 Tipikal 1

Setelah didapatkan nilai *setting* dari Rele 2, program otomatis akan melakukan *plot* kurva Rele 1 dan Rele 2 pada titik gangguan.



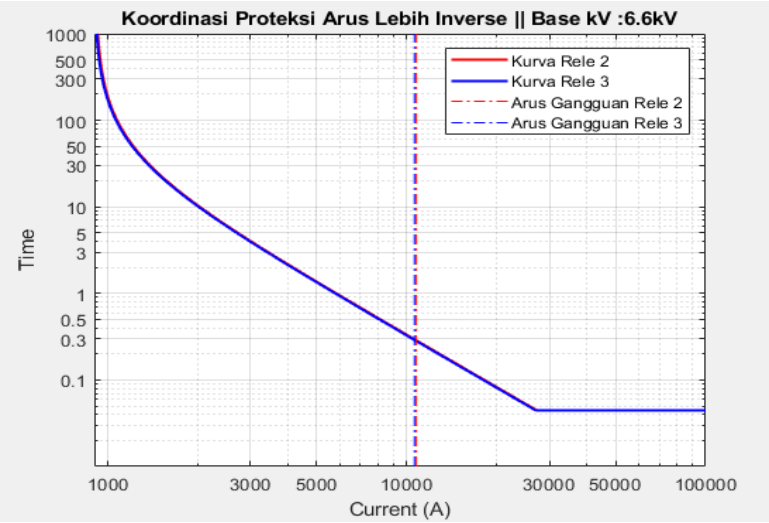
Gambar 4.17 Kurva Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 1

Pada *setting* Rele 3, level tegangan dari Rele 2 dan Rele 3 sama, namun nilai arus gangguan hubung singkat dari Rele 2 dan 3 memiliki nilai yang sama besar, sehingga nilai CTI tidak ditambahkan pada perhitungan Rele 3 dan nilai CTI bisa kita isi dengan nilai 0 detik. Program selanjutnya akan memulai perhitungan untuk mencari waktu operasi terbaik dari keempat jenis kurva *nverse*, dimana didaptkan hasil *setting* Rele 3 sebagai berikut :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 3 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.5
Nilai Tap CT Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.72
Waktu Kerja Rele 3 adalah (s) :
Backup : 0.29018 detik        Primer : 0.28108 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Gambar 4.18 *Setting* rele 3 Tipikal 1

Program selanjutnya akan otomatis membuat *plot* kurva Rele 2 dan Rele 3 pada titik gangguan.



Gambar 4.19 Kurva Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 1

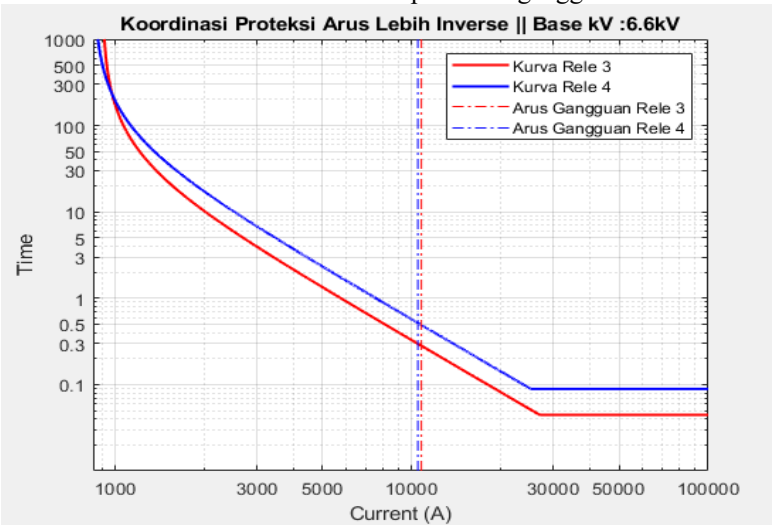
Pada perhitungan *setting* Rele 4, ditemukan pula level tagangan

yang sama dengan Rele 3, sehingga nilai CTI perlu diisi dengan nilai 0,2 detik. Program akan menampilkan hasil perhitungan dengan mencari nilai terbaik dari setiap jenis kurva *inverse*. *Setting* Rele 4 dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 4 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 4 yang harus disetting adalah : 1
Nilai Tap CT Rele 4 yang harus disetting adalah : 0.84
Waktu Kerja Rele 4 adalah (s) :
Backup : 0.49113 detik        Primer : 0.39825 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Gambar 4.20 *Setting* Rele 4 Tipikal 1

Setelah didapatkan nilai *setting* Rele 4, program akan membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 3 dan Rele 4 pada titik gangguan.



Gambar 4.21 Kurva Koordinasi Rele 3 dan 4 Tipikal 1

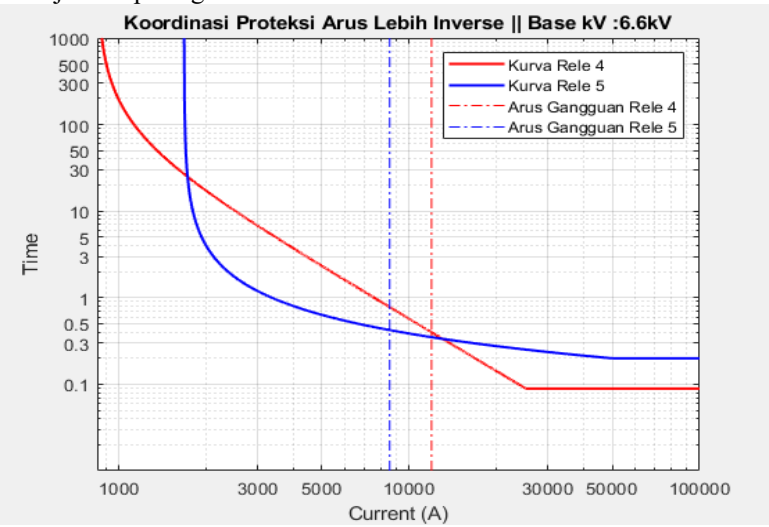
Pada perhitungan *setting* Rele 5, program mengevaluasi level tegangan antara Rele 4 dan Rele 5 dimana kedua rele tersebut berada pada level tegangan yang berbeda, sehingga nilai CTI diabaikan. Program akan membandingkan hasil perhitungan keempat jenis kurva

inverse untuk mendapatkan nilai terbaik dari keempat kurva tersebut. Program akan menampilkan *setting* Rele 5 :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 5 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 5 yang harus disetting adalah : 0.1
Nilai Tap CT Rele 5 yang harus disetting adalah : 0.67
Waktu Kerja Rele 5 adalah (s) :
Backup : 0.42199 detik        Primer : 0.19889 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

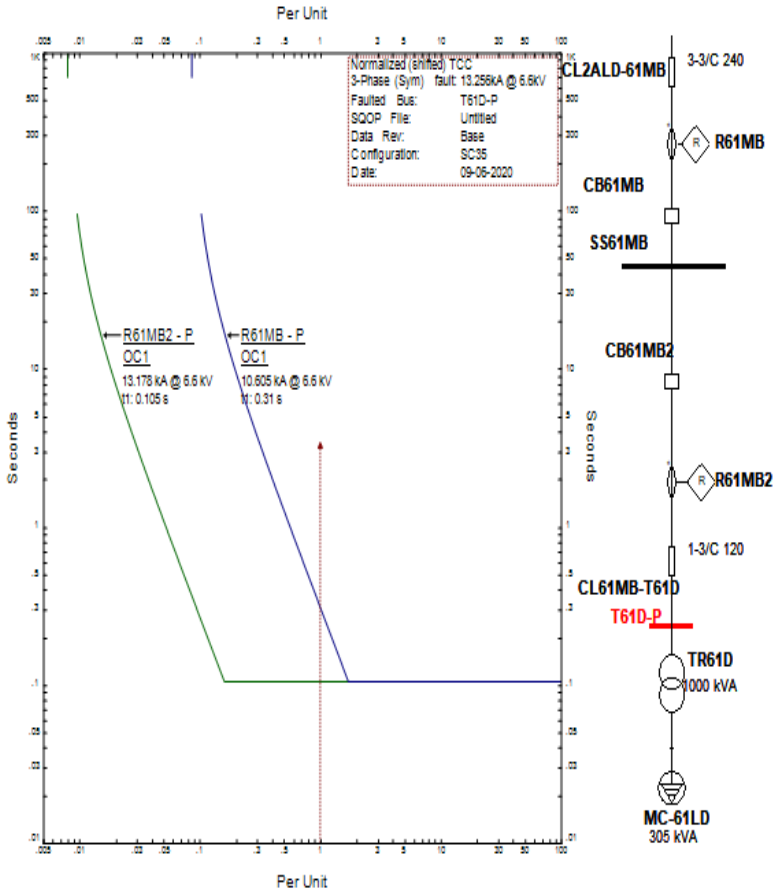
Gambar 4.22 *Setting* Rele 5 Tipikal 1

Setelah didapatkan *setting* Rele 5, program akan melakukan *plot* kurva koordinasi antara Rele 4 dan Rele 5 pada titik gangguan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

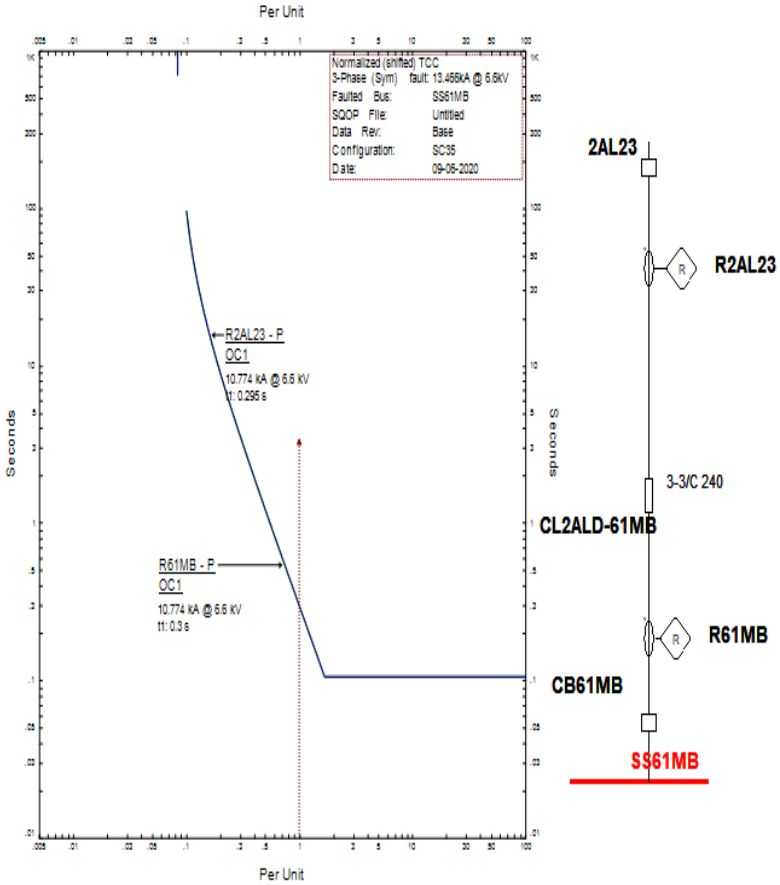


Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Rele 4 dan 5 Tipikal 1

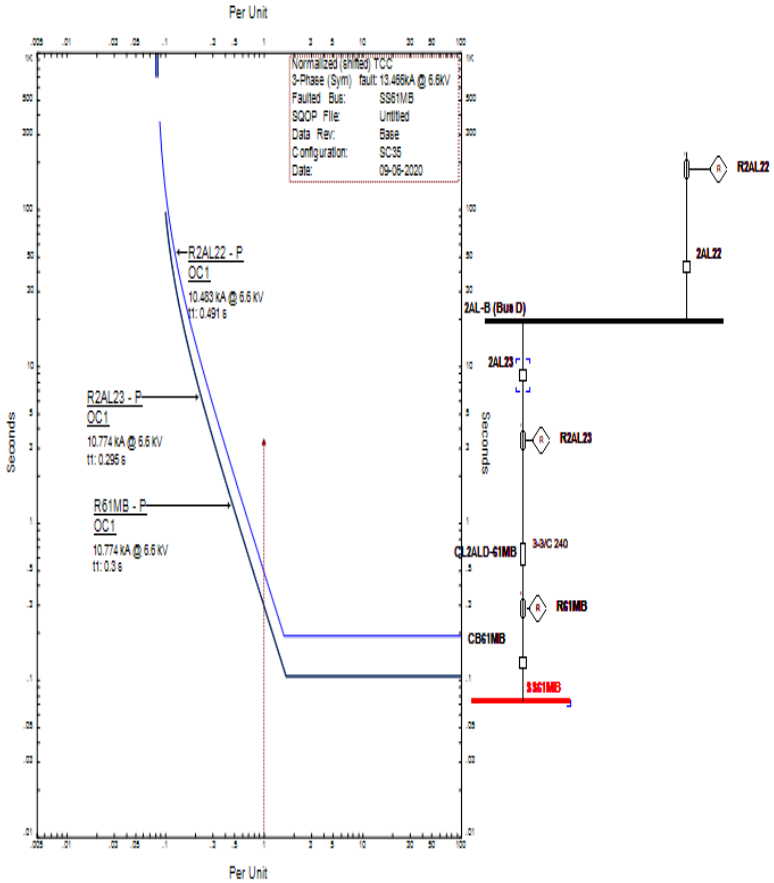
Setelah didapatkan nilai *setting* dari masing – masing rele, selanjutnya akan di simulasikan kedalam *software* ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan waktu operasi masing-masing rele, dengan kurva TCC yang ditampilkan sebagai berikut :



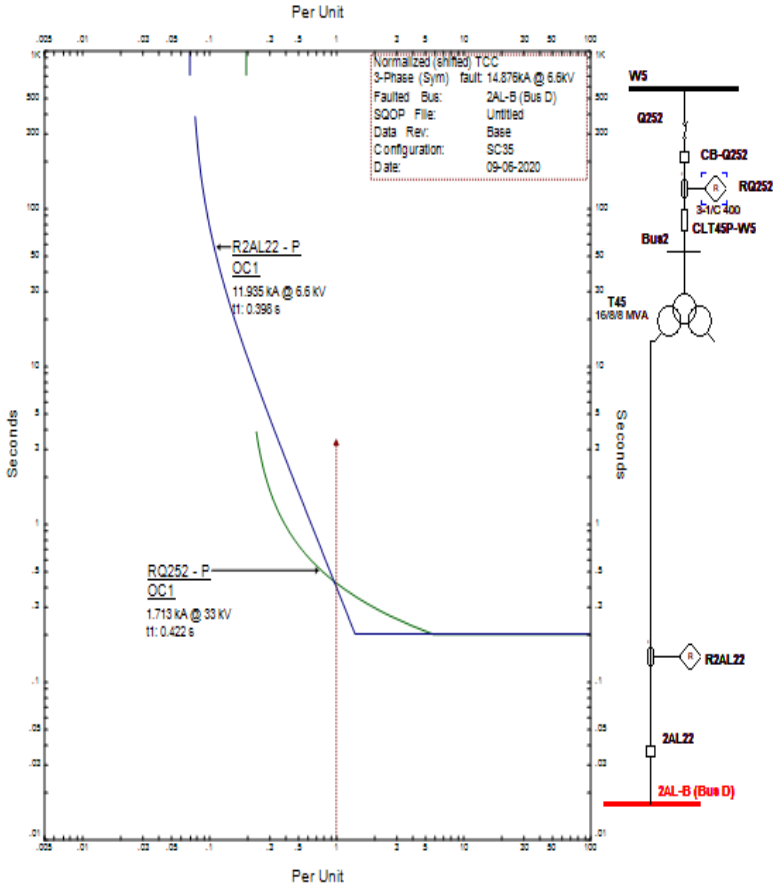
Gambar 4.24 Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 1



Gambar 4.25 Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 1



Gambar 4.26 Koordinasi Rele 2, 3 dan 4 Tipikal 1



Gambar 4.27 Koordinasi Rele 4 dan 5 Tipikal 1

Dari semua gambar kurva TCC yang telah di *plot* pada ETAP 12.6.0, terlihat bahwa semua rele terkoordinasi dan nilai CTI pada level tegangan yang sama telah diatur sesuai dengan kebutuhan.

4.3.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 dengan *Numerical Computation*

Dengan algoritma yang sama seperti perhitungan TDS Tipikal 1, program akan diberikan input data masing –masing rele yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan. Nama rele pada program

akan diubah menjadi Rele 1, Rele 2, Rele 3 dan Rele 4 agar dapat memudahkan penamaan rele dalam program perhitungan.

- RNP31

Manufacture	: ALSTOM
ID Program	: Rele 1
Model	: MiCOM P142
Tegangan	: 6.6 kV
CT	: 400/5 A
Tap CT	: 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output	: NP31 OPEN
Range TDS	: 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Long Time Inverse IEC Extremely Inverse

- RNP33

Manufacture	: ALSTOM
ID Program	: Rele 2
Model	: MiCOM P122
Tegangan	: 6.6 kV
CT	: 1000/1 A
Tap CT	: 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output	: NP33 OPEN
Range TDS	: 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse IEC Long Time Inverse IEC Extremely Inverse

- RNQ222

Manufacture	: ALSTOM
ID Program	: Rele 3
Model	: MiCOM P142
Tegangan	: 33 kV
CT	: 500/1 A
Tap CT	: 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output	: CB-Q222OPEN
Range TDS	: 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva	: IEC Standard Inverse IEC Very Inverse

IEC Long Time Inverse
IEC Extremely Inverse

Untuk input pada program *Numerical Computation* tipikal 2, diberikan data – data pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.15 Input Data Tipikal 2

ID Rele	**Isc Primer (A)**	**Isc *Backup* (A)**	**CT Primer Rele**	**FLA (A)**	**Level Tegangan Rele (kV)**
Rele 1	7804	0	400	200	6.6
Rele 2	10024	5755	1000	699.8	6.6
Rele 3	20553	2005	500	279.9	33

Dari data diatas, dapat dituliskan input data pada program *Numerical Computation* pada MATLAB seperti gambar dibawah ini :

```
Jumlah rele yang akan disetting :3
Arus gangguan primer Rele 1 sampai Rele ke 3 (A) :[7804 10024 20553]
Arus gangguan sekunder Rele 1 sampai Rele ke 3 (A) :[0 5755 2005]
Level tegangan Rele 1 sampai Rele ke 3 (kV) :[6.6 6.6 33]
Nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke 3 A :[200 699.8 279.9]
Nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke 3 A :[400 1000 500]
```

Gambar 4.28 Tampilan Input Data Tipikal 2 *Numerical Computation*

Untuk mendapatkan *setting* Rele 1, dibutuhkan waktu operasi awal rele yang diinginkan. Dari data eksisting yang diperoleh, waktu operasi awal Rele 1 yaitu 0,1 detik. Program kemudian akan melakukan inisiasi perhitungan sehingga didapat sebaran waktu operasi masing – masing jenis kurva. Program akan secara otomatis memilih nilai operasi dengan nilai terkecil dari keempat jenis kurva *inverse.* Sehingga *setting* Rele 1 dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 1 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : 1.1
Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.6
Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : 0.10011  (s)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

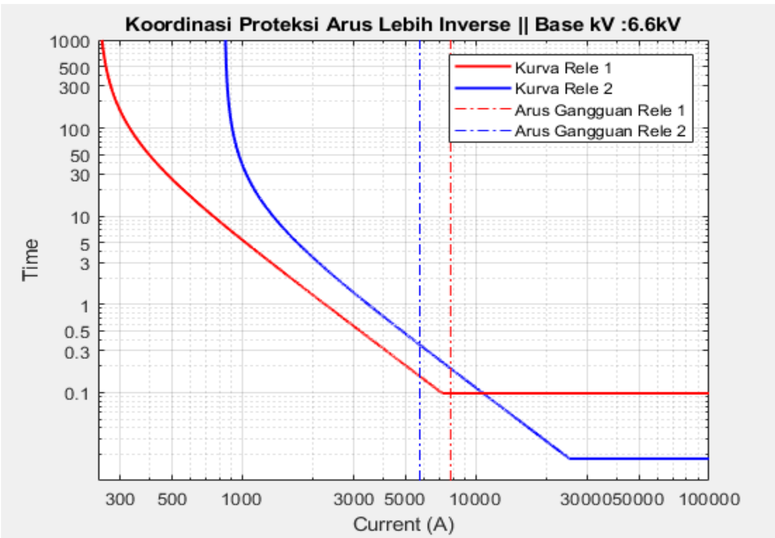
Gambar 4.29 *Setting* Rele 1 Tipikal 2

Pada *setting* Rele 2, program menemukan bahwa level tegangan Rele 1 dan Rele 2 sama besar, sehingga perlu ditambahkan nilai CTI sebesar 0,2 detik. Program kemudian akan mencari nilai minimum dari perhitungan keempat jenis kurva. Secara otomatis program akan membandingkan dan memilih nilai operasi terbaik dari kempat rele tersebut. *Setting Rele 2* ditunjukkan sebagai berikut :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 2 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.2
Nilai Tap CT Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.84
Waktu Kerja Rele 2 adalah (s) :
Backup : 0.30475 detik        Primer : 0.11315 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Gambar 4.30 *Setting* Rele 2 Tipikal 2

Program secara otomatis akan mengerjakan *plot* kurva koordinasi antara Rele 1 dan Rele 2 ketika nilai *setting* dari Rele 2 telah didapatkan.



Gambar 4.31 Kurva Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 2

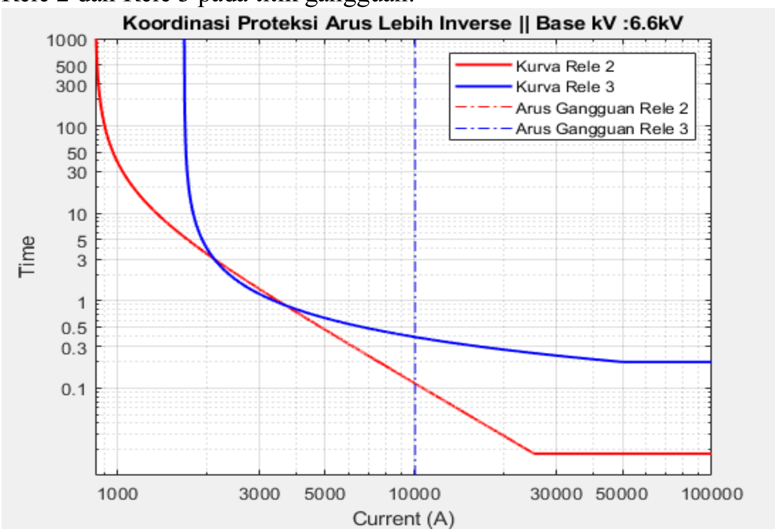
Setelah mendapatkan hasil *setting* Rele 2, program akan kembali

mengevaluasi level tegangan antara Rele 2 dan Rele 3, dimana level tegangan kedua rele ini berbeda, sehingga nilai CTI dapat diabaikan. Program akan melakukan inisiasi perhitungan dari keempat tipe kurva, dimana nantinya akan dipilih nilai terbaik dari keempat kurva *inverse*. Berikut disajikan hasil *setting* Rele 3 :

```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 3 = IEC Standard Inverse
Nilai TDS Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.1
Nilai Tap CT Rele 3 yang harus disetting adalah : 0.67
Waktu Kerja Rele 3 adalah (s) :
Backup : 0.2882 detik        Primer : 0.19889 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Gambar 4.32 *Setting* Rele 3 Tipikal 2

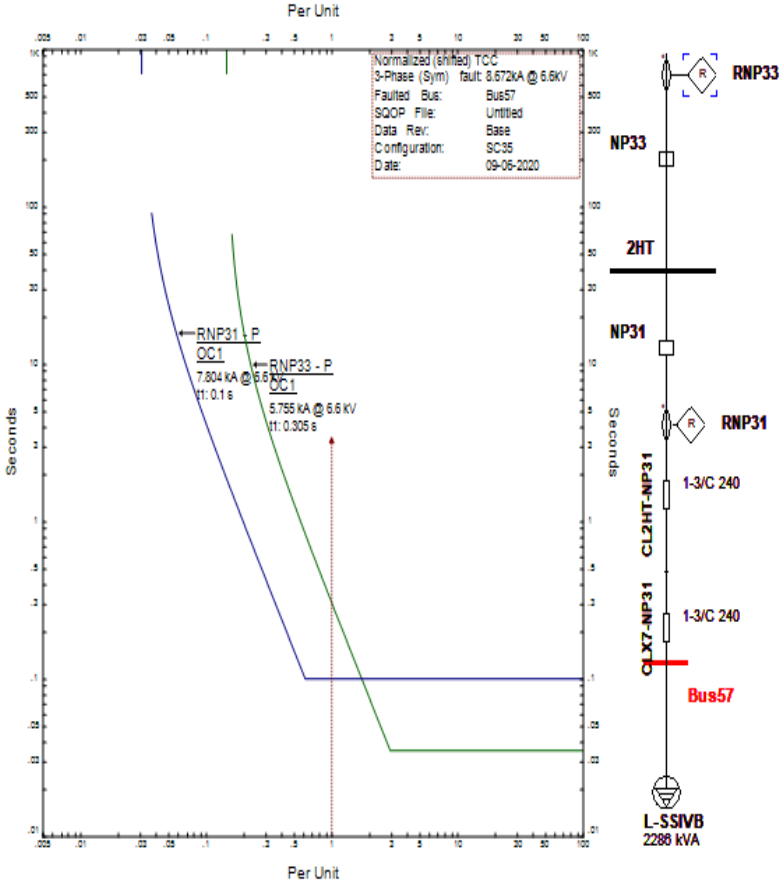
Selanjutnya program akan membuat *plot* kurva koordinasi antara Rele 2 dan Rele 3 pada titik gangguan.



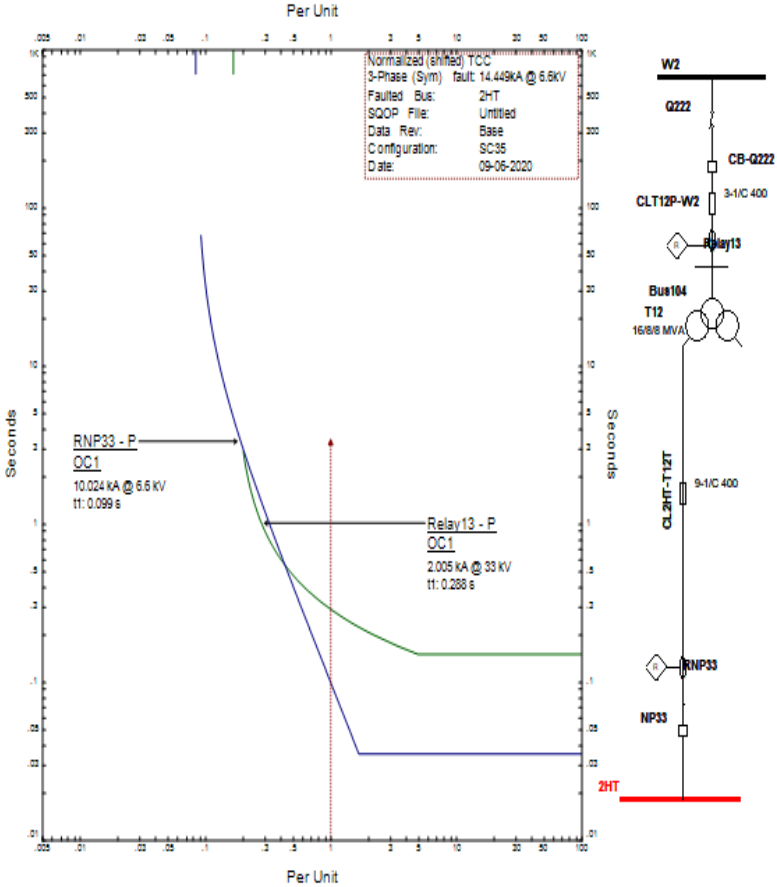
Gambar 4.33 Kurva Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 2

Setelah didapatkan nilai *setting* dari masing – masing rele,

selanjutnya akan di lakukan evaluasi melalui *software* ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan waktu operasi masing-masing rele, dengan kurva TCC yang ditampilkan sebagai berikut :



Gambar 4.34 Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 2



Gambar 4.35 Koordinasi Rele 2 dan 3 Tipikal 2

Setelah di *plot* hasil *setting* kedalam ETAP 12.6.0 dapat dilihat bahwa semua rele ter koordinasi dan CTI dengan level tegangan yang sama telah disesuaikan dengan kebutuhan (0,2 detik) serta rele dengan level tegangan yang berbeda dan dipisahkan oleh trafo terjadi *reset* waktu operasi.

4.3.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 dengan *Numerical Computation*

Sebelum perhitungan dengan *Numerical Computation* pada tipikal 3

dilakukan, diperlukan data masing – masing rele yang akan di*setting*dalam perhitungan koordinasi proteksi. Nama rele pada perhitungan nantinya akan diubah menjadi Rele 1 dan Rele 2 untuk memudahkan penamaan rele dalam program. Berikut disajikan data – data rele tipikal 3:

- Relay160

Manufacture : ALSTOM
ID Program : Rele 1
Model : MiCOM P142
Tegangan : 6.6 kV
CT : 75/5 A
Tap CT : 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output : CB 1AL12 OPEN
Range TDS : 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse
IEC Very Inverse
IEC Long Time Inverse
IEC Extremely Inverse

- R1AL13

Manufacture : ALSTOM
ID Program : Rele 2
Model : MiCOM P343
Tegangan : 6.6 kV
CT : 1000/1A
Tap CT : 0,08 ~ 4 dengan step 0,01
Output : CB 1AL13 OPEN
Range TDS : 0,025 ~ 1,2 dengan *step* 0,025
Pilihan Kurva : IEC Standard Inverse
IEC Very Inverse
IEC Long Time Inverse
IEC Extremely Inverse

Setelah diberikan input data dari rele yang akan di *setting*, data – data tersebut di rangkum kedalam tabel berikut :

Tabel 4.16 Input Data Tipikal 3

ID Rele	**Isc Primer (A)**	**Isc *Backup* (A)**	**CT Primer Rele**	**FLA (A)**	**Level Tegangan Rele (kV)**
Rele 1	19230	0	75	62	6,6
Rele 2	5204	4752	1000	918,5	6,6

Dari data diatas, dapat dituliskan input data pada program *Numerical Computation* yang tersaji pada data dibawah ini :

```
Jumlah rele yang akan disetting :2
Arus gangguan primer Rele 1 sampai Rele ke 2 (A) :[19230 5204]
Arus gangguan sekunder Rele 1 sampai Rele ke 2 (A) :[0 4752]
Level tegangan Rele 1 sampai Rele ke 2 (kV) :[6.6 6.6]
Nilai FLA Rele 1 sampai Rele ke 2 A :[62 918.5]
Nilai Primer CT Rele 1 sampai Rele ke 2 A :[75 1000]
```

Gambar 4.36 Tampilan Input Data Tipikal 3 *Numerical Computation*

Untuk menentukan *setting* Rele 1 tipikal 3, perlu dimasukkan waktu operasi awal rele. Sesuai data eksisting yang diperoleh, waktu operasi awal rele yang digunakan adalah 0,1 detik. Program akan melakukan inisiasi perhitungan terhadap empat jenis kurva yang akan menghasilkan sebaran waktu operasi tiap kurva. Dengan algoritma yang sama dengan perhitungan tipikal 1 dan 2, program akan memilih nilai operasi minimum dari keempat jenis kurva. *Setting* Rele 1 disajikan pada gambar berikut :

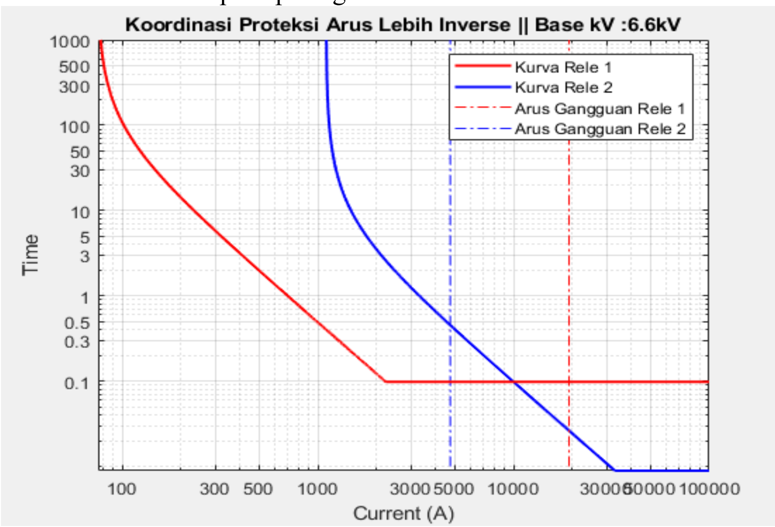
```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 1 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 1 yang harus disetting adalah : 1.1
Nilai Tap CT Rele 1 yang harus disetting adalah : 0.99
Waktu Kerja Rele 1 Sebagai Rele Primer : 0.10011  (s)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Gambar 4.37 *Setting* Rele 1 Tipikal 3

Setelah mendapatkan nilai *setting* Rele 1, program akan mengevaluasi level tegangan antara Rele 1 dan Rele 2, dimana level tegangan kedua rele tersebut sama, sehingga nilai CTI perlu diisi. Nilai CTI yang harus dimasukkan disesuaikan dengan acuan eksisting PT Pertamina RU V Balikpapan dimana Rele 2 harus bekerja pada 0,5 detik. Sehingga nilai CTI yang dimasukkan sebesar 0,335 detik. Program akan melakukan perhitungan yang sama dengan perhitungan Rele 1 untuk menemukan nilai minimum waktu operasi dari keempat jenis kurva. *Setting* Rele 2 dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

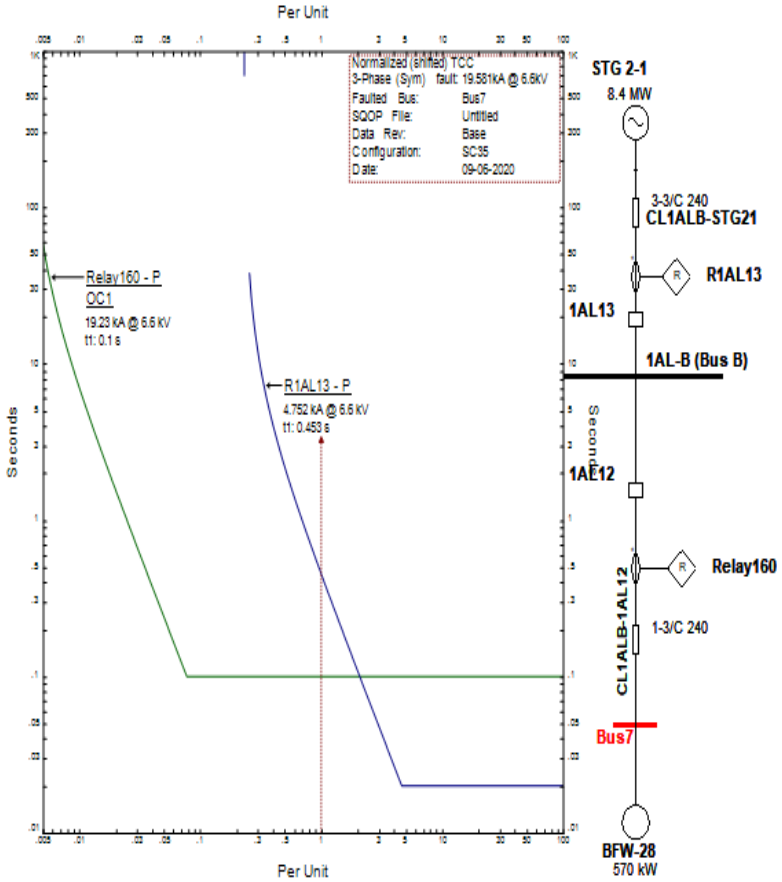
```
(1). ALSTOM MiCOM
(2). ABB SPAJ 140C
Pilih manufaktur rele yang digunakan :1
Masukkan nilai CTI yang diinginkan : 0.335
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Kurva Rele 2 = IEC Extremely Inverse
Nilai TDS Rele 2 yang harus disetting adalah : 0.1
Nilai Tap CT Rele 2 yang harus disetting adalah : 1.1
Waktu Kerja Rele 2 adalah (s) :
Backup : 0.45294 detik        Primer : 0.37416 detik
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```
Gambar 4.38 *Setting* Rele 2 Tipikal 2 *Numerical Computation*

Program akan otomatis mengerjakan *plot* kurva koordinasi antara Rele 1 dan Rele 2 seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.39 Kurva Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 3

Setelah didapatkan nilai *setting* dari masing – masing rele, selanjutnya akan di lakukan simulasi evaluasi waktu kerja kedalam *software* ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan waktu operasi masing-masing rele, dengan kurva TCC yang ditampilkan sebagai berikut :



Gambar 4.40 Koordinasi Rele 1 dan 2 Tipikal 3

Dari hasil *plot* kurva TCC diatas, dapat kita lihat bahwa rele telah terkoordinasi dengan baik dan CTI yang digunakan ketika berada di tegangan yang sama telah sesuai.

4.4 Analisa Hasil Perhitungan *Numerical Computation* dengan Kondisi Eksisting

Setelah didapatkan hasil data setting proteksi eksisting dan hasil setting menggunakan perhitungan *Numerical Computation* pada sub-bab sebelumnya, dapat dianilisis dan dibandingkan dari kedua *setting*

tersebut. Hasil dari kedua data tersebut disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.17 Perbandingan Waktu Operasi Tipikal 1

Lokasi Gangguan	Rele Operasi		*Numerical computation*	Eksisting
Bus T61D-P	R61MB2	t_{op} Primer (s)	0,100	0,100
	R61MB	t_{op} Backup (s)	0,309	0,300
	ΔT (CTI) (s)		0,209	0,200
Bus SS61MB	R61MB	t_{op} Primer (s)	0,286	0,300
	R2AL23	t_{op} Backup (s)	0,290	0,300
	ΔT (CTI) (s)		0,004	0
Bus SS61MB	R2AL23	t_{op} Primer (s)	0,281	0,300
	R2AL22	t_{op} Backup (s)	0,491	0,700
	ΔT (CTI) (s)		0,210	0,400
Bus 2AL-B (Bus D)	R2AL22	t_{op} Primer (s)	0,400	0,700
	RQ252	t_{op} Backup (s)	0,422	0,100
	ΔT (CTI) (s)		0,022	-0,600
Bus 2	RQ252	t_{op} Primer (s)	0,198	0,100

Pada *setting* Tipikal 1 dengan *Numerical Computation*, dapat dilihat bahwa hampir semua waktu operasi rele sudah mendekati nilai *setting* eksisting. Waktu operasi Rele 4 sebagai rele *backup* memiliki perbedaan, dimana pada *setting* eksisting waktu operasi rele *backup* adalah 0,7 detik. Hal ini dirasa terlalu lama dan akan merusak sistem jika memiliki interval terlalu jauh. Dengan program *Numerical Computation* didapatkan hasil waktu operasi Rele 4 sebagai rele *backup* yaitu 0,491 detik. Selain itu, koordinasi antar Rele 4 dan 5 saat terjadi gangguan pada Bus 2AL-B (Bus D) mengalami miskordinasi, dimana Rele 5 bekerja lebih dulu dari Rele 4. Program *Numerical Computation* mendapatkan hasil waktu operasi Rele 4

sebesar 0,400 detik dan Rele 5 sebesar 0,422 detik, dimana hal ini lebih memungkinkan untuk rele berkoordinasi dengan baik ketika terjadi gangguan pada Bus 2AL-B (Bus D).

Tabel 4.18 Perbandingan Waktu Operasi Tipikal 2

Lokasi Gangguan	Rele Operasi		*Numerical computation*	Eksisting
Bus 57	RNP31	t_{op} Primer (s)	0,100	0,617
	RNP33	t_{op} Backup (s)	0,305	0,673
	ΔT (CTI) (s)		0,205	0,056
Bus 2HT	RNP33	t_{op} Primer (s)	0,111	0,526
	RQ222	t_{op} Backup (s)	0,289	2,760
	ΔT (CTI) (s)		0,178	2,234
Bus 104	RQ222	t_{op} Primer (s)	0,198	0,200

Pada analisis perbandingan waktu operasi tipikal 2, waktu operasi eksisting Rele 1 dan Rele 2 bernilai 0,617 dan 0,673. Hal ini dirasa terlalu lama untuk sebuah rele beroperasi karena jika arus gangguan dibiarkan terlalu lama maka dapat merusak peralatan. Program *Numerical Computation* mendapatkan hasil waktu operasi 0,100 dan 0,305, dimana hal ini dirasa waktu operasi rele yang cocok karena Rele 1 sebagai rele primer bekerja dengan waktu 0,1 detik setelah terjadi gangguan dan di *backup* oleh Rele 2 dengan waktu operasi 0,3 detik. Hal serupa juga terjadi pada waktu operasi antara rele 2 dan Rele 3 dimana nilai CTI pada kondisi eksisting sangat besar. Menggunakan Program *Numerical Computation* didapatkan hasil CTI 0,178 detik dengan perubahan nilai waktu operasi dari 0,526 detik menjadi 0,111 detik pada Rele 2 dan 2,760 detik menjadi 0,289 detik pada Rele 3.

Tabel 4.19 Perbandingan Waktu Operasi Tipikal 3

Lokasi Gangguan	Rele Operasi		*Numerical computation*	Eksisting
Bus 7	Relay 160	t_{op} Primer (s)	0,100	0,1
	R1AL13	t_{op} Backup (s)	0,453	0,245
	ΔT (CTI) (s)		0,353	0,145
Bus 1AL-B(Bus B)	R1AL13	t_{op} Primer (s)	0,374	0,76

Pada Perbandingan waktu operasi tipikal 3, nilai eksisting dari Rele 2 saat menjadi rele backup bernilai 0,245 detik. Program Numerical Computation mendapatkan hasil 0,453 detik dimana hasil ini didapat karena CTI yang dimasukkan sebesar 0,335 agar dapat berkoordinasi dengan saluran yang lain. Pada Rele 2 saat menjadi rele primer bernilai 0,7 detik. Waktu operasi tersebut dirasa terlalu lama dan dapat mengakibatkan rusaknya generator. Menggunakan program Numerical Computation mendapatkan waktu operasi sebesar 0,374 detik, agar ketika terjadi gangguan pada Bus 1Al-B (Bus B) ,Rele 2 dapat langsung melindungi peralatan yang berada di sekitar area rele tersebut.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penilitian mengenai penentuan nilai TDS dan pemilihan kurva TCC pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Program berbasis Algoritma *Numerical Computation* dapat melakukan kalkulasi nilai Tap CT, nilai TDS dan pemilihan kurva secara sekaligus serta memperoleh hasil yang memuaskan, dimana hal ini menjadi tujuan utama yaitu mempermudah penentuan *setting* koordinasi proteksi pada PT Pertamina RU V Balikpapan
2. Program *Numerical Computation* memiliki beberapa kelebihan, diantaranya dapat menentukan *setting* waktu operasi minimal rele sesuai dengan karakteristik dan kemampuan rele serta mampu memperhitungkan nilaiCTI sesuai keinginan.
3. Nilai TDS dan Tap CT yang diperoleh dapat diaplikasikan pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan
4. Penggunaan rele arus lebih *inverse* dan rele arus lebih *instantaneous* pada *setting* proteksi akan menghasilkan nilai waktu operasi yang lebih baik.
5. Penggunaan program *Numerical Computation* dapat mengkoreksi waktu operasi rele yang ada pada masing – masing tipikal. Seperti contoh pada Tipikal 1 dimana waktu operasi Rele 4 sebagai rele *backup* memiliki perbedaan, pada *setting* eksisting waktu operasi rele *backup* adalah 0,7 detik. Hal ini dirasa terlalu lama dan akan merusak sistem jika memiliki interval terlalu jauh. Dengan program *Numerical Computation* didapatkan hasil waktu operasi Rele 4 sebagai rele *backup* yaitu 0,491 detik. Selain itu, koordinasi antar Rele 4 dan 5 saat terjadi gangguan pada Bus 2AL-B (Bus D) mengalami miskordinasi, dimana Rele 5 bekerja lebih dulu dari Rele 4. Program *Numerical Computation* mendapatkan hasil waktu operasi Rele 4 sebesar 0,400 detik dan Rele 5 sebesar 0,422 detik, dimana hal ini lebih memungkinkan untuk rele berkoordinasi dengan baik ketika terjadi gangguan pada Bus 2AL-B (Bus D).

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan serta analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Mempertimbangkan adanya nilai *starting motor, damage curve transformator* dan evaluasi perpotongan kurva.
2. Menambahkan perhitungan *setting* rele *instantaneous* agar dapat mengoptimalkan waktu kerja rele sehingga keandalan rele menjadi lebih baik
3. Menambah jenis manufaktur yang akan digunakan, sehingga dapat digunakan pada berbagai *plant* kelistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] G. Benmouyal *et al.*, “IEEE standard inverse-time characteristic equations for overcurrent relays,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 3, pp. 868–871, 1999, doi: 10.1109/61.772326.

[2] K. P. Brand and I. De Mesmaeker, *Power System Protection*. 2013.

[3] I. Kasikci, “Examples: Calculation of Short-Circuit Currents,” *Short Circuits Power Syst. A Pract. Guid. to IEC 60909-0*, no. 158, pp. 233–271, 2017.

[4] T. Bajanek and J. Orgasova, “Instantaneous and Definite Time Overcurrent Protection Algorithms,” no. 2, pp. 590–594.

[5] I. Aditya, " Otomatisasi Perhitungan *Time Dial Setting* & Pemilihan Kurva *Time-Current Characteristic* Proteksi Rele Arus Lebih *Inverse* Menggunakan *Numerical Computation* Pada Sistem Radial Pt Pupuk Kalimantan Timur," *J. Tek. ITS, 2018*.

[6] *Datasheet* “MiCOM P141, P142, P143, P144 & P145 Feeder Management Relay Technical Manual.” AREVA, 2009.

[7] *Datasheet* “MiCOM P342, P343, P344, P345, P346 & P391 Generator Protection Relay Technical Manual.” ALSTOM, 2010

[8] *Datasheet* “MiCOM P220/P225 Motor Protection Relays Technical Manual.” Schneider Electric, 2012.

[9] J. V. H. Sanderson, “IEEE Recommended Practice for Protection and Co-ordination of Industrial and Commercial Power Systems,” *Power Eng. J.*, 1989.

[10] W. Bober and A. Stevens, *Numerical and Analytical Methods with MATLAB® for electrical engineers*. 2016.

[11] V. R. Mahindhara and M. Pujiantara, “Optimasi Time Dial Setting (TDS) Relay Arus Lebih Menggunakan Adaptive Modified Firefly Algorithm Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur,” *J. Tek. ITS*, 2016.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS

Finola Pirade, lahir di Balikpapan, Kalimantan Timur pada 1 November 1998. Merupakan anak ketiga dari empat saudara kandung yang berasal pasangan suami istri Bapak Daniel Pirade dan Ibu Afrida Somba. Penulis lulus dari pendidikan di SDN 003 Balikpapan Selatan, SMPN 1 Balikpapan , SMAN 1 Balikpapan dan pada tahun 2016 melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya mengambil jurusan S1 Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai jenis kegiatan baik kegiatan kaderisasi hingga kegiatan sosial masyarakat. Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan seperti menjadi pengurus di HIMATEKTRO ITS sebagai staff Departemen Hubungan Luar (2017-2018) dan Wakil Ketua 2 (2018-2020). Penulis juga mengikuti berbagai macam kegiatan pengembangan *softskill* dan *hardskill*, mulai dari LKMM Pra-TD, LKMM TD dan LKMM TM hingga pelatihan ETAP. Penulis dapat dihubungi melalui finolapirade01@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan