

TUGAS AKHIR - EE 184801

Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi akibat Hubung Singkat pada Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Afif Al Asyad
NRP 07111640007002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi akibat Hubung Singkat pada Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Afif Al Asyad
NRP 07111640007002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - EE 184801

***Evaluation of Protection Coordination Failure
due to Short Circuit in PT Pertamina RU V
Balikpapan Electricity***

Afif Al Asyad
NRP 07111640007002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi akibat Hubung Singkat pada kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan (Evaluation of Protection Coordination Failure due to Short Circuit in PT Pertamina RU V Balikpapan electricity)**” 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



Afif Al Asyad
07111640007002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**EVALUASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI
AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA KELISTRIKAN PT
PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

**SURABAYA
Juli, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**EVALUASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI
AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA KELISTRIKAN PT
PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

TUGAS AKHIR

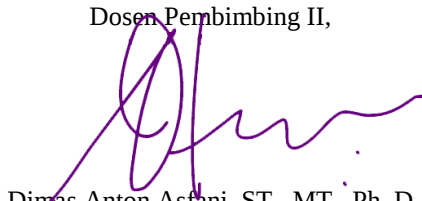
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II,



Dimas Anton Astani, ST., MT., Ph. D
NIP.198109052005011002

**SURABAYA
Juli, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUASI KEGAGALAN KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT HUBUNG SINGKAT PADA KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

Nama : Afif Al Asyad
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing II : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

PT. Pertamina RU 5 Balikpapan merupakan perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam industri pengolahan minyak, untuk menjaga kontinuitas sistem produksi dibutuhkan suatu sistem koordinasi proteksi yang cepat dan tepat. Pada tanggal 18 juli 2019, terjadi gangguan hubung singkat pada *substation* 73A di PT Pertamina RU 5 Balikpapan yang mengakibatkan 3 unit mengalami *shutdown* dikarenakan terjadi kesalahan koordinasi proteksi yang mengakibatkan penurunan tegangan dalam waktu yang singkat (*voltage sag*) pada beberapa *bus* utama (*main bus*), sehingga motor-motor yang disuplai oleh *bus* utama tersebut mengalami trip secara tiba tiba dan akhirnya mengganggu proses produksi. Berdasarkan problematika tersebut, maka dibutuhkanlah suatu evaluasi koordinasi proteksi pada sistem tersebut. Pada tugas akhir ini dilakukan analisa sistem koordinasi proteksi pada kelistrikan PT Pertamina RU 5 Balikpapan di sisi beban, sisi *ring bus*, dan sisi hubung singkat pada kasus yang terjadi. Hasil koordinasi proteksi ini difokuskan pada gangguan arus lebih, gangguan tanah, dan juga proteksi pada sisi *ring bus* yang menghubungkan *bus-bus* utama pada sistem

Kata kunci: Rele, Hubung Singkat, Koordinasi Proteksi

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION FAILURE DUE TO SHORT CIRCUIT IN PT PERTAMINA RU V BALIKPAPAN ELECTRICITY

Name : Afif Al Asyad
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

PT. Pertamina RU 5 Balikpapan is a Badan Usaha Milik Negara (BUMN) company engaged in the oil processing industry, to maintain the continuity of the production system requires a fast and precise protection coordination system. On July 18, 2019, there was a short circuit interruption on the 73A substation at PT Pertamina RU 5 Balikpapan which resulted in 3 units shutdown due to protection coordination errors that resulted in a short voltage drop (voltage sag) on several main buses, so the motorcycles supplied by the main bus trip and eventually disrupt the production process. Based on these problems, an evaluation of the coordination of protection in the system is needed. In this final project, an analysis of the protection coordination system on the PT Pertamina RU 5 Balikpapan electricity system on the load side, the bus ring side, and the short circuit side in the case occurred. The results of this protection coordination are focused on overcurrent disturbance, ground disturbance, and also protection on the side of the ring bus that connects the main buses to the system

Keywords: Relay, Short Circuit, Protection Coordination

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

“Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi akibat Hubung Singkat pada kelistrikan PT Pertamina RU 5 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 (FTEIC), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT atas limpahan karunia-Nya, dan memberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ucu Sihabudin dan Ibu Elin Herlina yang selalu memberikan doa serta dukungan tanpa henti.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
5. Rekan-rekan CSSMoRA ITS atas dukungan dan kebersamaannya.
6. Teman-teman seperjuangan angkatan e56 atas dukungan dan kerja samanya selama masa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir ini
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat kesalahan pada penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penelitian yang akan datang.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK i

ABSTRACT iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR GAMBAR..... xi

DAFTAR TABEL xv

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah..... 2

1.2 Batasan Masalah 2

1.3 Tujuan 2

1.4 Metodologi..... 2

1.5 Sistematika Penulisan..... 3

1.5 Relevansi 4

BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM INDSUTRI 5

2.1 Gangguan pada Sistem Kelistrikan Industri 5

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit) 5

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat Simeri 6

2.1.3 Gangguan Hubung Singkat Asimetri..... 6

2.1.4 Gangguan Beban Lebih (Overload)..... 6

2.2 Arus Hubung Singkat (Short Circuit) 6

2.2.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah..... 6

2.2.2 Hubung Singkat Antar Fasa 7

2.2.3 Hubung Singkat Tiga Fasa 7

2.3 Rele dan Koordinasi Proteksi Rele 8

2.3.1 Rele Sistem Industri 8

2.3.2 Koordinasi Proteksi 12

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V	
BALIKPAPAN.....	13
3.1 PT Pertamina RU V Balikpapan.....	13
3.2 Distribusi PT Pertamina RU V Balikpapan	13
3.4 Sistem Proteksi PT Pertamina RU V Balikpapan pada tanggal 18 juli 2019	16
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN <i>SETTING</i> RELE PROTEKSI	
PADA PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN	21
4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi.....	21
4.1.1 Tipikal koordinasi rele arus lebih gangguan fasa	21
4.1.2 Tipikal koordinasi rele gangguan tanah	21
4.1.3 Tipikal koordinasi rele diferensial	22
4.2 Arus Hubung Singkat	22
4.2.1 Arus Hubung Singkat untuk Koordinasi Rele Arus lebih.....	23
4.2.2 Arus Hubung Singkat untuk Koordinasi Rele Diferensial.....	25
4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	25
4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	25
4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	31
4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	37
4.3.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	44
4.4 Koordinasi Rele Gangguan Tanah	51
4.4.1 Koordinasi Rele Gangguan Tanah Tipikal 1	51
4.4.2 Koordinasi Rele Gangguan Tanah Tipikal 2	56
4.5 Koordinasi Rele Diferensial	61
4.5.1 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 1	62
4.5.2 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 2	71
4.5.3 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 3	82
4.5.4 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 4	93
4.5.5 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 5	104
4.6 Rangkuman <i>Setting</i> Koordinasi Rele.....	115
BAB 5 PENUTUP	119
5.1 Kesimpulan	119

5.2 Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN.....	123
BIODATA PENULIS.....	133

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Rele Diferensial saat kondisi normal	11
Gambar 2. 2	Rele Diferensial saat terjadi gangguan.....	11
Gambar 3. 2	Fakta-Fakta yang ditemukan pada SS73A	19
Gambar 4. 1	Single Line Diagram (SLD) tipikal 1 rele arus lebih gangguan fasa.....	26
Gambar 4. 2	TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1 saat terjadi gangguan di SS 73A.....	31
Gambar 4. 3	Single Line Diagram (SLD) tipikal 2 rele arus lebih gangguan fasa.....	32
Gambar 4. 4	TCC <i>setting</i> rele arus lebih gangguan fasa tipikal 236	
Gambar 4. 5	TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2 ketika terjadi gangguan pada motor GM-2-02A 6.6 kV	37
Gambar 4. 6	<i>Single Line Diagram</i> (SLD) tipikal 3 rele arus lebih gangguan fasa.....	38
Gambar 4. 7	TCC <i>setting</i> rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3	43
Gambar 4. 8	TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 ketika terjadi gangguan pada Bus 2AL-A	43
Gambar 4. 9	TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 ketika terjadi gangguan pada sisi sekunder Trafo T23.....	44
Gambar 4. 10	Single Line Diagram (SLD) tipikal 4 rele arus lebih gangguan fasa.....	45
Gambar 4. 11	TCC <i>setting</i> rele arus lebih gangguan fasa tipikal 4	50
Gambar 4. 12	TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 4 ketika gangguan pada Bus 1AL-B	50
Gambar 4. 13	TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 4 ketika terjadi gangguan pada sisi sekunder Trafo 45	51
Gambar 4. 14	<i>Single Line Diagram</i> (SLD) tipikal 1 rele gangguan tanah.....	52
Gambar 4. 15	TCC rele gangguan tanah tipikal 1 ketika gangguan di SS73A	55

Gambar 4. 16	TCC rele gangguan tanah tipikal 1 ketika terjadi gangguan pada sisi sekunder Trafo T45	56
Gambar 4. 17	<i>Single Line Diagram</i> (SLD) tipikal 2 rele gangguan tanah.....	57
Gambar 4. 18	TCC rele gangguan tanah tipikal 2 ketika terjadi gangguan di motor GM 2-02A.....	60
Gambar 4. 19	TCC rele gangguan tanah tipikal 2 ketika gangguan pada sisi sekunder trafo T45	61
Gambar 4. 20	Skema Rele Diferensial Tipikal 1	62
Gambar 4. 21	Skema Rele Diferensial Tipikal 1 saat kondisi normal	63
Gambar 4. 22	Skema Rele Diferensial Tipikal 1 saat terjadi gangguan eksternal L-L di <i>Bus W2</i>	64
Gambar 4. 23	Skema Rele Diferensial Tipikal 1 ketika terjadi gangguan eksternal L-L di <i>Bus W5</i>	65
Gambar 4. 24	Skema Rele Diferensial Tipikal 1 ketika terjadi gangguan eksternal tiga fasa di <i>Bus W2</i>	66
Gambar 4. 25	Skema Rele Diferensial Tipikal 1 ketika terjadi gangguan eksternal tiga fasa di <i>Bus W5</i>	67
Gambar 4. 26	Skema Rele Diferensial Tipikal 1 ketika terjadi gangguan internal L-L di <i>Bus W1</i>	68
Gambar 4. 27	Skema Rele diferensial tipikal 1 ketika terjadi gangguan internal tiga fasa di <i>Bus W1</i>	69
Gambar 4. 28	kurva karakteristik rele diferensial tipikal 1	70
Gambar 4. 29	Skema Rele Diferensial Tipikal 2	71
Gambar 4. 30	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat kondisi normal	72
Gambar 4. 31	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan L-L di sisi Sekunder Trafo T12	73
Gambar 4. 32	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W1</i>	74
Gambar 4. 33	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W3</i>	75
Gambar 4. 34	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal 3 fasa pada sisi sekunder Trafo T12.....	76

Gambar 4. 35	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W1</i>	77
Gambar 4. 36	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W3</i>	78
Gambar 4. 37	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan internal L-L di <i>Bus W2</i>	79
Gambar 4. 38	Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan internal tiga fasa di <i>Bus W2</i>	80
Gambar 4. 39	Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 2	81
Gambar 4. 40	Skema Rele Diferensial Tipikal	82
Gambar 4. 41	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat kondisi normal	83
Gambar 4. 42	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada Trafo T23	84
Gambar 4. 43	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W2</i>	85
Gambar 4. 44	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W3</i>	86
Gambar 4. 45	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada sisi sekunder Trafo T23	87
Gambar 4. 46	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W2</i>	88
Gambar 4. 47	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W4</i>	89
Gambar 4. 48	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan internal L-L pada <i>Bus W3</i>	90
Gambar 4. 49	Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan internal tiga fasa pada <i>Bus W3</i>	91
Gambar 4. 50	Kurva karakteristik Rele Diferensial Tipikal 3	93
Gambar 4. 51	Skema Rele Diferensial Tipikal 4	94
Gambar 4. 52	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat kondisi normal	94
Gambar 4. 53	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W3</i>	95

Gambar 4. 54	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal L-L pada sisi primer Trafo T34	96
Gambar 4. 55	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W5</i>	97
Gambar 4. 56	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W4</i>	98
Gambar 4. 57	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal tiga fasa pada sisi primer Trafo T34	99
Gambar 4. 58	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W5</i>	100
Gambar 4. 59	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan internal L-L pada <i>Bus W4</i>	101
Gambar 4. 60	Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan internal tiga fasa pada <i>Bus W4</i>	102
Gambar 4. 61	Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 4	103
Gambar 4. 62	Skema Rele Diferensial Tipikal 5	104
Gambar 4. 63	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat kondisi normal	105
Gambar 4. 64	Skema Rele Diferensial saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W1</i>	106
Gambar 4. 65	Skema Rele Diferensial saat terjadi gangguan eksternal L-L pada <i>Bus W4</i>	107
Gambar 4. 66	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada sisi primer Trafo T45	108
Gambar 4. 67	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W1</i>	109
Gambar 4. 68	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada <i>Bus W4</i>	110
Gambar 4. 69	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat gangguan eksternal tiga fasa sisi primer Trafo T45	111
Gambar 4. 70	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat gangguan internal L-L pada <i>Bus W5</i>	112
Gambar 4. 71	Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat gangguan internal tiga fasa pada <i>Bus W5</i>	113
Gambar 4. 72	Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 5 ...	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Jenis-Jenis Rele Proteksi Arus Lebih	9
Tabel 2. 2	<i>Coordination Time Interval</i> (CTI).....	12
Tabel 3. 1	Data Trafo Distribusi PT Pertamina RU V Balikpapan.....	14
Tabel 3. 2	Pembebanan Pada <i>Bus</i> Utama	15
Tabel 3. 3	Kapasitas Pembangkitan Generator di PT Pertamina RU V Balikpapan.....	15
Tabel 3. 4	Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di HCU A dan HCU B.....	19
Tabel 3. 5	Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di NHT PLF.....	20
Tabel 3. 6	Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di HVU II dan <i>Com Fac</i>	20
Tabel 4. 1	Tipikal koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa	21
Tabel 4. 2	Tipikal koordinasi rele gangguan tanah	22
Tabel 4. 3	Tipikal koordinasi rele diferensial	22
Tabel 4. 4	Arus Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i>	23
Tabel 4. 5	Arus Hubung singkat Maksimum 30 <i>cycle</i>	24
Tabel 4. 6	Arus Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i>	24
Tabel 4. 7	Rangkuman setting Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	115
Tabel 4. 8	Rangkuman setting Rele Gangguan Tanah	117
Tabel 4. 9	Rangkuman <i>setting</i> Rele Diferensial	118

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan industri merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses produksi, suatu industri dikatakan baik ketika kontinuitas proses produksi terjaga dengan baik. Untuk menjaga kontinuitas produksi dibutuhkan suplai listrik yang kontinyu. Kontinuitas listrik dapat dicapai dengan sistem proteksi yang handal, bisa melokalisasi gangguan ketika terjadi dengan cepat dan tepat.

Sistem proteksi kelistrikan industri harus memiliki kemampuan yang cepat dan tepat agar dapat mengisolasi gangguan yang muncul seketika pada sistem. Agar isolasi dapat tercapai, sistem proteksi harus bisa mendeteksi gangguan yang sekecil mungkin secara selektif dan dapat mengisolasi gangguan yang terjadi tepat dekat lokasi gangguan [1]. sistem proteksi yang terkoordinasi akan meminimalkan waktu untuk mengatasi gangguan sehingga melindungi peralatan sistem lebih cepat. Gangguan yang terjadi pada sistem bisa disebabkan kesalahan pengoperasian, kerusakan peralatan, *lifetime* peralatan yang sudah terlewati maupun faktor-faktor dari luar sistem. Rele yang digunakan pada sistem proteksi diantaranya rele diferensial, rele gangguan tanah dan rele arus lebih. Untuk mengatur parameter rele rele tersebut harus mempertimbangkan arus ketika kondisi normal dan arus ketika terjadi gangguan. Pada rele arus lebih dan rele gangguan tanah, parameter yang bisa diperhatikan adalah *time delay*, *time dial*, dan arus *pickup*. Adapun untuk rele diferensial parameter yang dapat diatur untuk melindungi peralatan adalah *slope* dan arus diferensial.

PT. Pertamina RU 5 Balikpapan merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam bidang pengolahan minyak dan gas bumi. Sebagai industri, proteksi koordinasi sangat dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas sistem produksi. Pada tanggal 18 Juli 2019 terjadi gangguan hubung singkat pada salah satu bus (*substationi*) yang membuat beberapa Bus mengalami *drop voltage* karena kesalahan koordinasi proteksi yang mengakibatkan beberapa motor mengalami *trip* secara tiba-tiba dan mematikan 3 unit, adapun ketiga unit tersebut antara lain Unit HCU, NHT-PLF, dan HVU ComFac. Proses produksi industri akan berhenti ketika *voltage sag* mencapai 65% [2]. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai sistem koordinasi proteksi

pada kelistrikan PT. Pertamina RU 5 Balikpapan dan mencari koordinasi proteksi yang terjadi karena gangguan hubung singkat yang sudah terjadi yang membuat beberapa unit mengalami *shutdown*.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Bagaimana kondisi kelistrikan PT Pertamina RU 5 Balikpapan pada tanggal 18 Juli 2019?
2. Bagaimana sistem koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah, dan rele diferensial pada sistem kelistrikan industri PT. Pertamina RU 5 Balikpapan untuk mengatasi gangguan yang terjadi?

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan :

1. Rele pengaman yang digunakan terfokus pada rele arus lebih, rele gangguan tanah, dan rele diferensial
2. Tempat Pengambilan data adalah di PT. Pertamina RU V Balikpapan dan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi E-TAP

1.3 Tujuan

Adapun Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pemodelan sistem kelistrikan PT. Pertamina RU 5 Balikpapan pada 18 Juli 2019
2. Mendapatkan nilai setting rele untuk koordinasi proteksi gangguan fasa, gangguan tanah, dan rele diferensial yang tepat untuk mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem PT Pertamina RU 5 Balikpapan

1.4 Metodologi

Berikut merupakan metodologi pada penelitian yang akan digunakan :

1. Studi Pustaka dan Literatur

Tahap pertama adalah studi pustaka literatur, pengumpulan literatur dan referensi yang berkaitan dengan rele-rele yang digunakan diantaranya rele arus lebih, rele diferensial, serta proteksi koordinasi pada suatu sistem kelistrikan industri.

2. Pengumpulan Data

Pada penelitian tugas akhir ini, dibutuhkan pengumpulan data-data terkait dengan kelistrikan PT. Pertamina RU 5 Balikpapan. Adapapun data-data yang dibutuhkan antara lain *Single Line Diagram* (SLD) existing PT Pertamina RU 5 Balikpapan, rating peralatan, serta berita acara gangguan hubung singkat yang terjadi pada tanggal 18 Juli 2019.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan sistem pada kelistrikan PT Pertamina RU 5 Balikpapan, dan dilakukan simulasi. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi *Short Cicuit*, *Load flow*, dan koordinasi proteksi.

4. Analisis Hasil Simulasi

Analisis yang dilakukan tidak hanya terpaku pada daerah gangguan yang terjadi pada 18 Juli 2019 saja, tetapi menyeluruh ke seluruh sistem karena terdapat beberapa *main bus* yang mengalami gangguan. Adapun analisa yang akan dilakukan adalah aliran daya, ketahanan peralatan, serta koordinasi proteksi pada sistem. Simulasi load flow digunakan untuk mengetahui aliran daya pada sistem. Simulasi short cicuit untuk mengetahui ketahanan peralatan sistem. Simulasi koordinasi proteksi digunakan untuk memperoleh setting yang tepat untuk rele arus lebih, rele Diferensial. Dalam analisa koordinasi proteksi dipertimbangkan mengetahui tipe dan jenis rele dalam sistem PT Pertamina RU 5 Balikpapan

5. Penyelesaian Laporan Tugas Akhir

Tahap terakhir adalah pengerjaan laporan tugas akhir, untuk memenuhi persyaratan kelulusan mata kuliah tugas akhir.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri dari 5 BAB

Bab 1 : Pendahuluan

Pada Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian yang akan dilakukan, dan metode yang akan digunakan serta relevansi yang bisa digunakan dari hasil penelitian tugas akhir ini

Bab 2 : Koordinasi Proteksi Sistem Industri

Pada Bab ini membahas mengenai teori teori yang digunakan dalam melakukan penelitian yang didapatkan dari daftar pustaka

dan *journal-journal* yang berkaitan dengan sistem proteksi rele proteksi

Bab 3 : PT Pertamina RU V Balikpapan

Pada bab ini akan menguraikan mengenai sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan, serta akan menerangkan kasus yang terjadi pada tanggal 18 Juli 2019 yang mengakibatkan beberapa unit *shutdown* akibat *short sicuit* pada salah satu *Bus* pada sistem tersebut

Bab 4 : Hasil Simulasi dan *Resetting* Rele Proteksi PT Pertamina RU 5 Balukpapan

Pada Bab ini akan mengemukakan mengenai hasil penelitian yang dilakukan melalui simulasi *software* E-TAP yang berupa nilai *setting* rele terbaru agar masalah yang terjadi tidak terulang kembali

Bab 5 : Saran dan Kesimpulan

Pada Bab ini berisi saran dan kesimpulan dari penelitan yang telah dilakukan

1.5 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan bisa memberikan manfaat untuk :

1. PT Pertamina RU 5 Balikpapan

Sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan *setting* dan koordinasi rele arus lebih, gangguan tanah, dan juga rele diferensial

2. Peneliti dan Pelajar

Sebagai sumber penelitian untuk dikembangkan ketika terjadi masalah yang sama di masa mendatang

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM INDSTRITRI

Untuk menjaga kontinuitas produksi pada sistem kelistrikan industri, dibutuhkan proteksi yang baik pada sistem yang terinstalasi. Salah satu titik berat dalam sistem proteksi instalasi kelistrikan industri adalah koordinasi antara rele satu dengan yang lainnya dan cepat tidaknya untuk melokalisasi gangguan yang terjadi agar tidak membuat sistem atau unit yang lain mengalami gangguan. Koordinasi proteksi yang baik dapat membatas durasi lamanya gangguan yang diakibatkan gangguan dari luar (eksternal), kesalahan pengoperasian, dan kerusakan peralatan yang terjadi pada sistem [3]

2.1 Gangguan pada Sistem Kelistrikan Industri

Gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan industri dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gangguan temporer dan gangguan permanen. Gangguan temporer (sementara) merupakan gangguan yang dapat diatasi dengan mengisolasi peralatan yang mengalami gangguan pada sistem sehingga tidak merambat ke daerah yang lebih jauh. Sedangkan gangguan permanen merupakan gangguan yang disebabkan karena besarnya arus yang mengalir pada sistem dengan waktu yang relatif singkat sehingga bisa merusak peralatan pada sistem. Gangguan temporer merupakan gangguan yang banyak terjadi dalam dunia kelistrikan dibandingkan dengan gangguan permanen sehingga dibutuhkan koordinasi proteksi yang tepat untuk mengatasi dan mengisolasi daerah gangguan tersebut [4].

Beberapa gangguan yang terjadi pada skala industri adalah sebagai berikut :

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat akan menimbulkan arus yang sangat besar dan akan membahayakan peralatan. Nilai tegangan internal mesin sinkron dan impedansi peralatan sistem akan mempengaruhi besar arus saat terjadi gangguan hubung singkat [5]. Gangguan hubung singkat dapat dibedakan menjadi dua, antara lain :

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat yang akan mempengaruhi ke tiga fasa (R-S-T) sehingga sistem tetap dalam kondisi seimbang. Contoh gangguan hubung singkat simetri antara lain gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L) dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G)

2.1.3 Gangguan Hubung Singkat Asimetri

Gangguan hubung singkat asimetri merupakan gangguan yang menyebabkan perbedaan sudut fasa dan magnitudo dari ketiga fasa yang menyebabkan sistem tidak seimbang. Contoh gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan satu fasa ke tanah (L-G), dua fasa ke tanah (L-L-G), dan gangguan antara satu fasa dengan fasa lainnya (L-L)

2.1.4 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Gangguan arus lebih akan menimbulkan panas berlebih pada suatu peralatan karena arus yang mengalir melebihi batas nominalnya sehingga akan menimbulkan *losses* (panas) dan bisa menurunkan efisiensi peralatan tersebut

2.2 Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Arus hubung singkat digunakan sebagai parameter untuk menentukan *setting* pada koordinasi proteksi. Perhitungan arus hubung singkat bisa kita dapatkan dengan cara sebagai berikut :

2.2.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat Satu fasa ke tanah, adalah gangguan yang terjadi antara fasa bertegangan listrik ke tanah, untuk mendapatkan arus hubung singkat ini bisa didapatkan dengan cara:

$$I_{sc1ph} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3Z_G} \quad (1)$$

I_{sc1ph}	: Arus hubung
$3V_{LN}$	: Tegangan Line to Netral
X_1	: Arus Urusan Positif
X_2	: Arus Urusan Negatif
X_0	: Arus Urusan nol
Z_G	: Impedansi Pentanahan

2.2.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Ketika dua fasa terhubung maka akan timbul suatu gangguan yang menimbulkan hubung singkat fasa ke fasa. Untuk mendapatkan arus hubung singkat ini bisa didapatkan dengan :

$$I_{sc_{2ph}} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \quad (2)$$

Dengan :

$I_{sc_{2ph}}$: Arus Hubung Singkat antar Fase

V_{LL} : Tegangan Line to Line

X_1 : Arus Urusan Positif

X_2 : Arus Urusan Negatif

2.2.3 Hubung Singkat Tiga Fasa

Ketiga tiga fasa mengalami gangguan bisa menimbulkan hubung singkat tiga fasa, dimana nilai arus sangat besar sehingga dalam *setting* rele dikenal dengan arus hubung singkat maksimum. Arus hubung singkat maksimum bisa kita dapatkan dengan perumusan :

$$I_{sc_{3ph}} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (3)$$

Dengan :

$I_{sc_{3ph}}$: Arus Hubung Singkat 3 Fase

V_{LN} : Tegangan Line to Netral

X_1 : Arus Urusan Positif

Terdapat Hubungan antara arus hubung singkat antar fasa dan hubung singkat tiga fasa

$$I_{sc_{2ph}} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}V_{LN}}{2.X_1} = \frac{\sqrt{3}}{2}I_{sc_{3ph}}$$

Jadi :

$$I_{sc_{2ph}} = \frac{\sqrt{3}}{2}I_{sc_3} \approx 0,866 \times I_{sc_3} \quad (4)$$

2.3 Rele dan Koordinasi Proteksi Rele

Rele merupakan suatu perangkat yang bisa menerima input berupa termal, mekanis, atau elektrik dan membandingkannya dengan *setting* yang sudah ditetapkan sebelumnya sehingga kontak pemutus pada *circuit breaker* (CB) beroperasi untuk mengisolasi gangguan yang terjadi [6]. Dengan menginput nilai elektrik, rele proteksi dibantu dengan dua alat ukur, alat ukur arus dengan *current transformer* dan alat ukur tegangan (*potential transformer*). Rele yang digunakan juga harus mempertimbangkan FLA (*Full Load Ampere*) trafo dan motor yang digunakan sehingga ketika ada arus maksimal ketika motor starting dan trafo energize tidak dianggap sebagai gangguan [6]. Berikut merupakan rele rele yang digunakan pada sistem:

2.3.1 Rele Sistem Industri

2.3.1.1 Rele Proteksi Arus Lebih

Rele Proteksi Arus lebih merupakan rele proteksi ketika nilai arus yang terbaca melewati batas nilai arus yang diatur pada sistem kelistrikan, berikut merupakan klasifikasi dari rele ini :

- **Rele Waktu *Inverse***

Rele waktu *inverse* merupakan rele yang bekerja berbanding lurus dengan nilai arusnya, semakin besar nilai arus maka akan semakin cepat rele bekerja untuk melokalisasi gangguan. Dalam penggunaannya, rele waktu *inverse* bisa diklasifikasikan menjadi beberapa berdasarkan kurva yang digunakan, diantaranya :

Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam menentukan rele arus lebih [6]

- Arus *Pickup*, digunakan sebagai acuan untuk rele ketika mulai beroperasi ketika terjadi gangguan. Berikut merupakan untuk menentukan arus pick up berdasarkan *British Standard BS 142* :

$$1,05 FLA \leq I_{set} \leq 1,4 FLA \quad (5)$$

Ketrangan :

I set : Arus *Pickup*

FLA : *Full Load Ampere* (Arus Beban Penuh)

Untuk menentukan *tapping* pada trafo pengukuran didapatkan dengan :

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT \text{ Primer}} \quad (6)$$

Keterangan:

Tap : *Tapping Current Transformator*

I set : *Arus Pickup*

nCT Primer : belitan primer dari CT

- *Time Dial Setting (TDS)*, digunakan untuk menunjukkan waktu operasi yang dibutuhkan rele yang terinstalasi dalam kelstrikan untuk menentukna TDS bisa kita dapatkan dengan :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{\beta}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} + L \right) \quad (7)$$

Kerangan :

t_{op} : Waktu Operasi Rele

TD : *Time Dial*

I_{sc} : Arus Gangguan

I_{set} : Arus *pickup*

α, L, β : Koefisien rele (tergantung kurva yang digunakan)

Untuk menentukan konstanta α, β dan L tergantung jenis kurva yang digunakan dapat diamabati dalam table 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 Jenis-Jenis Kurva Rele Proteksi Arus Lebih

Deskripsi Kurva	Standard	β	α	L
<i>Standard Inverse</i>	IEC	0,14	0,02	0
<i>Very Inverse</i>	IEC	13,5	1	0
<i>Extremely Inverse</i>	IEC	80	2	0
<i>Long Time Inverse</i>	UK	120	1	0
<i>Moderately Inverse</i>	IEEE/ANSI	0,0515	0,02	0,114
<i>Very Inverse</i>	IEEE/ANSI	19,61	2	0,491
<i>Extremely Inverse</i>	IEEE/ANSI	28,2	2	0,1217
<i>Inverse</i>	US	5,95	2	0,18
<i>Short Time Inverse</i>	US	0,16758	0,02	0,11858

- **Rele Waktu *Definite***

Rele Waktu *Definite* dapat bekerja dengan waktu yang sudah ditentukan, yang artinya berapapun arus gangguan yang terjadi ketika melebihi batas maka rele akan bekerja pada waktu yang sama. Berikut merupakan parameter yang harus diatur dalam rele ini :

- Arus *Pickup*, dimana menyatakan arus ketika rele akan bekerja. berdasarkan *British Standard 142* , arus *pickup* pada rele waktu *definite* adalah sebagai berikut :

$$1,6 FLA \leq I_{set} \leq 0,8 I_{scmin} \quad (8)$$

Keterangan :

Iset : Arus beban penuh (*Full Load Ampere*)

Iscmin : Arus hubung singkat minimum

FLA : *Full Load Ampere* (Arus Beban Penuh)

- Waktu delay, waktu preposisi antara rele satu dengan rele yang untuk menghindari pembukaan rele dalam waktu yang bersamaan
- Arus Hubung Singkat Minimum, untuk menentukan arus minimum ketika rele mulai bekerja ketika terjadi gangguan. Untuk mendapatkan arus ini bisa diketahui dengan arus menghitung arus hubung singkat antar fasa pada 30 *cycle*.

2.3.1.2 **Rele Proteksi Gangguan Tanah**

Rele proteksi gangguan tanah digunakan untuk menanggulangi gangguan satu fasa ke tanah [1]. Pada sistem kelistrikan gangguan yang sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah. Pada rele ini, parameter yang diatur adalah *time delay* dan arus *pick up*.

- Arus *pickup* pada proteksi gangguan tanah bisa didapatkan dengan:

$$10\% I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc LG} \quad (9)$$

Keterangan :

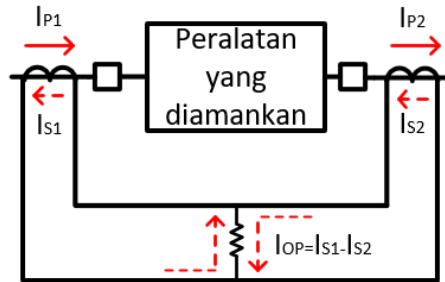
Iset : Arus *pickup*

Isc LG : Arus hubung singkat satu fasa ke tanah

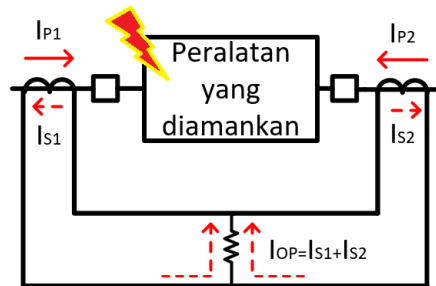
- Waktu delay, delay antara rele satu dengan rele yang lain dalam satu L-L agar tidak terjadi *trip* secara bersamaan

2.3.1.3 Rele Diferensial

Rele Diferensial merupakan pelindung peralatan seperti bus, transformator, generator, ataupun saluran pada sistem. Ketika terjadi gangguan pada daerah proteksi rele (gangguan internal) maka rele diferensial akan memberikan sinyal kepada CB (*Circuit Breaker*) untuk *trip*. Berikut merupakan skema perlindungan rele diferensial.



Gambar 2. 1 Rele Diferensial saat kondisi normal
Ketika terjadi gangguan :



Gambar 2. 2 Rele Diferensial saat terjadi gangguan

Rele Diferensial bekerja pada daerah yang dibatasi dengan kurva. Daerah di atas kurva merupakan daerah operasi rele diferensial. Dalam mengatur arus pada rele diferensial mempertimbangkan beberapa kondisi. Diantaranya adalah kondisi gangguan internal, gangguan eksternal, dan kondisi normal. Idealnya, ketika terjadi gangguan eksternal atau dalam kondisi normal sistem maka arus akan sama dengan nol,

kenyataannya setiap peralatan memiliki error sehingga arus tidak tepat pada titik nol [6]

2.3.2 Koordinasi Proteksi

Proses *trip* untuk rele satu dengan lainnya harus terkoordinasi agar tidak membuka pada waktu yang sama. Pada prinsipnya rele yang terkoordinasi terdiri dari rele utama dan rele back up. Ketika rele utama gagal untuk mengisolasi gangguan maka akan diback up oleh rele yang ada di dekatnya. Interval waktu rele utama dan rele back-up untuk bekerja dengan melihat *Coordination Time Interval* (CTI). Berikut merupakan data CTI berdasarkan IEEE Std. 242-2001 :

Tabel 2. 2 *Coordination Time Interval* (CTI)

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

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

3.1 PT Pertamina RU V Balikpapan

Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan memiliki area-area yang terhubung dengan generator dan beban listrik dengan kapasitas kecil maupun besar.

Pada tanggal 18 Juli 2019 terjadi hubung singkat antar fasa di SS73A yang mengakibatkan tiga unit mengalami shutdown. Salah satu faktor yang melatarbelakangi hal tersebut terjadinya kegagalan koordinasi proteksi pada sistem. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini akan mencari *setting* koordinasi proteksi yang cocok agar kejadian ini tidak terulang kembali dengan menemukan parameter evaluasi koordinasi rele yang akan disimulasikan menggunakan *software* Etap 12.5

3.2 Distribusi PT Pertamina RU V Balikpapan

Sistem Distribusi pada PT Pertamina RU V Balikpapan menggunakan tiga level tegangan, antara lain 33 kV, 6.6 kV, dan 0.38 kV.

- 33 kV
Tegangan 33 kV digunakan pada sistem *ring bus* yang digunakan untuk meningkatkan keandalan pada sistem. Sistem *ring bus* dan *main bus* terhubung melalui transformator 3 belitan
- 6.6 kV
Tegangan 6.6 kV digunakan untuk distribusi beban berkapasitas besar dan sebagai keluaran dan generator
- 0.38 kV
Tegangan 0.38 kV digunakan untuk distribusi beban berkapasitas kecil. Beban berkapasitas kecil dengan *Bus* utama 6.6 kV saling terhubung melewati transformator 2 belitan.

Berikut merupakan data transformator distribusi yang terinstall pada sistem PT Pertamina RU V Balikpapan

Tabel 3. 1 Data Trafo Distribusi PT Pertamina RU V Balikpapan

ID	Area	MVA	kV	%Z	Hubungan
T12	Ring Bus	16/8/8	33/6,6	13,1	Y/ Δ / Δ
T23	Ring Bus	16/8/8	33/6,6	13,1	Y/ Δ / Δ
T34	Ring Bus	16/8/8	33/6,6	13,1	Y/ Δ / Δ
T45	Ring Bus	16/8/8	33/6,6	13,1	Y/ Δ / Δ
HS TR1	1HT	1	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
T2	1HT	1	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
T3	2HT	1	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
TR61B	2AL-B (Bus D)	1,6	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
TR61D	2AL-B (Bus D)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR61F	2AL-B (Bus D)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR69B	2AL-B (Bus D)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR71B	2AL-B (Bus D)	1	6,6/0,4	5	Y/ Δ
T7	2AL-A (Bus C)	1	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
T8	2AL-A (Bus C)	1	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
TR63B	2AL-A (Bus C)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR63D	2AL-A (Bus C)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR65B	2AL-A (Bus C)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR65D	2AL-A (Bus C)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR70B	2AL-A (Bus C)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR74B	2AL-A (Bus C)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR63A	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR63C	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR64B	1AL-B (Bus B)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR64C	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR64D	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR64E	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR64F	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR65A	1AL-B (Bus B)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR65C	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR74A	1AL-B (Bus B)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR13	1AL-A (Bus A)	0,5	6,6/0,38	4,8	Δ /Y
TR61A	1AL-A (Bus A)	1,6	6,6/0,38	5,75	Δ /Y
TR61C	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR61E	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y
TR62A	1AL-A (Bus A)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR62B	1AL-A (Bus A)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ /Y
TR62C	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ /Y

ID	Area	MVA	kV	%Z	Hubungan
TR62D	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR62E	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR62F	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR66A	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ/Y
TR67A	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ/Y
TR67B	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ/Y
TR68A	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR68B	1AL-A (<i>Bus A</i>)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y

3.3 Pembebanan dan Pembangkitan PT Pertamina RU V Balikpapan

Kondisi *existing* pada saat terjadi gangguan PT Pertamina RU V Balikpapan menggunakan 6 unit generator dengan jenis *Steam Turbine Generator* (STG) dan beban listrik yang terhubung pada *Bus* utama yang memiliki tegangan 6.6 kV. Berikut merupakan data pembebanan pada *Bus* utama dan kapasitas pembangkitan pada generator.

Tabel 3. 2 Pembebanan Pada *Bus* Utama

Area	Daya Pembebanan		
	MW	MVAR	MVA
1 HT	5.21	-0.17	8.05
2 HT	4.96	3.13	5.87
1 AL-A (<i>Bus A</i>)	3.2	2.2	3.9
1 AL-B (<i>Bus B</i>)	8.52	5.55	10.13
3 AL (<i>Bus E</i>)	0.21	0.16	0.31
2 AL-A (<i>Bus C</i>)	5.48	3.75	6.9
2 AL-B (<i>Bus D</i>)	6.3	3.8	7.3

Tabel 3. 3 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT Pertamina RU V Balikpapan

Generator ID	Area	Daya Rating (MW)	Tegangan (kV)	Faktor Daya (PF)
STG I-6	1 HT	9	6.6	80%
STG I-5A	3HT	9	6.6	80%
STG 2-1	1 AL-B (<i>Bus B</i>)	8.4	6.6	80%
STG 2-2	1 AL-A (<i>Bus B</i>)	12.8	6.6	80%
STG 2-3	2 AL-A (<i>Bus C</i>)	12.8	6.6	80%
STG 2-4	2 AL-B (<i>Bus D</i>)	12.8	6.6	80%

3.4 Sistem Proteksi PT Pertamina RU V Balikpapan pada tanggal 18 juli 2019

PT Pertamina RU V Balikpapan membutuhkan sistem proteksi untuk menjaga kontinuitas sistem produksi pada sistem kelistrikannya dari arus lebih gangguan fasa maupun gangguan tanah. Oleh karena itu, peralatan yang dibutuhkan dalam sistem proteksi adalah rele arus lebih, rele gangguan tanah, dan rele Diferensial. Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan rele yang berbeda beda sehingga terdapat perbedaan nilai, konstanta ataupun kurva yang tersedia pada rele yang digunakan.

Berikut merupakan data-data rele yang digunakan pada sistem PT Pertamina RU V Balikpapan :

1. ALSTOM P343 [7]

Overcurrent

Pickup Range : $0,08 - 4 \times CT \text{ Sec}$

Pickup Step : 0,01

Curve type :

- *Definite Time, UK Long Time Inverse.*
- *IEC: Standard Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse.*
- *IEEE: Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse.*

Instantaneous

Pickup Range : $0,08 - 10 \times CT \text{ Sec}$

Pickup Step : 0,01

Delay Range : 0 – 200

2. ALSTOM P142 [8]

Overcurrent

Pickup Range : $0,08 - 4 \times CT \text{ Sec}$

Pickup Step : 0,01

Curve type :

- *Definite Time, UK Long Time Inverse.*

- IEC: *Standard Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse.*
- IEEE: *Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse.*

Instantaneous

Pickup Range : $0,08 - 32 \times CT \text{ Sec}$
Pickup Step : 0,01
Delay Range : 0 – 200

3. ALSTOM P122 [9]

Overcurrent

Pickup Range : $0,1 - 25 \times CT \text{ Sec}$
Pickup Step : 0,01
Curve type :
 • *Definite Time*
 • IEC: *Standard Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Long Time Inverse, Short Time Inverse*
 • ANSI: *Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Long Time Inverse, Short Time Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : $0,5 - 40 \times CT \text{ Sec}$
Pickup Step : 0,01
Delay Range : 0 – 150

4. ALSTOM P220 [10]

Overcurrent

Pickup Range : $0,002 - 1 \times CT \text{ Sec}$
Pickup Step : 0,02
Curve type : *Definite Time*

5. GE Multilin B30 [11]

Bus Differential System

Pickup : 0,05 – 6 pu (step: 0,001)
Low Slope : 15 – 100% (step: 1%)
High Slope : 50 – 100% (step: 1%)
Operating time : 1 cycle

6. GE Multilin T60 [12]

Transformer Differential System

Pickup : 0,05 – 1 pu (step: 0,001)
Slope 1 Range : 15 – 100% (step: 1%)
Slope 2 Range : 50 – 100% (step: 1%)
Operating time : 5 – 20 ms

Pada tanggal 18 Juli 2019 terjadi hubung singkat antar fasa pada potensial trafo SS73A yang mengakibatkan tiga unit terganggu. Kegagalan ini terjadi karena kondisi ruangan yang lembab, dan kurang pemeliharaan. Ketiga unit yang mengalami shutdown diantaranya, unit HCU, NHT-PLF, dan HVU-ComFac

Ketika hubung singkat berlangsung, karena gangguan ini tidak dilokalisasi dengan cepat beberapa tegangan pada *main bus* terjadi penurunan dalam beberapa saat yang mengakibatkan motor motor incoming dari bus 2AL dan 3 Al terlepas karena *latching* kontaktor motornya, kontaktor motor akan terlepas pada tegangan 60% tegangan nominal, yang mengakibatkan HCU A *Shutdown* dan NHT-PLF turun *intake*. Berikut merupakan fakta fakta yang didapatkan ketika terjadi kegagalan hubung singkat SS73A tersebut :



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(F)

Gambar 3. 1 Fakta-Fakta yang ditemukan pada SS73A ketika terjadi hubung singkat (a) Plafon SS73A masih terbuka (b) Ventilasi yang terpasang berupa Ram (c) Pintu tidak tertutup rapat (d) Menggunakan AC Standing (e) Kondisi pintu panel SS73A (f) PT SS73A ketika terjadi gangguan

Salah satu rekomendasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengevaluasi (*assessment*) sistem koordinasi proteksi pada keseluruhan instalasi listrik PT Pertamina RU V Balikpapan. Oleh Karen itu, pada penelitian ini akan terfokus untuk mengevaluasi tiga rele, diantaranya rele arus lebih gangguan fasa, gangguan tanah, dan juga rele Diferensial. Berikut merupakan peralatan kritikal yang mengalami *trip*:

- HCU A & B

Ketika terjadi *Short Cicruit* pada SS73A, suplai daya dari SS73 diambil dari SS70, sehingga SS70 terganggu. Gangguan di SS70 menyebabkan semua *Busbar* terganggu, diantaranya :

- SS 61 yang mensuplai daya untuk area HCU A
- SS 62 yang mensuplai daya untuk area HCU B

Berikut merupakan peralatan kritikal yang mengalami gangguan (*trip*) di HCU A dan B serta suplai powernya :

Tabel 3. 4 Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di HCU A dan HCU B

Area	Peralatan	Deskripsi	Suplai Power
HCU A	GM-3-01A	Pompa fresh feed	1 AL
	Ea-3-02A/C/E/G/T	Reaktor <i>effluent air cooler</i>	1 AL
	Ea-3-20A/C/E	Reaktor <i>effluent air cooler</i>	1 AL
HCU B	Ea-3-02K/M/O/Q/S	Reaktor <i>effluent air cooler</i>	2 AL
	Ea-3-20G/I/K	Reaktor <i>effluent air cooler</i>	2 AL

- NHT-PLF

Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di NHT-PLF serta suplainya adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di NHT PLF

Area	Peralatan	Deskripsi	Suplai Power
NHT	GM-4-01B	NHT <i>feed pump</i>	1 AL
	GM-4-03A	<i>Stripper reflux pump</i>	1 AL
	GM-4-04A	<i>Stripper bottom pump</i>	1 AL
PLF	GM-5-01B	Reaktor <i>prod. Sep. pump</i>	1 AL

- Unit HVU II dan *Com Fac*

Peralatan kritikan yang mengalami gangguan pada Plant 2 ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3. 6 Peralatan kritikal yang mengalami gangguan di HVU II dan *Com Fac*

Area	Peralatan	Deskripsi	Suplai Power
HVU	Ea-2-12	LVGO <i>cooler</i>	SS63A
<i>Com-Fac</i>	KM-35-02	LVGO <i>cooler</i>	SS63A

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN *SETTING* RELE PROTEKSI PADA PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi

Pemilihan tipikal koordinasi proteksi pada PT Pertamina RU V Balikpapan mempertimbangkan kasus 18 Juli 2019 yang mengakibatkan 3 unit mengalami gangguan. Alasan yang mendasar dalam pemilihan tipikal adalah 3 unit yang mati (*shutdown*) tersebut disuplai oleh *main Bus* 2AL dan 1AL, sehingga pemilihan tipikal koordinasi proteksi pada Tugas Akhir ini diambil dari kedua *bus* tersebut. Berikut merupakan pemilihan tipikal dalam koordinasi proteksi PT Pertamina RU V Balikpapan:

4.1.1 Tipikal koordinasi rele arus lebih gangguan fasa

Tipikal ini mempertimbangkan area yang terdampak karena hubung singkat pada SS73A. dalam 3 unit yang terganggu disuplai oleh *nus* utama 1 AL dan 2 AL, maka tipikal yang dipilih antara lain :

Tabel 4. 1 Tipikal koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa

Tipikal	Area	Rele yang bekerja
1	Dari SS73A (6.6 kV) ke <i>Bus</i> 1 AL-B (<i>Bus</i> B)	• R-70MA2 • R-70MA • R-1AL16
2	Dari motor GM-2-02A ke <i>Bus</i> utama 2 AL-A (<i>Bus</i> C)	• R-GM-2-02A • R-63MB • R-2A108
3	Dari Generaror STG 2-3 hingga ring <i>Bus</i> 33 kV	• R-2AL01 • R-Q232 • R-2AL05
4	Dari Gernerator STG 2-1 hingga ke ring <i>Bus</i> 33 kV	• R-1AL21 • R-Q252 • R-1AL13

4.1.2 Tipikal koordinasi rele gangguan tanah

Mengacu pada peralatan yang memiliki NGR (*Neutral Ground Resistor*). Setting rele tipikal ini mengacu pada generator yang memiliki NGR 1000 A, maka tipikal yang dipilih adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Tipikal koordinasi rele gangguan tanah

Tipikal	Area	Rele yang bekerja
1	Dari SS73A (6.6 kV) dan T23 ke STG 2-1	• R-70MA2 • R-70MA • R-1AL16 • R-1AL13 • R-Q252
2	Dari SS63MA dan T45 ke STG 2-3	• R-KM-35-02C • R-63MA • R-2Al08 • R-2AL05 • RQ232

4.1.3 Tipikal koordinasi rele Diferensial

Koordinasi rele diferensial digunakan untuk melindungi *ring Bus* 33 kV, berikut merupakan rinciannya :

Tabel 4. 3 Tipikal koordinasi rele diferensial

Tipikal	Area	Rele yang bekerja
1	<i>Bus W1</i>	• R-Dif W1
2	<i>Bus W2`</i>	• R-Dif W2
3	<i>Bus W3</i>	• R-Dif W3
4	<i>Bus W4</i>	• R-Dif W4
5	<i>Bus W5</i>	• R-Dif W5

4.2 Arus Hubung Singkat

Data mengenai arus hubung singkat dibutuhkan dalam pengaturan rele proteksi arus lebih gangguan fasa dan rele diferensial. Pola operasi maksimum adalah ketika sistem dengan 6 Generator hidup, dan pola operasi minimum merupakan kondisi dimana sistem disuplai oleh tiga generator di bawah sistem *ring bus*. Secara umum arus hubung singkat yang terjadi pada kelistrikan industri dapat dibedakan menjadi :

- Hubung Singkat Maksimum, arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pola operasi pembangkitan maksimum
- Hubung Singkat Minimum, arus hubung singkat 2 fasa (antar L-L) pola operasi pembangkitan minimum

Berikut merupakan uraian dari data arus hubung singkat yang dibutuhkan

4.2.1 Arus Hubung Singkat untuk Koordinasi Rele Arus lebih

Dalam perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa, diperlukan data arus hubung singkat yang melewati rele. Dikarenakan PT Pertamina RU V Balikpapan memiliki sumber yang menyebar di beberapa area untuk menyuplainya. Maka akan terdapat perbedaan nilai arus hubung singkat yang berbeda tergantung lokasi gangguan yang terjadi.

Arus hubung singkat maksimum atau arus hubung singkat 3 fasa digunakan untuk menentukan *time dial* dari rele proteksi arus lebih dalam waktu *inverse*. Berdasarkan *cycle*, arus maksimum (I_{scmax}) dapat dibedakan menjadi :

- I_{scmax} 30 *cycle*, digunakan ketika rele beroperasi pada waktu > 0.1 detik
- I_{scmax} 4 *cycle*, digunakan ketika rele beroperasi kurang dari ≤ 0.1 detik

Pada kondisi 4 *cycle (transien)* sampai kondisi 30 *cycle (steady state)* motor-motor masih memberikan arus kontribusi sehingga nilai arus hubung singkat dapat berbeda.

Arus hubung singkat minimum (I_{scmin}) atau arus hubung singkat antar L-L (*Line to Line*) dalam 30 *cycle (steady state)*. 6 Pembangkit mensuplai PT Pertamina RU V 5 Balikpapan pada tanggal 18 Juli 2019 ketika terjadi gangguan pada SS73A. Nilai arus hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan nilai *pickup* kurva rele arus lebih dalam waktu *definite* sehingga rele dapat bekerja sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan ketika terjadi gangguan.

Berikut merupakan data arus hubung singkat maksimum 4 dan 30 *cycle*, hubung singkat minimum 30 *cycle* yang melewati setiap tipikal:

Tabel 4. 4 Arus Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle*

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus Hubung Singkat 3 fasa (4 <i>cycle</i>)
1	R-70MA2	SS73A	19.44 kA
	R-70MA	SS70MA	18.94 kA
	R-1AL16	SS70MA	27.89 kA
2	R-GM-2-02A	Motor GM-2-02A	17.91 kA
	R-63MB	SS63MB	21,22 kA

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus Hubung Singkat 3 fasa (4 cycle)
	R-2Al08	SS63MB	29.46 kA
3	R-2AL01	Bus 2AL-A (Bus C)	9.16 kA
	R-Q232	Sisi Primer T-23	4.16 kA
	R-2AL05	Bus 2AL-A (Bus C)	5.39 kA
4	R-1AL21	Bus 1AL-A (Bus B)	5.2 kA
	R-Q252	Sisi Primer T-45	3.69 kA
	R-1AL13	Bus 1AL-A (Bus B)	7.85 kA

Tabel 4. 5 Arus Hubung singkat Maksimum 30 cycle

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus Hubung Singkat 3 fasa (30 cycle)
1	R-70MA2	SS73A	13.57 kA
	R-70MA	SS70MA	13.89 kA
	R-1AL16	SS70MA	18.01 kA
2	R-GM-2-02A	Motor GM-2-02A	13.5 kA
	R-63MB	SS63MB	15.34 kA
	R-2Al08	SS63MB	19.1 kA
3	R-2AL01	Bus 2AL-A (Bus C)	5.87 kA
	R-Q232	Sisi Primer T-23	4.16 kA
	R-2AL05	Bus 2AL-A (Bus C)	2.86 kA
4	R-1AL21	Bus 1AL-A (Bus B)	5.7 kA
	R-Q252	Sisi Primer T-45	2.56 kA
	R-1AL13	Bus 1AL-A (Bus B)	3.21 kA

Tabel 4. 6 Arus Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus Hubung Singkat 2 fasa (30 cycle)
1	R-70MA2	SS73A	9.33 kA
	R-70MA	SS70MA	9.51 kA
	R-1AL16	SS70MA	11.6 kA
2	R-GM-2-02A	Motor GM-2-02A	10.28 kA
	R-63MB	SS63MB	11.27 kA
	R-2Al08	SS63MB	13.49 kA

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus Hubung Singkat 2 fasa (30 cycle)
3	R-2AL01	Bus 2AL-A (Bus C)	1.66 kA
	R-Q232	Sisi Primer T-23	1.39 kA
	R-2AL05	Bus 2AL-A (Bus C)	6.24 .kA
4	R-1AL21	Bus 1AL-A (Bus B)	3.41 kA
	R-Q252	Sisi Primer T-45	1.24 kA
	R-1AL13	Bus 1AL-A (Bus B)	3.5 kA

4.2.2 Arus Hubung Singkat untuk Koordinasi Rele Diferensial

Pada rele koordinasi diferensial, arus hubung singkat yang digunakan untuk melindungi *ring Bus* saat terjadi gangguan internal ataupun eksternal pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle. Kondisi ini digunakan karena rele diferensial bekerja sangat cepat dengan waktu 0.01-0.02 detik, sehingga arus hubung singkat dapat aterukut oleh rele ketika kondisi $\frac{1}{2}$ cycle (kondisi *subtransient*)

4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

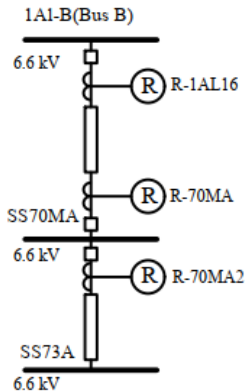
Untuk mengatasi gangguan arus lebih baik itu gangguan hubung singkat ataupun gangguan beban berlebih dapat menggunakan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa. Berikut merupakan parameter yang bisa diatur:

- *Time dial*
- *Time overcurrent pickup*
- *Time Delay*
- *Instantaneous overcurrent pickup*

Parameter parameter yang didapatkan dari perhitungan kemudian dimaasukan ke dalam *software* ETAP untuk melihat kurva *Time Current Characteristic* (TCC) dalam setiap tipikal yang sudah dibuat.

4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi proteksi pada tipikal 1 rele arus lebih gangguan fasa merupakan koordinasi proteksi pada tanggal 18 Mei 2019 yang mempengaruhi main *Bus* yaitu *Bus* 2Al –A dan *Bus* 1AL-B. koordinasi proteksi dari SS73A sampai *Bus* 2AL-A (*Bus* C). berikut merupakan gambar dari tipikal 1:



Gambar 4. 1 Single Line Diagram (SLD) tipikal 1 rele arus lebih gangguan fasa

Dari gambar 4.3 Single Line Diagram Tipikal 1, rele R-70MA2 menjadi pengaman utama dari SS73A. Rele R-70MA dan R-2AL09 terdapat dalam L-L penghubung yang sama sehingga kedua rele tersebut dapat diatur dengan *setting* parameter yang sama. Ketika R-70MA2 gagal untuk melokalisasi ketika terjadi gangguan pada SS73A maka rele R-70MA dan R-2AL09 harus siap untuk mem-backup-nya. Berikut merupakan *setting* parameter pada rele rele tipikal 1:

- **R-70MA2**

Manufactured : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : IEC-Standard Inverse
Rasio CT : 600/5
FLA : 436 A

I_{sc} min 30 cycle SS73A
 yang melewati R-70MA2 : 9330 A
 I_{sc} max 30 cycle SS73A
 yang melewati R-70MA2 : 13570 A

Time Overcurrent Pickup

$1.05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1.4 \times FLA$
 $1.05 \times 436 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 436 \text{ A}$
 $457.8 \text{ A} \leq I_{set} \leq 610.4 \text{ A}$

$$\frac{457.8}{600} I_n \leq Tap \leq \frac{610.4}{600} I_n$$

$$0.763 I_n \leq Tap \leq 1.017 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $0.8 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 480 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.1 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.1 \times \left[\left(\frac{13570}{480} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.0493$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.0943 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.25

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 436 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 9330 \text{ A}$$

$$697.6 \text{ A} \leq I_{set} \leq 7464 \text{ A}$$

$$\frac{697.6}{600} I_n \leq Tap \leq \frac{7464}{600} I_n$$

$$1.16 I_n \leq Tap \leq 12.44 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $3 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1800 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.1 detik

- **R-70MA**

<i>Manufactured</i>	: ALSTOM
Model	: P142
Tipe Kurva	: IEC-Standard Inverse
Rasio CT	: 600/1
FLA	: 482 A

I_{sc} min 30 cycle SS73A
yang melewati R-70MA2 : 9510 A

I_{sc} max 30 cycle SS73A
yang melewati R-70MA2 : 13890 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1.4 \times FLA$$

$$1.05 \times 482 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 482 \text{ A}$$

$$505.91 \text{ A} \leq I_{set} \leq 674.55 \text{ A}$$

$$\frac{505.91}{600} I_n \leq Tap \leq \frac{674.55}{600} I_n$$

$$0.843 I_n \leq Tap \leq 1.12 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 32 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $1 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 600 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t_{op}) = 0.3 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{13890}{482} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.0463$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.138 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.8

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 482 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 9510 \text{ A}$$

$$770.90 \text{ A} \leq I_{set} \leq 7608 \text{ A}$$

$$\frac{770.90}{600} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{7608}{600} I_n$$

$$1.28 I_n \leq \text{Tap} \leq 12.68 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 32 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $4 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 2400 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.3 detik

- **R-1AL16**

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC-Standard Inverse

Rasio CT : 1250/5

FLA : 482 A

I_{sc} min 30 cycle SS73A

yang melewati R-70MA2 : 11600 A

I_{sc} max 30 cycle SS73A

yang melewati R-70MA2 : 18010 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 482 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 482 \text{ A}$$

$$505.91 \text{ A} \leq I_{set} \leq 674.55 \text{ A}$$

$$\frac{505.91}{1250} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{674.55}{1250} I_n$$

$$0.405 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.539 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $0.48 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 600 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t_{op}) = 0.3 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva IEC-Standard Inverse digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right)} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{13890}{482} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.1508$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.0463 (*step* : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.8

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 482 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 11600 \text{ A}$$

$$770.90 \text{ A} \leq I_{set} \leq 9280 \text{ A}$$

$$\frac{770.90}{1250} I_n \leq Tap \leq \frac{9280}{1250} I_n$$

$$1.28 I_n \leq Tap \leq 7.424 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 32 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih *Tap* = $3.5 I_n$

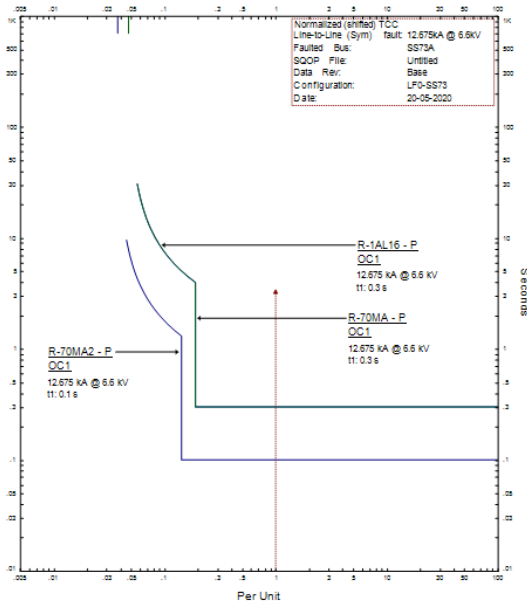
I_{set} yang dipilih adalah 2100 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.3 detik

Ketika terjadi gangguan hubung singkat antar fasa di SS73A maka akan terdapat arus kotriBusi ke titik gangguan yang berasal dari generator STG 2-1 dan Trafo 45.

Berdasarkan Gambar 4.4 , ketika terjadi gangguan di SS73A untuk melokalisasi gangguan maka Rele R-70MA2 akan bekerja dengan waktu 0.1 detik. Selanjutnya Rele R-70MA dan R1AL16 akan menjadi backup dengan waktu 0.3 detik,. Ketika terjadi gangguan pada SS73A ini, maka gangguan akan terisolasi dari sistem sehingga titik gangguan terisolasi dan tidak menyebabkan gangguan pada bagian yang lain. Berikut merupakan *plot* dari kurva *Time Current Characteristic* kurva tersebut:



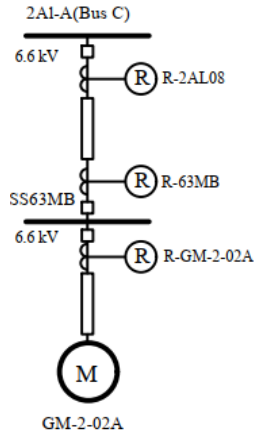
Gambar 4. 2 TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1 saat terjadi gangguan di SS 73A.

4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele tipikal 2 merupakan koordinasi proteksi pada motor GM-2-02A sampai *main Bus* di Bus 2Al A(Bus C). berikut merupakan perhitungan *setting* dan *single line diagram* (SLD) rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2:

- **R-GM-2-02A**

<i>Manufactured</i>	: ALSTOM
Model	: P124
Tipe Kurva	: IEC-Long Time Inverse
Rasio CT	: 30/5
FLA	: 23.12 A
I_{sc} min 30 cycle SS73A	
yang melewati R-GM-2-02A	: 10280 A
I_{sc} max 4 cycle SS73A	
yang melewati R-GM-2-02A	: 17910 A



Gambar 4. 3 Single Line Diagram (SLD) tipikal 2 rele arus lebih gangguan fasa

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA} \\
 1.05 \times 23.12\text{A} &\leq I_{set} \leq 1.4 \times 23.12 \\
 24.276 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 32.368 \text{ A} \\
 \frac{24.276}{30} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{32.368}{30} I_n \\
 0.8092 I_n &\leq \text{Tap} \leq 1.07 I_n
 \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $1 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 30 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.1 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva IEC-Standard Inverse digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{120}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right) - 1 \right]}{120}$$

$$TD = \frac{0.1 \times \left[\left(\frac{13500}{30} \right) - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.0964$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.0964 (*step* : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.5

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 23.12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 10280 \text{ A}$$

$$36.992 \text{ A} \leq I_{set} \leq 8224 \text{ A}$$

$$\frac{36.992}{30} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{8224}{30} I_n$$

$$1.16 I_n \leq \text{Tap} \leq 274.13 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.002 I_n - 1 \times I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $15 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 450 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.1 detik

• R-63MB

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC-Very Inverse

Rasio CT : 600/1

FLA : 484.8 A

I_{sc} min 30 cycle SS73A

yang melewati R-70MA2 : 11270 A

I_{sc} max 30 cycle SS73A

yang melewati R-70MA2 : 15340 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 484.8 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 484.8 \text{ A}$$

$$509.09 \text{ A} \leq I_{set} \leq 678.79 \text{ A}$$

$$\frac{509.09}{600} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{678.79}{600} I_n$$

$$0.848 I_n \leq \text{Tap} \leq 1.13 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01

- Dipilih Tap = 1 I_n

I_{set} yang dipilih adalah 600 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.3 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Very Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{13.5}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$TD = \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{15340}{600} \right)^1 - 1 \right]}{13.4}$$

$$TD = 0.5459$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.5459 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.8

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 484.8 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 11270 \text{ A}$$

$$775.76 \text{ A} \leq I_{set} \leq 9016 \text{ A}$$

$$\frac{775.76}{600} I_n \leq Tap \leq \frac{9016}{600} I_n$$

$$1.29 I_n \leq Tap \leq 15.027 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : 0.08 I_n – 32 I_n , step : 0.01

- Dipilih Tap = 4 I_n

I_{set} yang dipilih adalah 2400 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.3 detik

• R-2AL08

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC-Standard Inverse

Rasio CT : 1250/5

FLA : 484.8 A

I_{sc} min 30 cycle SS73A
yang melewati R-70MA2 : 13490 A

I_{sc} max 30 cycle SS73A
yang melewati R-70MA2 : 19100 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1.4 \times FLA$$

$$1.05 \times 484.8A \leq I_{set} \leq 1.4 \times 484.8 A$$

$$505.091A \leq I_{set} \leq 678.79 A$$

$$\frac{505.091}{1250} I_n \leq Tap \leq \frac{678.788}{1250} I_n$$

$$0.407 I_n \leq Tap \leq 0.54 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $0.48 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 600 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.3 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{19100}{600} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.0463$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.015356 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.8

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle}$$

$$1.6 \times 484.8 A \leq I_{set} \leq 0.8 \times 13490 A$$

$$775.78A \leq I_{set} \leq 10792 A$$

$$\frac{775.758}{1250} I_n \leq Tap \leq \frac{10792}{1250} I_n$$

$$0.62 I_n \leq Tap \leq 8.6636 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

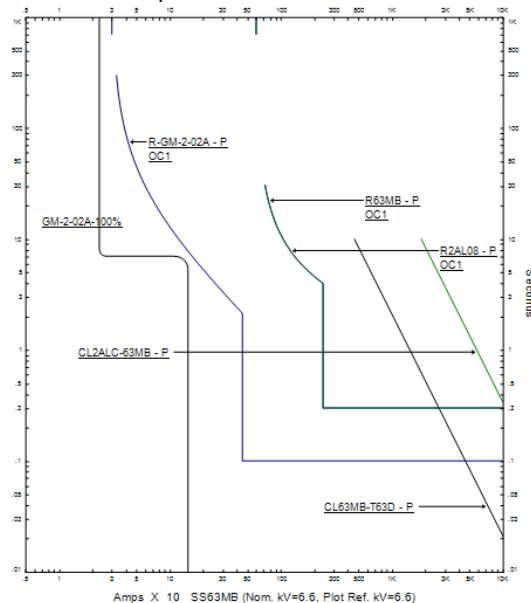
- Range : $0.08 I_n - 32 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $1.92 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 2400 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.3 detik

Hasil perhitungan ini dimasukkan ke dalam software Etap, berikut merupakan kurva TCC dari tipikal 2.

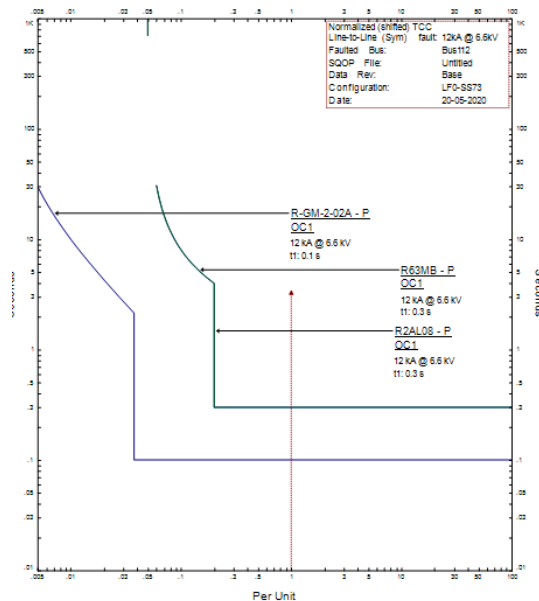


Gambar 4. 4 TCC setting rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2

Berdasarkan gambar 4.6 Rele R-GM-2-02A tidak akan bekerja ketika motor *starting*. Ketika terjadi gangguan pada motor di sisi beban 6.6 kV maka trafo dan generator STG 2-3 akan memberikan arus kontribusi ke titik dimana gangguan itu terjadi. Berikut merupakan TCC ketika gangguan terjadi pada Bus 6.6 kV

Berdasarkan Gambar 4.7 TCC tipikal 2, ketika terjadi gangguan pada motor, rele R-GM-2-02A akan bekerja 0.1 detik sebagai pengaman utama. R-63MB dan R-2AL08 sebagai *back up* yang akan bekerja pada waktu 0.3 detik. Berdasarkan *setting* parameter ini, maka ketika terjadi

gangguan di motor 6.6 kV. Maka sistem akan terisolasi dengan terlepasnya motor dari L-L.



Gambar 4. 5 TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2 ketika terjadi gangguan pada motor GM-2-02A 6.6 kV

4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Pada tipikal 3, koordinasi rele arus lebih gangguan fasa ini merupakan koordinasi dari Generator STG 2-3 sampai pada sisi *ring Bus*. Untuk menentukan *setting* rele pada tipikal 3 harus mempertimbangkan beban yang terhubung dengan Bus 2AL-A (Bus C) yang bisa dilihat hasil proteksi pada tipikal 2.

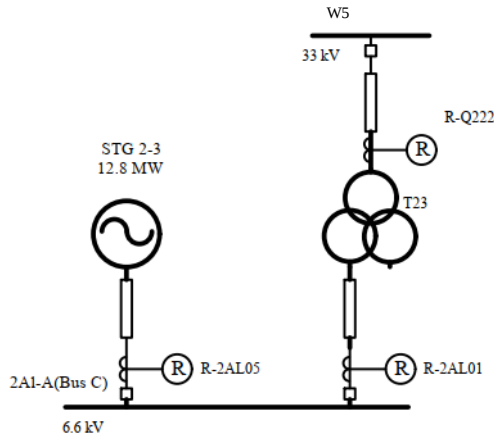
Dari gambar 4.8 rele R-Q222 dan R-2AL01 adalah rele pengaman trafo T23 sehingga dalam menentukan *setting* rele tersebut mempertimbangkan *damage curve* dan *inrush current*.

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan *setting* dan *single line diagram* (SLD) rele pada tipikal 3 :

- **R-2AL01**

Manufactured : ALSTOM
Model : P122

Tipe Kurva : IEC- *Standard Inverse*
 Rasio CT : 1000/1
 FLA Sekunder T23 : 699.8 A
 I_{sc} min 30 cycle Bus 2A1 A yang melewati R-2AL01 : 1660 A
 I_{sc} max 30 cycle SS63MA yang melewati R-2AL01 : 5870 A



Gambar 4. 6 *Single Line Diagram (SLD)* tipikal 3 rele arus lebih gangguan fasa

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA} \\
 1.05 \times 699.8\text{A} &\leq I_{set} \leq 1.4 \times 699.8\text{A} \\
 734.79 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 979.72 \text{ A} \\
 \frac{734.79}{1000} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{979.72}{1000} I_n \\
 0.7349 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0.97972 I_n
 \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.1 I_n - 25 I_n$, step :0,01
- Dipilih Tap = $0.8 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 800 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.5 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P122, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.5 \times \left[\left(\frac{5870}{600} \right)^1 - 1 \right]}{13.4}$$

$$TD = 0.14523$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.14523 (*step* : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.5

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 699.8 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 1660 \text{ A}$$

$$1119.68 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1328 \text{ A}$$

$$\frac{1119.68}{1000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{29840}{1000} I_n$$

$$1.19 I_n \leq \text{Tap} \leq 1.328 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 32 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $1.3 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1300 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.5 detik

• R-2AL05

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC-Very Inverse

Rasio CT : 1500/5

FLA Generator STG 2-3 : 1400 A

I_{sc} min 30 cycle Bus 2AL-A

yang melewati R-2Al05 : 6240 A

I_{sc} max 30 cycle Bus 2AL-A

yang melewati R-2Al05 : 2860 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 1400A \leq I_{set} \leq 1.4 \times 1400A$$

$$1470 A \leq I_{set} \leq 1960 A$$

$$\frac{1470}{600} I_n \leq Tap \leq \frac{1960}{600} I_n$$

$$0.98 I_n \leq Tap \leq 1.306 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step :0,01
- Dipilih Tap = $1 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1500 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.7 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{13.5}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$TD = \frac{0.7 \times \left[\left(\frac{2860}{1500} \right)^1 - 1 \right]}{13.4}$$

$$TD = 0.047$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.047 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.7

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 1500 A \leq I_{set} \leq 0.8 \times 6240 A$$

$$2240 A \leq I_{set} \leq 4992 A$$

$$\frac{2240}{1500} I_n \leq Tap \leq \frac{4992}{1500} I_n$$

$$1.49 I_n \leq Tap \leq 3.328 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 10 I_n$, step :0,01
- Dipilih Tap = $1.5 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 2250 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.7 detik

- **R-Q232**

<i>Manufactured</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P142
<i>Tipe Kurva</i>	: IEC-Standard Inverse
<i>Rasio CT</i>	: 500/1
<i>FLA</i>	: 279.9 A

I_{sc} min 30 cycle Primer T23
yang melewati R-Q232 : 1390 A

I_{sc} max 4 cycle Bus 2AL-A
yang melewati R-Q232 : 786 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 279.9\text{A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 279.9\text{A}$$

$$293.89\text{A} \leq I_{set} \leq 391.86\text{A}$$

$$\frac{293.89}{500} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{391.86}{500} I_n$$

$$0.5877 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.783 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $0.6 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 300 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.7 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.7 \times \left[\left(\frac{786}{500} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.0973$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.0973 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.325

Instantaneous Overcurrent Pickup

Rele R-Q232 digunakan untuk melindungi trafo, *setting instantaneous*, digunakan data arus hubung singkat :

- I_{sc} min 30 cycle Primer T23 yang melewati R-Q232 = 1390 A
- I_{sc} max 4 cycle sekunder T23 yang melewati R-Q232 = 786 A

Karena I_{sc} max 4 cycle sekunder T23 kurang dari $0.8 I_{sc}$ min 30 cycle Primer T23 maka penentuan *setting* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ max 4 cycle} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle} \\ 786 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 1390 \text{ A} \\ 786 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1112 \text{ A} \\ \frac{786}{500} I_n &\leq Tap \leq \frac{1112}{500} I_n \\ 1.572 I_n &\leq Tap \leq 2.224 I_n \end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan arus inrush pada Trafo, Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 32 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $2.5 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1250 A

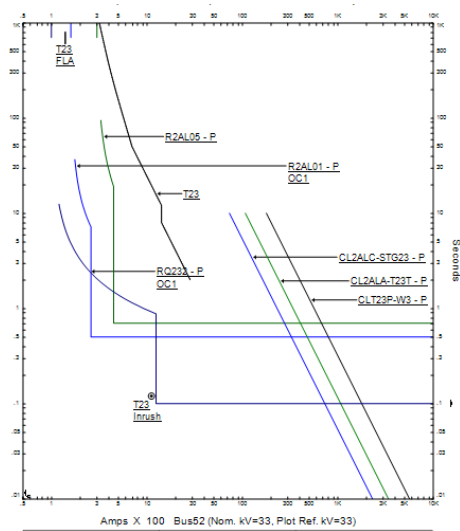
Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.1 detik

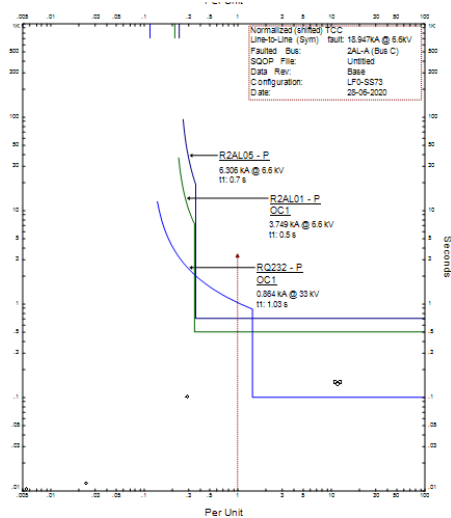
Hasil dari perhitungan ini emudian di inputkan ke software ETAP. Berikut merupakan plot dari kurva karakteristik waktu pada tipikal 3 berkaitan dengan *setting* rele dan L-Lnya.

Berdasarkan gambar 4.9 Ketika trafo T23 menarik arus *inrush*, rele R-2A101 dan R-Q232 tidak bekerja. Kedua rele tersebut melindungi trafo T23 dari gangguan hubung singkat yang bisa menimbulkan kerusakan. Hal ini bisa dilihat dimana kurva rele berada di bawah kurva kerusakan (*damage curve*)trafo.

Generator STG 2-3 dan trafo 3 belitan akan memberikan arus kontribusi ketika terjadi gangguan hubung singkat pada Bus 2A1-A (Bus C). Rele R-2A101 bekerja dengan waktu 0.5 detik, rele R2A105 akan melindungi generator STG 2-3 akan bekerja dengan waktu 0.7 detik. Ketike R-2A101 gagal bekerja, maka R-Q232 akan bekerja dalam waktu 1.03 detik. Berdasarkan *setting* ini, maka Bus 2A1 A (Bus C) akan terisolasi dari arus kontribusi trafo dan arus kontribusi generator ketika terjadi gangguan di Bus 2A1 A (Bus C). Fenomena ini bisa dilihat dalam gambar 4.10:

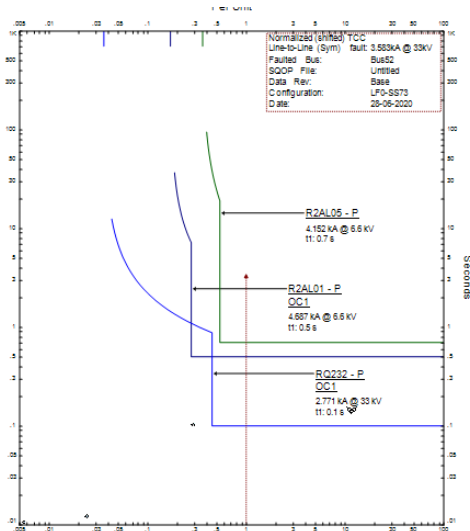


Gambar 4. 7 TCC setting rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3



Gambar 4. 8 TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 ketika terjadi gangguan pada Bus 2AL-A

Ketika terjadi hubung singkat di sisi primer trafo T23, maka Generator STG 2-3 akan memberikan kontribusi ke titik gangguan, berikut merupakan kurva hasil simulasi :



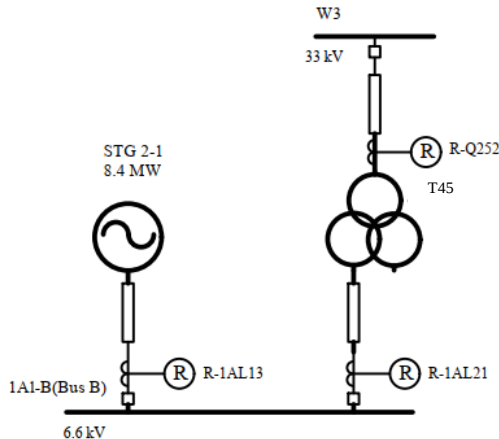
Gambar 4. 9 TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 ketika terjadi gangguan pada sisi sekunder Trafo T23

Ketika terjadi gangguan di sisi sekunder trafo Rele R-Q232 akan cepat bekerja dengan waktu 0.1 detik, Rele R-2-AL05 pada waktu 0.5 detik. Dan Rele R-2AL01 akan bekerja dengan waktu 0.7 detik.

4.3.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Tipikal 4 merupakan koordinasi proteksi arus lebih untuk generator STG 2-1 pada Bus 1 AL-B (Bus B) sampai ke sisi ring Bus.

Berdasarkan gambar SLD di atas, rele R-1AL21 dan R-Q222 keduanya merupakan rele pengaman trafo T45 sehingga harus mempertimbangkan *damage curve* dan *inrush current* pada trafo T45. Penentuan tipikal 4 harus mempertimbangkan hasil dari *setting* pada tipikal 1 karena terhubung dengan Bus 1AL-B, Berikut merupakan gambar dari tipikal 4:



Gambar 4. 10 Single Line Diagram (SLD) tipikal 4 rele arus lebih gangguan fasa

Perhitungan *setting* rele untuk tipikal 4 adalah sebagai berikut :

- **R-1AL21**

Manufactured : ALSTOM
 Model : P122
 Tipe Kurva : IEC- *Standard Inverse*
 Rasio CT : 1000/1
 FLA Sekunder T23 : 699.8 A
 I_{sc} min 30 cycle Bus 1AL-B yang melewati R-1A121 : 3410 A
 I_{sc} max 30 cycle Bus 1 AL-B yang melewati R-2AL01 : 5700 A

Time Overcurrent Pickup

$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$
 $1.05 \times 699.8\text{A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 699.8\text{A}$
 $734.79 \text{ A} \leq I_{set} \leq 979.72 \text{ A}$
 $\frac{734.79}{1000} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{979.72}{1000} I_n$
 $0.7349 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.97972 I_n$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.1 I_n - 25 I_n$, step : 0,01
- Dipilih Tap = $0.8 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 800 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.7 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P122, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.5 \times \left[\left(\frac{5700}{600} \right)^1 - 1 \right]}{13.4}$$

$$TD = 0.143733$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.143733 (*step* : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.5

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1.6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1.6 \times 699.8 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 3410 \text{ A}$$

$$1119.68 \text{ A} \leq I_{set} \leq 2728 \text{ A}$$

$$\frac{1119.68}{1000} I_n \leq Tap \leq \frac{29840}{1000} I_n$$

$$1.19 I_n \leq Tap \leq 2.728 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 32 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $1 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1000 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.5 detik

• R-2AL13

Manufactured : ALSTOM

Model : P343

Tipe Kurva : IEC-Very Inverse

Rasio CT : 1000/5

FLA Generator STG 2-3 : 1400 A

I_{sc} min 30 cycle Bus 1AL-B

yang melewati R-2Al05 : 3100 A

I_{sc} max 30 cycle Bus 1A1-A
yang melewati R-2A105 : 3210 A

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1.05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1.4 \times FLA \\ 1.05 \times 1400A &\leq I_{set} \leq 1.4 \times 1400A \\ 1470 A &\leq I_{set} \leq 1960 A \\ \frac{1470}{1000} I_n &\leq Tap \leq \frac{1960}{1000} I_n \\ 1.470 I_n &\leq Tap \leq 1.960 I_n \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step :0,01
- Dipilih Tap = $1.5 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1500 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.7 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva *IEC-Standard Inverse* digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{13.5}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$TD = \frac{0.7 \times \left[\left(\frac{3210}{1500} \right)^1 - 1 \right]}{13.4}$$

$$TD = 0.11459$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.11459 (step : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.7

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1.6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle} \\ 1.6 \times 1500 A &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 3530 A \\ 2240 A &\leq I_{set} \leq 2480 A \\ \frac{2240}{1000} I_n &\leq Tap \leq \frac{2480}{1000} I_n \\ 2.24 I_n &\leq Tap \leq 2.48 I_n \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 10 I_n$, step :0,01

- Dipilih Tap = $2.3 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 2300 A

Time Delay

Time Delay yang dipilih adalah = 0.7 detik

• **R-Q252**

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC-Standard Inverse

Rasio CT : 500/1

FLA : 279.9 A

I_{sc} min 30 cycle Primer T23

yang melewati R-Q232 : 1240 A

I_{sc} max 4 cycle Bus 2AL-A

yang melewati R-Q232 : 743 A

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$1.05 \times 279.9 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1.4 \times 279.9 \text{ A}$$

$$734.79 \text{ A} \leq I_{set} \leq 979.72 \text{ A}$$

$$\frac{293.89}{500} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{391.86}{500} I_n$$

$$0.5877 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.783 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 4 I_n$, step : 0,01

- Dipilih Tap = $0.6 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 300 A

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0.7 detik

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, untuk menentukan *time dial* dengan kurva IEC-Standard Inverse digunakan dengan rumus :

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0.14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = \frac{0.7 \times \left[\left(\frac{743}{500} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14}$$

$$TD = 0.09152$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0.1177 (*step* : 0.025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0.12

Instantaneous Overcurrent Pickup

Rele R-Q232 digunakan untuk melindungi trafo, *setting instantaneous*, digunakan data arus hubung singkat :

- I_{sc} min 30 cycle Primer T23 yang melewati R-Q232 = 2480 A
- I_{sc} max 4 cycle sekunder T23 yang melewati R-Q232 = 743 A

Karena I_{sc} max 4 cycle sekunder T23 kurang dari 0.8 I_{sc} min 30 cycle Primer T23 maka penentuan *setting* adalah sebagai berikut :

$$I_{sc} \text{ max 4 cycle} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle}$$

$$743 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0.8 \times 1240 \text{ A}$$

$$743 \text{ A} \leq I_{set} \leq 992 \text{ A}$$

$$\frac{743}{500} I_n \leq Tap \leq \frac{992}{500} I_n$$

$$1.486 I_n \leq Tap \leq 1.984 I_n$$

Dengan mempertimbangkan arus *inrush* trafo, maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 32 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $2.77 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 1385 A

Time Delay

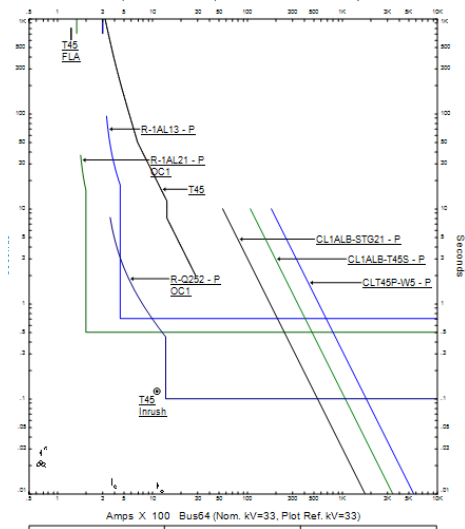
Time Delay yang dipilih adalah = 0.1 detik

Gambar 4.13 merupakan hasil kurva TCC setelah disimulasikan dalam aplikasi ETAP.

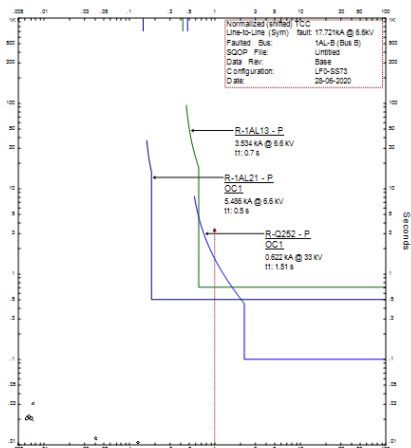
Ketika terjadi hubung singkat pada Bus 1 AL-B, maka rele R-1AL21, maka rele R-1AL21 akan melokalisasi gangguan pada waktu 0.5 detik dan Rele R-1AL13 akan mengamankan trafo pada waktu 0.7 detik, ketika rele R-Q252 akan menjadi backup pada waktu 1.51 ketika Rele R-1 Al 21 gagal bekerja, berikut merupakan hasil simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.14

Ketika terjadi hubung singkat pada primer Trafo T45 maka rele R-Q252 akan melokalsasi gangguan dengan waktu 0.1 detik, dan rele berikutnya yang akan trip adalah rele R-1AL21 dengan waktu 0.5 detik dan R-1AL13 dalam waktu 0.7 detik. Hasil analisa kurva TCC ketika

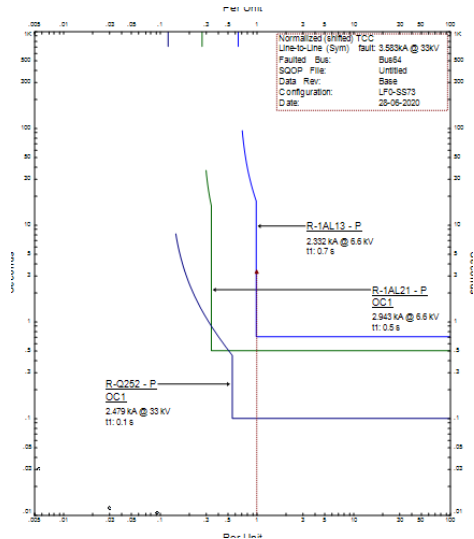
terjadi hubung singkat pada bagian sekunder sisi primer bisa diamati pada Gambar 4.15



Gambar 4. 11 TCC setting rele arus lebih gangguan fasa tipikal 4



Gambar 4. 12 TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 4 ketika gangguan pada Bus 1AL-B



Gambar 4. 13 TCC rele arus lebih gangguan fasa tipikal 4 ketika terjadi gangguan pada sisi sekunder Trafo 45

4.4 Koordinasi Rele Gangguan Tanah

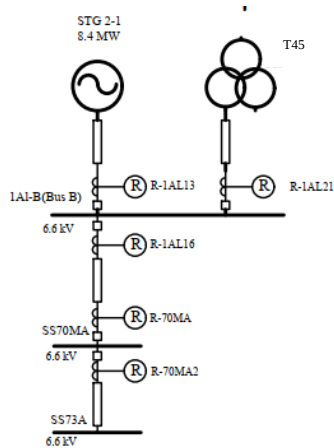
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan tanah atau *ground fault relay* mengacu pada NGR yang terpasang pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan. NGR pada sistem kelistrikan ini mengacu pada NGR Generator yang mempunyai NGR 1000 Ampere, karena gangguan hubung singkat pada 18 Juli mengakibatkan 3 unit mati yang disuplai dari sistem Bus 2A1 dan 1 A1 jadi dibuat 2 tipikal, berikut merupakan perhitungan koordinasi rele arus lebih gangguan tanah pada sistem PT Pertamina RU V Balikpapan

4.4.1 Koordinasi Rele Gangguan Tanah Tipikal 1

Koordinasi rele ini mengacu pada NGR yang terdapat pada STG 2-1 yang terhubung pada *main Bus 1AL-B (Bus B)*.

Untuk menentukan *setting* rele pada tipikal ini mengacu pada NGR yang terinstal pada unit STG 2-1, sehinggannya untuk *setting* rele dari R-70MA2 dan R-1A121 memiliki *time delay* yang sama. Berikut

merupakan *single line diagram* (SLD) dan perhitungan *setting* tipikal 1 pada rele gangguan tanah (*ground fault relay*):



Gambar 4. 14 *Single Line Diagram* (SLD) tipikal 1 rele gangguan tanah

- **R-70MA21**

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : *Definite Time*

Rasio CT : 600/5

$I_{max NGR}$ pada STG 2-1 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$$

$$10\% \times 1000 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A}$$

$$100 \text{ A} \leq I_{set} \leq 500 \text{ A}$$

$$\frac{100}{600} I_n \leq Tap \leq \frac{500}{600} I_n$$

$$0.167 I_n \leq Tap \leq 0.83 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01

- Dipilih $Tap = 0.8 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 480 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.1 detik

- **R-70MA**

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : *Definite Time*

Rasio CT : 600/1

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-1 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{NGR} \leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR}$$

$$10\% \times 1000 \text{ A} \leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A}$$

$$100 \text{ A} \leq I_{Set} \leq 500 \text{ A}$$

$$\frac{100}{600} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{500}{600} I_n$$

$$0.167 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.83 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01

- Dipilih Tap = $0.8 I_n$

I_{Set} yang dipilih adalah 480 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.3 detik

- **R-1AL16**

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : *Definite Time*

Rasio CT : 1250/5

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-1 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{NGR} \leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR}$$

$$10\% \times 1000 \text{ A} \leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A}$$

$$100 \text{ A} \leq I_{Set} \leq 500 \text{ A}$$

$$\frac{100}{1250} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{500}{1250} I_n$$

$$0.08 I_n \leq \text{Tap} \leq 0.4 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01

- Dipilih Tap = $0.4 I_n$

I_{Set} yang dipilih adalah 500 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.3 detik

- **R-1AL13**

Manufactured : ALSTOM
Model : P343
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1000/5

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-1 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 10\% \times I_{NGR} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR} \\ 10\% \times 1000 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A} \\ 100 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 500 \text{ A} \\ \frac{100}{1000} I_n &\leq Tap \leq \frac{500}{1000} I_n \\ 0.1 I_n &\leq Tap \leq 0.5 I_n \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih $Tap = 0.5 I_n$

I_{Set} yang dipilih adalah 500 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.5 detik

- **R-1AL21**

Manufactured : ALSTOM
Model : P122
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1000/5

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-1 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 10\% \times I_{NGR} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR} \\ 10\% \times 1000 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A} \\ 100 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 500 \text{ A} \\ \frac{100}{600} I_n &\leq Tap \leq \frac{500}{600} I_n \\ \frac{100}{1000} I_n &\leq Tap \leq \frac{500}{1000} I_n \\ 0.1 I_n &\leq Tap \leq 0.5 I_n \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

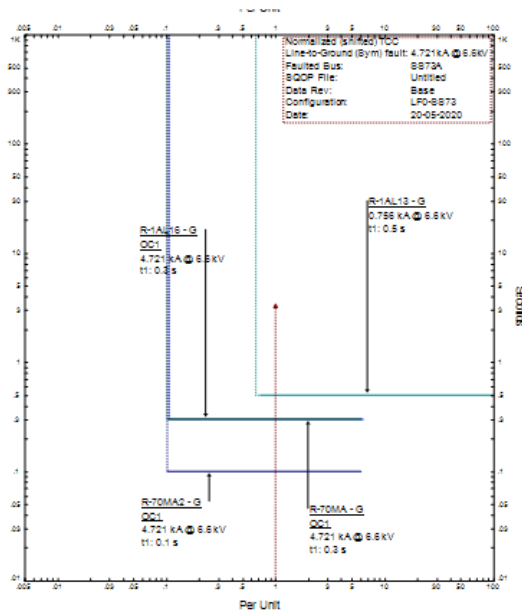
- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih $Tap = 0.5 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 500 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.1 detik

Ketika terjadi gangguan hubung singkat gangguan tanah pada tipikal 1 diatas, maka rele akan merasakan arus 1000 A yang berasal dari NGR generator STG 2-1, Berikut merupakan hasil simulasi ketika terjadi gangguan tanah di SS73A.

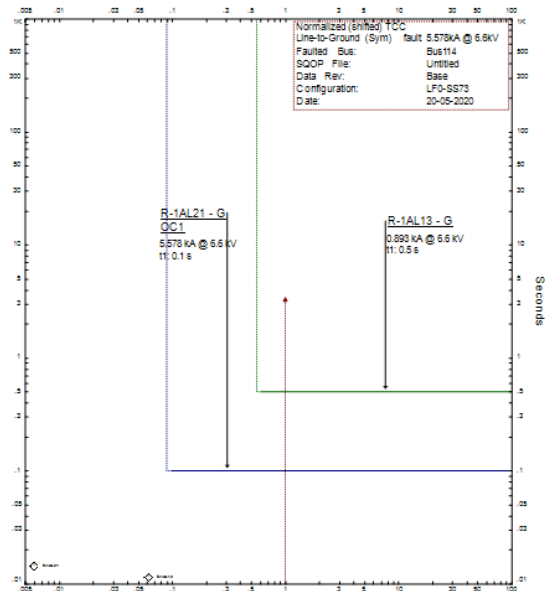


Gambar 4. 15 TCC rele gangguan tanah tipikal 1 ketika gangguan di SS73A

Berdasarkan gambar diatas ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah, Rele R-70MA2 sebagai pengaman utama akan bekerja pada waktu 0.1 detik. Rele R-70MA dan R-1AL16 akan menjadi *back up* pada waktu 0.3 detik. Rele R-1AL16 akan sebagai pelindung generator STG 2-1 akan bekerja di waktu 0.5 detik. Ketika hubung singkat gangguan tanah terjadi pada SS73A maka L-L tersebut akan terlepas dari sistem sehingga gangguan dapat terisolasi.

Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada sisi sekunder trafo T45, maka rele R-1AL21 sebagai pengaman utama akan bekerja

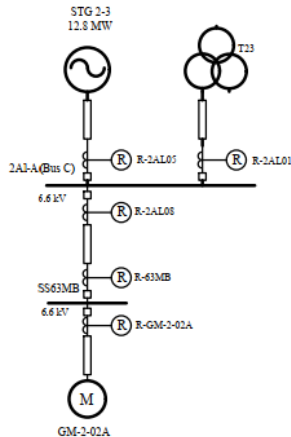
pada waktu 0.1 detik, dan rele R-1AL13 sebagai pengaman rele generator akan bekerja pada waktu 0.5 detik. Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, ketika hubung singkat gangguan tanah terjadi pada sisi sekunder trafo T45 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 16 TCC rele gangguan tanah tipikal 1 ketika terjadi gangguan pada sisi sekunder Trafo T45

4.4.2 Koordinasi Rele Gangguan Tanah Tipikal 2

Koordinasi rele ini mengacu pada NGR yang terdapat pada STG 2-3 yang terhubung pada *main Bus* 2AL-A (*Bus C*). Untuk menentukan *setting* rele pada tipikal ini mengacu pada NGR yang terinstal pada unit STG 2-3, sehingga untuk *setting* rele dari R-2AL05 dan R-2AL01 memiliki *time delay* yang sama. Berikut merupakan single line diagram (SLD) perhitungan *setting* tipikal 2 pada *ground fault relay*:



Gambar 4. 17 Single Line Diagram (SLD) tipikal 2 rele gangguan tanah

- **R-GM-2-02A**

Manufactured : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : *Definite Time*

Rasio CT : 30/5

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-3 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{NGR} \leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR}$$

$$10\% \times 1000 \text{ A} \leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A}$$

$$100 \text{ A} \leq I_{Set} \leq 500 \text{ A}$$

$$\frac{100}{30} I_n \leq Tap \leq \frac{500}{30} I_n$$

$$3.33 I_n \leq Tap \leq 16.67 I_n$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- Range : $0.08 I_n - 25 I_n$, step : 0,005

- Dipilih Tap = $15 I_n$

I_{Set} yang dipilih adalah 450 A

Time Dial

Dipilih time dial 0.1 detik

- **R-63MB**

Manufactured : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 600/1
 $I_{\max NGR}$ pada STG 2-1 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 10\% \times I_{NGR} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR} \\
 10\% \times 1000 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A} \\
 100 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 500 \text{ A} \\
 \frac{100}{600} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{500}{600} I_n \\
 0.167 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0.83 I_n
 \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $0.8 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 480 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.3 detik

- **R-2AL08**

Manufactured : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1250/5
 $I_{\max NGR}$ pada STG 2-3 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 10\% \times I_{NGR} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR} \\
 10\% \times 1000 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A} \\
 100 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 500 \text{ A} \\
 \frac{100}{1250} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{500}{1250} I_n \\
 0.08 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0.4 I_n
 \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $0.4 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 500 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.3 detik

- **R-2AL05**

Manufactured : ALSTOM
Model : P343
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1500/5

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-3 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 10\% \times I_{NGR} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR} \\
 10\% \times 1000 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A} \\
 100 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 500 \text{ A} \\
 \frac{100}{1500} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{500}{1500} I_n \\
 0.06 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0.33 I_n
 \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $0.3 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 450 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.5 detik

- **R-2AL01**

Manufactured : ALSTOM
Model : P122
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1000/1

$I_{\max NGR}$ pada STG 2-3 : 1000 Ampere

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 10\% \times I_{NGR} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times I_{NGR} \\
 10\% \times 1000 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A} \\
 100 \text{ A} &\leq I_{Set} \leq 500 \text{ A} \\
 \frac{100}{1000} I_n &\leq \text{Tap} \leq \frac{500}{1000} I_n \\
 0.1 I_n &\leq \text{Tap} \leq 0.5 I_n
 \end{aligned}$$

Maka parameter untuk Simulasi ETAP adalah :

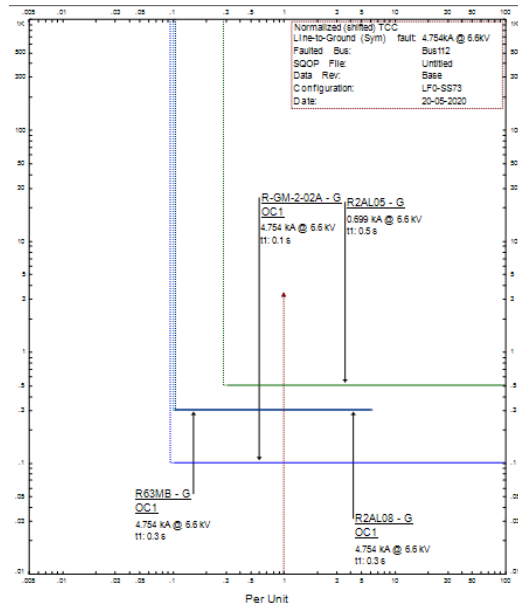
- *Range* : $0.08 I_n - 4 I_n$, *step* : 0,01
- Dipilih Tap = $0.5 I_n$

I_{set} yang dipilih adalah 500 A

Time Dial

Dipilih *time dial* 0.1 detik

Ketika terjadi gangguan hubung singkat gangguan tanah pada motor GM-2-02A tipikal 2 diatas, maka rele akan merasakan arus 1000 A yang berasal dari NGR generator STG 2-3, Berikut merupakan hasil simulasi ketika terjadi gangguan tanah dimotor GM-2-02A.

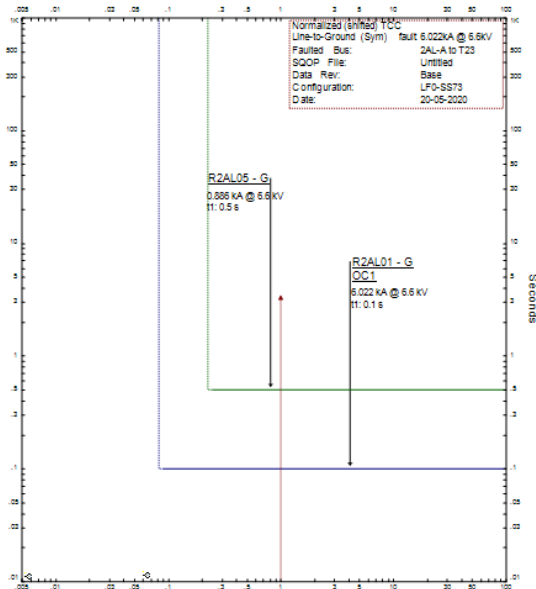


Gambar 4. 18 TCC rele gangguan tanah tipikal 2 ketika terjadi gangguan di motor GM 2-02A

Berdasarkan gambar diatas ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah, Rele R-GM-2-02A sebagai pengaman utama motor akan bekerja dalam waktu 0.1 detik. Rele R-63MB dan R-2AL08 akan menjadi *back up* dengan waktu 0.3 detik. Rele R-2AL05 akan sebagai pelindung generator STG 2-3 akan bekerja di waktu 0.5 detik. Ketika hubung singkat gangguan tanah terjadi pada motor GM-2-02A maka L-L tersebut akan terlepas dari sistem sehingga gangguan dapat terisolasi.

Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada sisi sekunder Trafo T23, maka rele R-2AL01 sebagai pengaman utama akan bekerja pada waktu 0.1 detik, dan rele R-2AL05 sebagai pengaman rele generator akan bekerja pada waktu 0.5 detik. Berdasarkan simulasi yang sudah

dilakukan, ketika hubung singkat gangguan tanah terjadi pada sisi sekunder Trafo T23 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 19 TCC rele gangguan tanah tipikal 2 ketika gangguan pada sisi sekunder trafo T45

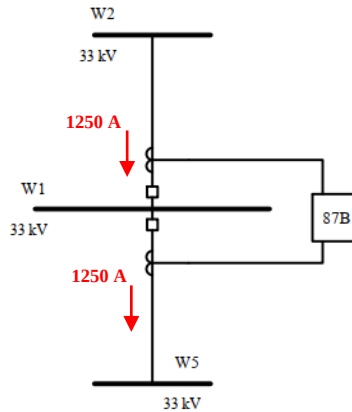
4.5 Koordinasi Rele Diferensial

PT Pertamina RU V Balikpapan, rele diferensial yang digunakan untuk sisi *ring Bus* 33 kV. Rele diferensial yang akan diamati itu terdapat 5 tipikal, yaitu itu untuk *Bus* W1, W2, W3, W4, W5. Dalam penentuan setting rele diferensial ada yang beberapa harus dipertimbangkan, antara lain :

- Aliran arus saat kondisi normal
- Aliran arus saat gangguan eksternal L-L
- Aliran arus saat gangguan eksternal 3 fasa
- Aliran arus saat gangguan internal

Parameter rele diferensial yang bisa diatur adalah arus *pickup* dan *slope*. Arus *pickup* dan *slope* dapat ditentukan sebagai berikut :

- Arus *pickup* ditentukan dengan mengacu I_{diff} ketika kondisi normal

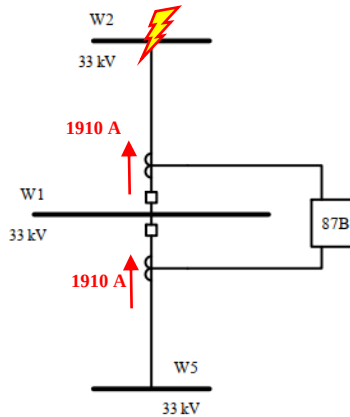


Gambar 4. 21 Skema Rele Diferensial Tipikal 1 saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q21} \\
 &= \frac{1250}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 0.95 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q15} \\
 &= \frac{1250}{1250/1} \times 105\% \\
 &= 1.05 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|0.95| , |1.05|) \\
 &= 1.05 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |0.95 - 1.05| \\
 &= 0.1 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0.1}{1.05} \times 100\% \\
 &= 9.52 \%
 \end{aligned}$$

- **Gangguan Eksternal *Line to Line***
Bus W2

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada sisi *Bus W2*, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



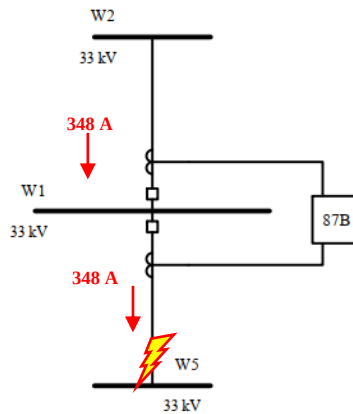
Gambar 4. 22 Skema Rele Diferensial Tipikal 1 saat terjadi gangguan eksternal L-L di *Bus W2*

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q21} \\
 &= \frac{-1910}{1250/1} \times 95\% \\
 &= -1.4516 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q15} \\
 &= \frac{-2020}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -1.6044 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|-1.4516|, |-1.6044|) \\
 &= 1.6044 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |-1.4516 - (-1.6044)| \\
 &= 0.1528 \text{ A} \\
 \text{Slope} (\%) &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.1528}{1.6044} \times 100\% \\
 &= 9.5238 \%
 \end{aligned}$$

Bus W5

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada Bus w5, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:



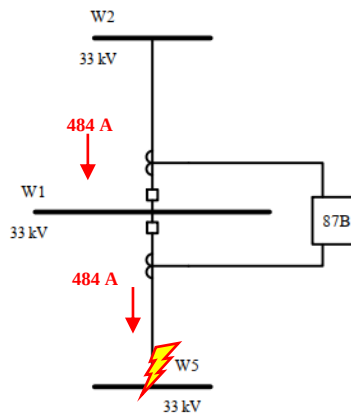
Gambar 4. 23 Skema Rele Diferensial Tipikal 1 ketika terjadi gangguan eksternal L-L di Bus W5

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q21} \\
 &= \frac{348}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 0.26448 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q15} \\
 &= \frac{348}{1250/1} \times 105\% \\
 &= 0.2923 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|0.26448|, |0.2923|) \\
 &= 0.2923 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |0.26448 - 0.2923| \\
 &= 0.0278 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.1 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |-1.9 - (-2.1)| \\
 &= 0.2 \text{ A} \\
 \text{Slope} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 (\%) &= \frac{0.2}{2.1} \times 100\% \\
 &= 9.5238 \%
 \end{aligned}$$

Bus W5

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus w5, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:



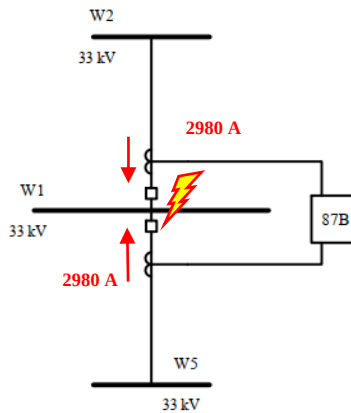
Gambar 4. 25 Skema Rele Diferensial Tipikal 1 ketika terjadi gangguan eksternal tiga fasa di Bus W5

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q21} \\
 &= \frac{484}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 0.36784 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q15} \\
 &= \frac{484}{1250/1} \times 105\% \\
 &= 0.40656 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{-2110}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -1.7224 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks}(|1.6036|, |-1.7224|) \\
 &= 1.7224 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |1.6036 - (-1.7224)| \\
 &= 3.376 \text{ A} \\
 \text{Slope} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 (\%) &= \frac{3.376}{1.7224} \times 100\% \\
 &= 190.48 \%
 \end{aligned}$$

Gangguan 3 Fasa Bus W1

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus w1, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:

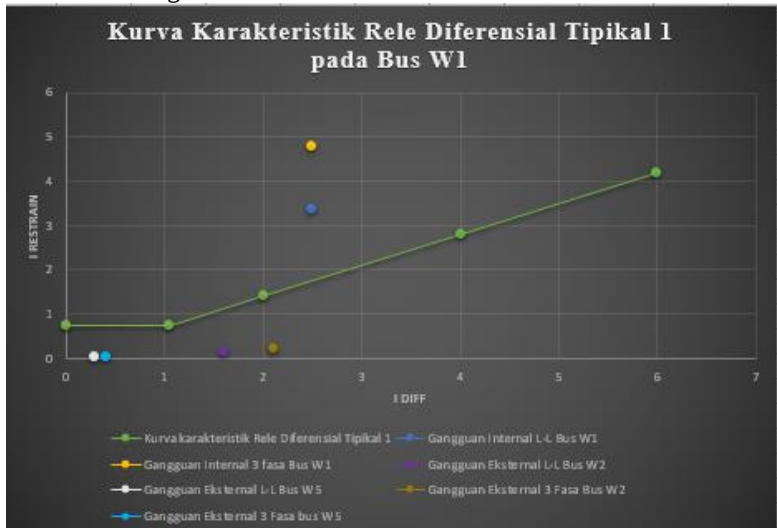


Gambar 4. 27 Skema Rele diferensial tipikal 1 ketika terjadi gangguan internal tiga fasa di Bus W1

$$I_{\text{Primer}} = I_{Q21}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2980}{1250/1} \times 95\% \\
&= 2.2648 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q15} \\
&= \frac{-2590}{1250/1} \times 105\% \\
&= -2.5032 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|2.2648|, |-2.5032|) \\
&= 2.5032 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |2.2648 - (-2.5032)| \\
&= 4.768 \text{ A} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{4.768}{2.5032} \times 100\% \\
&= 190.48 \%
\end{aligned}$$

Berasarkan perhitungan di atas, penentuan *setting* rele diferensial tipikal 1 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 28 kurva karakteristik rele diferensial tipikal 1

- Berikut merupakan kurva karakteristik *setting* rele diferensial pada Bus W1

4.5.2 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 2

Dari skema diatas, rele diferensial akan membaca arus sekunder dari CT yang terpasang.

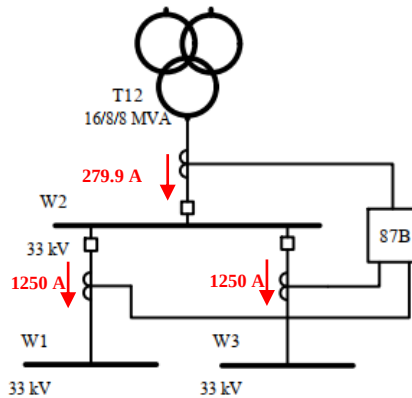
- 71

- Arus sekunder (I_{sekunder}) pada CT₂ yang terbaca pada rele diferensial adalah adalah penjumlahan arus I_{Q21} dan I_{Q23}

Untuk menghitung parameter rele diferensial pada tipikal 1 harus mempertimbangkan kondisi normal, gangguan di dalam dan luar area proteksi. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan rele diferensial:

- **Kondisi Normal**

Saat kondisi normal, arah dan besar aliran arus yang bisa mengalir dibatasi oleh FLA dari trafo di bagian CT primer dan CB yang terpasang pada rele diferensial di CT bagian sekunder, berikut merupakan arah aliran dan besar arus pada tiap feeder tipikal 1 yang akan ditunjukkan pada gambar berikut:



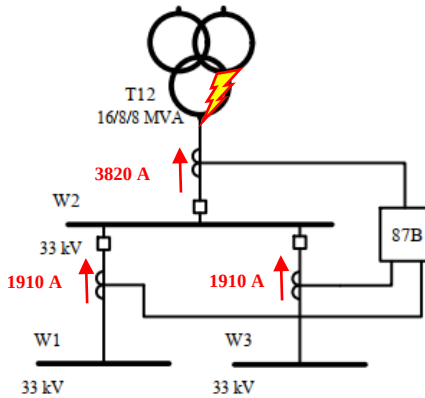
Gambar 4. 30 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
 &= \frac{279.9}{500/1} \times 95\% \\
 &= 0.53181 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23} \\
 &= \left(\frac{1250}{1250/1} + \frac{1250}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 2.1 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|0.53181| , |2.1|)
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{Diff}}$$

- ### Sisi Sekunder Trafo T12

trafo T12, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



Gambar 4. 31 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan L-L di sisi Sekunder Trafo T12

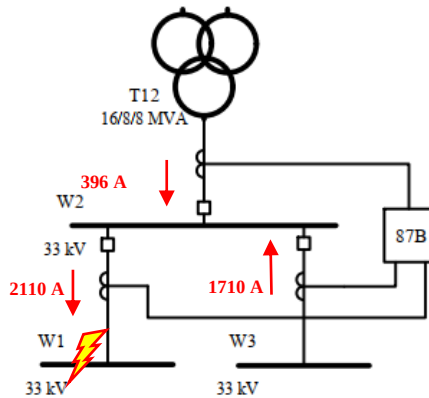
$$I_{\text{Primer}}$$

I Sekunder

$$\begin{aligned}
 &= -3.2088 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|-7.258| , |-3.2088|) \\
 &= 7.258 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |-7.258 - (-3.2088)| \\
 &= 4.0492 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4.0492}{7.258} \times 100\% \\
 &= 55.79 \%
 \end{aligned}$$

Bus W1

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada Bus W1, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:



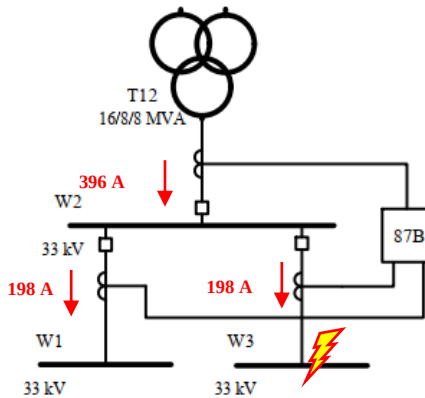
Gambar 4. 32 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
 &= \frac{396}{500/1} \times 95\% \\
 &= 0.7524 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{2110}{1250/1} + \frac{-1710}{1250/1} \right) \times 105\% \\
&= 0.336 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|0.7524| , |0.336|) \\
&= 0.7524 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |0.7524 - 0.336| \\
&= 0.4164 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{0.4164}{0.7524} \times 100\% \\
&= 55.34 \%
\end{aligned}$$

Bus W3

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada Bus W3, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:



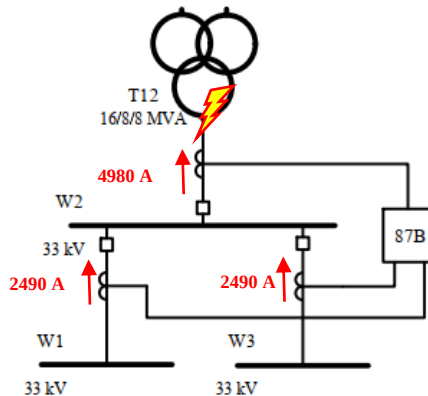
Gambar 4. 33 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada Bus W3

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
&= \frac{396}{500/1} \times 95\% \\
&= 0.7524 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23} \\
&= \left(\frac{198}{1250/1} + \frac{198}{1250/1} \right) \times 105\% \\
&= 0.3326 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|0.7524|, |0.3326|) \\
&= 0.7524 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |0.7524 - 0.3326| \\
&= 0.4198 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{0.4198}{0.7524} \times 100\% \\
&= 55.79 \%
\end{aligned}$$

- **Gangguan Eksternal 3 Fasa
Sisi Sekunder Trafo T12**

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada sisi sekunder trafo T12, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:

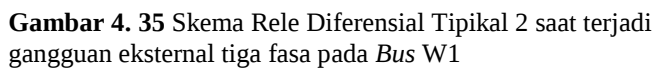


Gambar 4. 34 Skema Relé Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal 3 fasa pada sisi sekunder Trafo T12

$$I_{\text{Primer}} = I_{Q222}$$

$$I_{\text{Sekunder}}$$

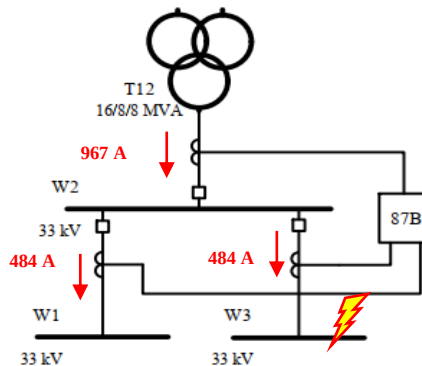
Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada *Bus w1*, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
&= \frac{967}{500/1} \times 95\% \\
&= 1.8373 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23} \\
&= \left(\frac{2980}{1250/1} + \frac{-2010}{1250/1} \right) \times 105\% \\
&= 0.8148 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|1.8373|, |0.8148|) \\
&= 1.8373 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |1.8373 - 0.8148| \\
&= 1.0225 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{1.0225}{1.8373} \times 100\% \\
&= 55.66 \%
\end{aligned}$$

Bus W3

Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Bus W3, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



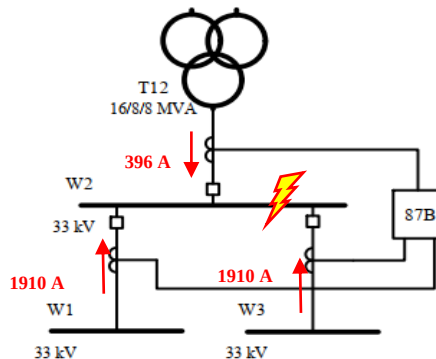
Gambar 4. 36 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada Bus W3

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
 &= \frac{967}{500/1} \times 95\% \\
 &= 1.8373 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23} \\
 &= \left(\frac{484}{1250/1} + \frac{484}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 0.8131 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|1.8373|, |0.8131|) \\
 &= 1.8373 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |1.8373 - 0.8131| \\
 &= 1.0242 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{1.0242}{1.8373} \times 100\% \\
 &= 55.74 \%
 \end{aligned}$$

- **Gangguan Internal**

- Gangguan *Line to Line Bus W2***

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L internal *Bus W2*, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:

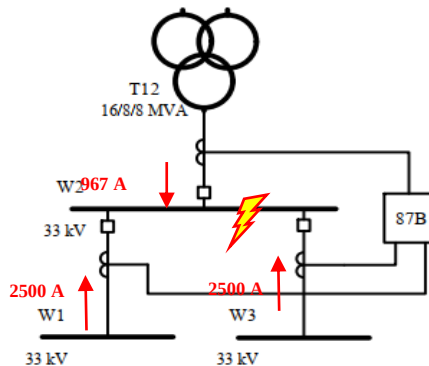


Gambar 4. 37 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan internal L-L di *Bus W2*

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
&= \frac{396}{500/1} \times 95\% \\
&= 0.7524 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23} \\
&= \left(\frac{-1910}{1250/1} + \frac{-1910}{1250/1} \right) \times 105\% \\
&= -3.2088 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|0.7524| , |-3.2088|) \\
&= 3.2088 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |0.7524 - (-3.2088)| \\
&= 3.9612 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{3.9612}{3.2088} \times 100\% \\
&= 123.45 \%
\end{aligned}$$

Gangguan 3 Fasa Bus W2

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L internal Bus W2, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



Gambar 4. 38 Skema Rele Diferensial Tipikal 2 saat terjadi gangguan internal tiga fasa di Bus W2

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q222} \\
 &= \frac{967}{500/1} \times 95\% \\
 &= 1.8373 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q21} + I_{Q23} \\
 &= \left(\frac{-2500}{1250/1} + \frac{-2500}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= -4.2 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|1.8373|, |-4.2|) \\
 &= 4.2 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |1.8373 - (-4.2)| \\
 &= 6.0373 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{6.0373}{4.2} \times 100\% \\
 &= 143.75 \%
 \end{aligned}$$

Berasarkan perhitungan di atas, penentuan *setting* rele diferensial tipikal 1 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 39 Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 2

- Berdasarkan Gambar 4.41 Ketika kondisi normal dan gangguan eksternal terjadi, plot menunjukkan di bawah kurva karakteristik yang mana rele diferensial tidak akan bekerja. Ketika gangguan internal terjadi maka rele diferensial akan bekerja dengan ditunjukkan plot berada di atas kuva karakteristik rele diferensial tipikal 1.

Koordinasi rele diferensial tipikal 1 adalah sebagai pengaman utama ketika terjadi gangguan pada Bus W2 sisi ring Bus. Skema diferensial tipikal 1 adalah sebagai berikut :

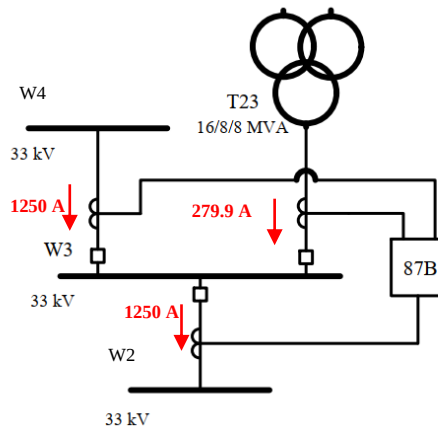


- Arus sekunder (I_{primer}) pada CT₁ yang terbaca pada rele diferensial adalah penjumlahan arus I_{Q43} dan I_{Q232}
- Arus sekunder (I_{sekunder}) pada CT₂ yang terbaca pada rele diferensial adalah arus I_{Q32}

82

- **Kondisi Normal**

Saat kondisi normal, arah dan besar aliran arus yang bisa mengalir dibatasi oleh FLA dari trafo di bagian CT primer dan CB yang terpasang pada rele diferensial di CT bagian primer dan sekunder, berikut merupakan arah aliran dan besar arus pada tiap feeder tipikal 1 yang akan ditunjukan pada gambar berikut:



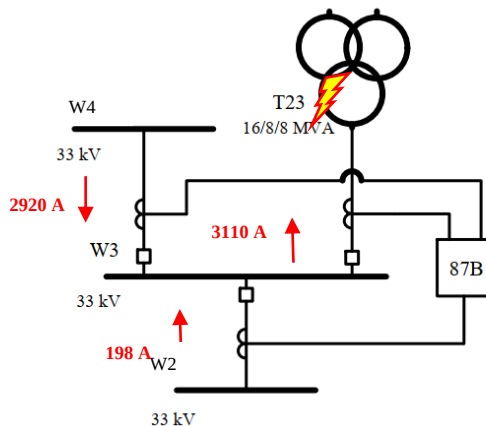
Gambar 4. 41 Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q43} + I_{Q232} \\
 &= \left(\frac{1250}{\frac{1}{1}} + \frac{279.9}{\frac{500}{1}} \right) \times 95\% \\
 &= 1.4818 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q32} \\
 &= \frac{1250}{1250/1} \times 105\% \\
 &= 1.05 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|1.4818|, |1.05|) \\
 &= 1.4818 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |1.4818 - 1.05| \\
 &= 0.43181
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\ (\%) &= \frac{0.43181}{1.4818} \times 100\% \\ &= 29.14\% \end{aligned}$$

- Gangguan Eksternal *Line to Line* Sisi Sekunder Trafo T23

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada sisi sekunder trafo T23, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



Gambar 4. 42 Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal L-L pada Trafo T23

$$\begin{aligned} I_{\text{Primer}} &= I_{Q43} + I_{Q232} \\ &= \left(\frac{2920}{1250/1} + \frac{-3110}{500/1} \right) \times 95\% \\ &= -3.6898 \text{ A} \\ I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q32} \\ &= \frac{-2920}{1250/1} \\ &= -0.1663 \text{ A} \\ I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\ &= \text{Maks} (|-3.6898|, |-0.1663|) \end{aligned}$$

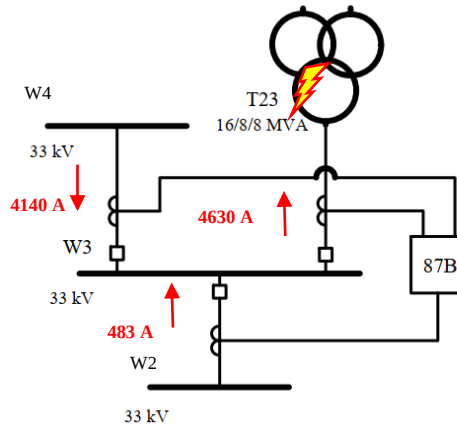
Bus W2

$$\begin{aligned} I_{\text{Primer}} &= I_{Q23} + I_{Q232} \\ &= \left(\frac{811}{1250/1} + \frac{1100}{500/1} \right) \times 95\% \\ &= 2.70636 \text{ A} \\ I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q23} \\ &= \frac{1910}{1250/1} \\ &= 1.6044 \text{ A} \\ I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks } (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|1.102| , |-0.1663|) \\
 &= 1.102 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{sekunder}}| \\
 &= |1.102 - (-0.1663)| \\
 &= 1.26832 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{1.102}{1.26832} \times 100\% \\
 &= 115.09 \%
 \end{aligned}$$

- Gangguan Eksternal 3 Fasa**
Sisi Sekunder Trafo T23

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada sisi sekunder trafo T23, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



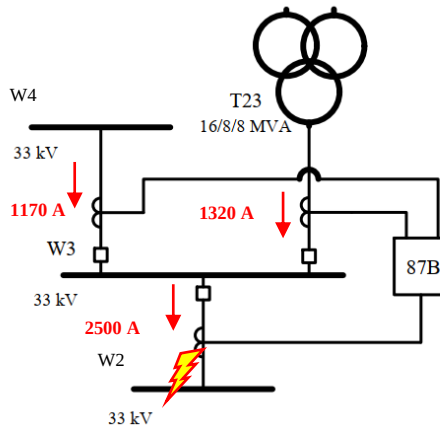
Gambar 4. 45 Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada sisi sekunder Trafo T23

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q43} + I_{Q232} \\
 &= \left(\frac{4140}{1250/1} + \frac{-4630}{500/1} \right) \times 95\% \\
 &= -5.6506 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q32}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{-483}{1250/1} \\
 &= -0.4057 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|-5.6506|, |-0.4057|) \\
 &= 5.6506 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |-5.6506 - (-0.4057)| \\
 &= 5.24488 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{5.24488}{5.6506} \times 100\% \\
 &= 92.82 \%
 \end{aligned}$$

Bus W2

Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Bus W2, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



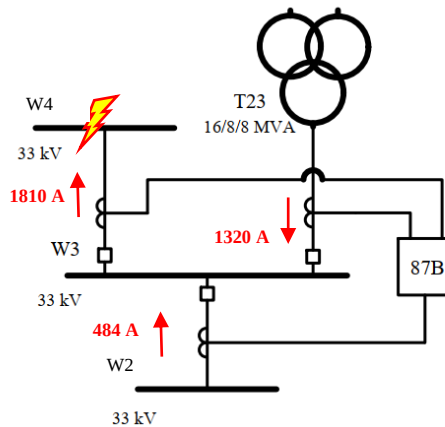
Gambar 4. 46 Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada Bus W2

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q43} + I_{Q232} \\
 &= \left(\frac{1170}{1250/1} + \frac{1320}{500/1} \right) \times 95\% \\
 &= 3.9372 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Sekunder}} &= \frac{I_{Q32}}{2500} \\
 &= \frac{1250/1}{2500} \\
 &= 2.1 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|3.9372|, |2.1|) \\
 &= 3.9372 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |3.9372 - (2.1)| \\
 &= 1.2972 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{1.2972}{3.9372} \times 100\% \\
 &= 29.18\%
 \end{aligned}$$

Bus W4

Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Bus W4, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



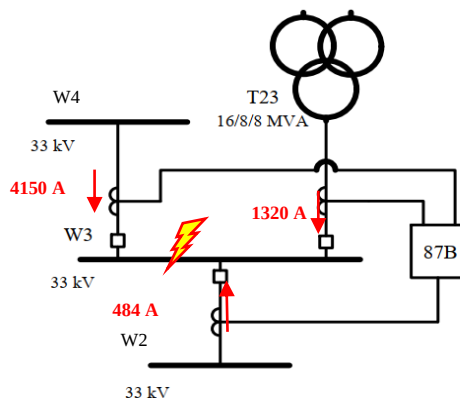
Gambar 4. 47 Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan eksternal tiga fasa pada Bus W4

$$I_{\text{Primer}} = I_{Q43} + I_{Q232}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= \frac{I_{Q43} + I_{Q232}}{\left(\frac{2920}{1250/1} + \frac{110}{500/1}\right)} \times 95\% \\
 &= 4.3092 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= \frac{I_{Q32}}{\frac{-198}{1250/1}} \\
 &= -0.1663 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|4.3092|, |-0.1663|) \\
 &= 4.3092 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |4.3092 - (-0.1663)| \\
 &= 4.47552 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4.47552}{4.3092} \times 100\% \\
 &= 103.86\%
 \end{aligned}$$

Gangguan 3 Fasa *Bus* W3

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa internal Bus W3, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



Gambar 4. 49 Skema Rele Diferensial Tipikal 3 saat terjadi gangguan internal tiga fasa pada *Bus W3*

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q43} + I_{Q232} \\
&= \left(\frac{4150}{1250/1} + \frac{1320}{500/1} \right) \times 95\% \\
&= 5.662 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= \frac{I_{Q32}}{-484} \\
&= \frac{1250/1}{-484} \\
&= -0.4066 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|5.662| , |-0.4066|) \\
&= 5.662 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |5.662 - (-0.4066)| \\
&= 6.06856 \text{ A} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{6.06856}{5.662} \times 100\% \\
&= 107.18 \%
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, penentuan *setting* rele diferensial tipikal 1 adalah sebagai berikut:

- I_{diff} saat kondisi normal adalah 0.43181 A, dipilih arus *pickup* 1.8 A
- Agar rele bekerja ketika gangguan internal dan tidak bekerja saat gangguan eksternal, dipilih *slope* 100%

Berdasarkan gambar.... Ketika kondisi normal dan gangguan eksternal terjadi, plot menunjukkan di bawah kurva karakteristik yang mana rele diferensial tidak akan bekerja. Ketika gangguan internal terjadi maka rele diferensial akan bekerja dengan ditunjukan plot berada di atas kuva karakteristik rele diferensial tipikal 3.

Berikut merupakan kurva karaktertik *setting* rele diferensial pada Bus W3



Gambar 4. 50 Kurva karakteristik Rele Diferensial Tipikal 3

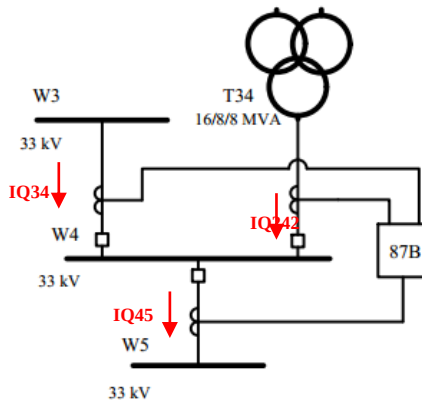
4.5.4 Koordinasi Rele Diferensial Tipikal 4

Koordinasi rele diferensial tipikal 4 adalah sebagai pengaman utama ketika terjadi gangguan pada Bus W3 sisi ring Bus.

Dari skema Gambar 4.53, rele diferensial akan membaca arus sekunder dari CT yang terpasang.

- Arus sekunder (I_{primer}) pada CT_1 yang terbaca pada rele diferensial adalah arus I_{Q34} dan I_{Q242}
- Arus sekunder ($I_{sekunder}$) pada CT_2 yang terbaca pada rele diferensial adalah arus I_{Q45}

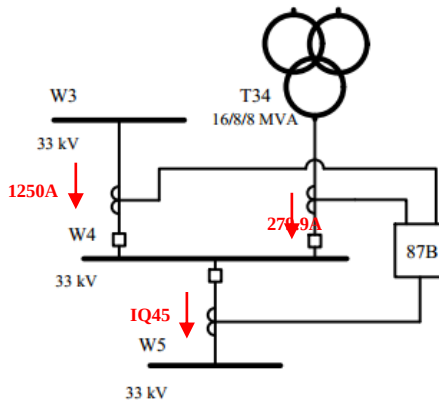
Untuk menghitung parameter rele diferensial pada tipikal 4 harus mempertimbangkan kondisi normal, gangguan di dalam dan luar area proteksi. Berikut merupakan skema dan perhitungan untuk menentukan rele diferensial:



Gambar 4. 51 Skema Rele Diferensial Tipikal 4

- **Kondisi Normal**

Saat kondisi normal, arah dan besar aliran arus yang bisa mengalir dibatasi oleh FLA dari trafo di bagian CT primer dan CB yang terpasang pada rele diferensial di CT bagian sekunder, berikut merupakan arah aliran dan besar arus pada tiap feeder tipikal 4 yang akan ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4. 52 Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat kondisi normal

$$I_{\text{Primer}} = I_{Q34} + I_{Q242}$$

I_Sekunder

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada Bus W3, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



95

Bus W5

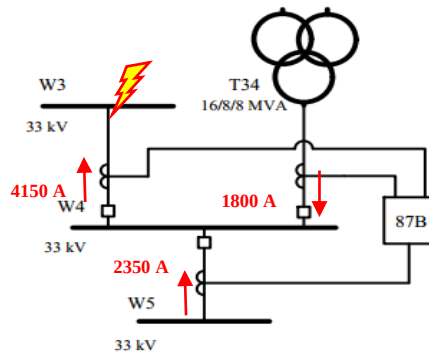
97

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q34} + I_{Q242} \\
&= \left(\frac{1300}{1250/1} + \frac{1230}{500/1} \right) \times 95\% \\
&= 3.325 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q45} \\
&= \frac{2530}{1250/1} \times 105\% \\
&= 2.1252 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|3.325| , |2.1252|) \\
&= 3.325 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |3.325 - 2.1252| \\
&= 1.1998 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{1.1998}{3.325} \times 100\% \\
&= 36.08 \%
\end{aligned}$$

- **Gangguan Eksternal 3 Fasa**

Bus W3

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada *Bus W3*, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:

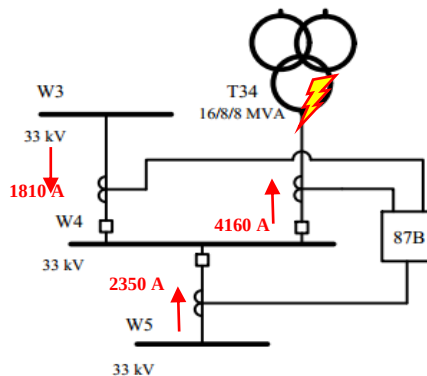


Gambar 4. 56 Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal tiga fasa pada *Bus W4*

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q34} + I_{Q242} \\
&= \left(\frac{-4150}{1250/1} + \frac{1800}{500/1} \right) \times 95\% \\
&= 0.266 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q45} \\
&= \frac{-2350}{1250/1} \times 105\% \\
&= -1.974 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|0.266|, |-1.974|) \\
&= 1.974 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |0.266 - (-1.974)| \\
&= 2.224 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{2.224}{1.974} \times 100\% \\
&= 113.48 \%
\end{aligned}$$

Trafo T34

Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Trafo T34, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:

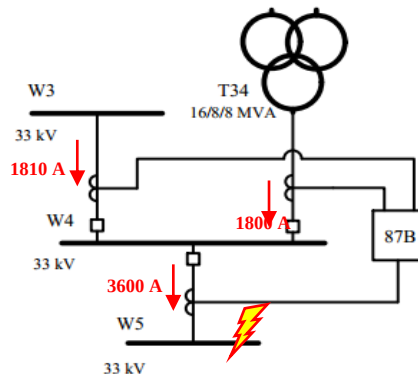


Gambar 4. 57 Skema Relé Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal tiga fasa pada sisi primer Trafo T34

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q34} + I_{Q242} \\
 &= \left(\frac{1810}{1250/1} + \frac{-4160}{500/1} \right) \times 95\% \\
 &= -6.5284 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q45} \\
 &= \frac{-2350}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -1.974 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|-6.5284|, |-1.974|) \\
 &= -6.5284 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |-6.5284 - (-1.974)| \\
 &= 4.5544 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4.5544}{-6.5284} \times 100\% \\
 &= 69.76\%
 \end{aligned}$$

Bus W5

Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Bus W5, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



Gambar 4. 58 Skema Rele Diferensial Tipikal 4 saat gangguan eksternal tiga fasa pada Bus W5

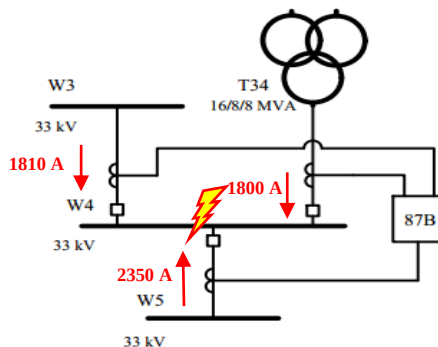
- Gangguan Internal
Gangguan *Line to Line* Bus W4

101

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q34} + I_{Q242} \\
&= \left(\frac{1300}{1250/1} + \frac{1230}{500/1} \right) \times 95\% \\
&= 3.325 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q45} \\
&= \frac{-1690}{1250/1} \times 105\% \\
&= -1.4196 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|3.325|, |-1.4196|) \\
&= 3.325 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |3.325 - (-1.4196)| \\
&= 4.7446 \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{4.7446}{3.325} \times 100\% \\
&= 142.69\%
\end{aligned}$$

Gangguan 3 Fasa Bus W4

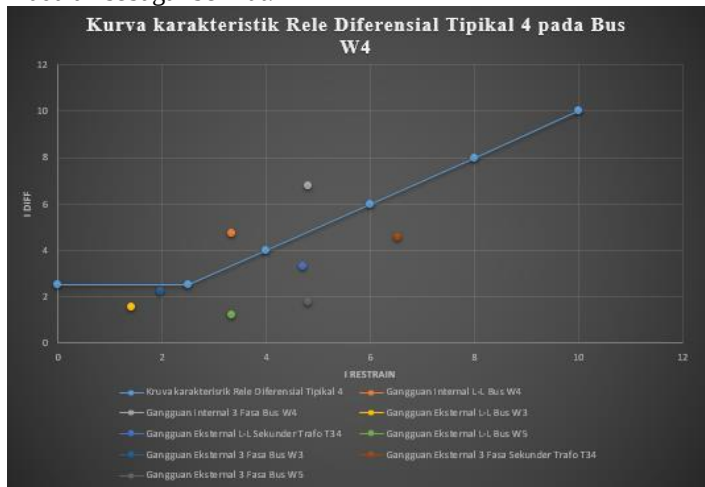
Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa internal Bus W2, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



Gambar 4. 60 Skema Relé Diferensial Tipikal 4 saat gangguan internal tiga fasa pada Bus W4

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q34} + I_{Q242} \\
 &= \left(\frac{1810}{1250/1} + \frac{1800}{500/1} \right) \times 95\% \\
 &= 4.7956 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q45} \\
 &= \frac{-2350}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -1.974 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}| , |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|4.1572| , |-1.722|) \\
 &= 4.7696 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |4.7956 - (-1.974)| \\
 &= 6.7696 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4.7696}{6.7696} \times 100\% \\
 &= 141.16 \text{ A \%}
 \end{aligned}$$

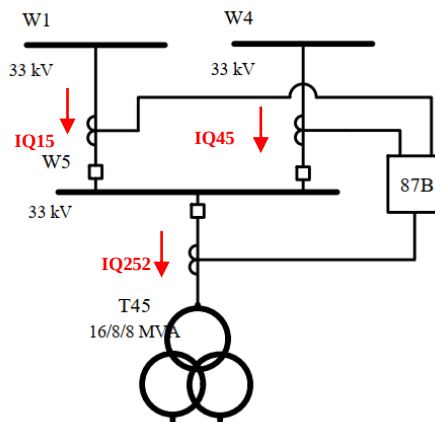
Berasarkan perhitungan di atas, penentuan *setting* rele diferensial tipikal 4 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 61 Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 4

- Berdasarkan Gambar 4.63 Ketika kondisi normal dan gangguan eksternal terjadi, plot menunjukan di bawah kurva karakteristik yang mana rele diferensial tidak akan bekerja. Ketika gangguan internal terjadi maka rele diferensial akan bekerja dengan ditunjukan plot berada di atas kuva karakteristik rele diferensial tipikal 4.

Koordinasi rele diferensial tipikal 1 adalah sebagai pengamanan utama ketika terjadi gangguan pada Bus W2 sisi ring Bus. Skema diferensial tipikal 1 adalah sebagai berikut :



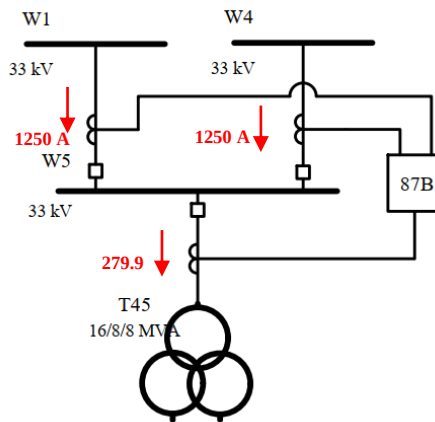
Dari skema diatas, rele diferensial akan membaca arus sekunder dari CT yang terpasang.

- Untuk menghitung parameter rele diferensial pada tipikal 5 harus mempertimbangkan kondisi normal, gangguan di dalam dan luar area

proteksi. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan rele diferensial:

- **Kondisi Normal**

Saat kondisi normal, arah dan besar aliran arus yang bisa mengalir dibatasi oleh FLA dari trafo di bagian CT primer dan CB yang terpasang pada rele diferensial di CT bagian sekunder, berikut merupakan arah aliran dan besar arus pada tiap feeder tipikal 5 yang akan ditunjukkan pada gambar berikut:



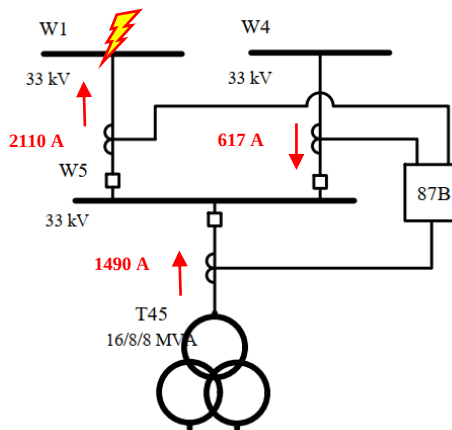
Gambar 4. 63 Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q15} + I_{Q45} \\
 &= \left(\frac{1250}{1250/1} + \frac{1250}{1250/1} \right) \times 95\% \\
 &= 1.9 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q252} \\
 &= \frac{279.9}{500/1} \times 105\% \\
 &= 0.5878 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|1.9|, |0.5878|) \\
 &= 1.9 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |1.9 - 0.5878| \\
 &= 1.3122
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\ &= \frac{1.3122}{1.9} \times 100\% \\ &= 69.06 \%\end{aligned}$$

- Gangguan Eksternal *Line to Line* Bus W1

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada Bus W1, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



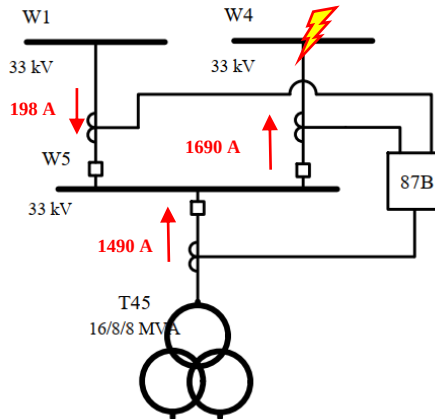
Gambar 4. 64 Skema Rele Diferensial saat terjadi gangguan eksternal L-L pada *Bus W1*

$$\begin{aligned} I_{\text{Primer}} &= I_{Q15} + I_{Q45} \\ &= \left(\frac{-2110}{1250/1} + \frac{617}{1250/1} \right) \times 95\% \\ &= -1.1347 \text{ A} \\ I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q252} \\ &= \frac{-1490}{500/1} \times 105\% \\ &= -3.129 \text{ A} \\ I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\ &= \text{Maks} (|-1.1347|, |-3.129|) \\ &= 3.129 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= |-1.1347 - (-3.129)| \\
 &= 1.9943 \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{1.9943}{3.129} \times 100\% \\
 &= 69.74\%
 \end{aligned}$$

Bus W4

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L pada Bus W4, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:



Gambar 4. 65 Skema Rele Diferensial saat terjadi gangguan eksternal L-L pada Bus W4

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Primer}} &= I_{Q15} + I_{Q45} \\
 &= \left(\frac{198}{1250/1} + \frac{-1690}{1250/1} \right) \times 95\% \\
 &= -1.1339 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q252} \\
 &= \frac{-1630}{500/1} \times 105\% \\
 &= -3.129 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|-1.1339|, |-3.129|)
 \end{aligned}$$

I_{Diff}

Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L sisi sekunder Trafo T45, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan L-L tersebut:


$$\begin{aligned} I_{\text{Primer}} &= I_{Q15} + I_{Q45} \\ &= \left(\frac{198}{1250/1} + \frac{2530}{1250/1} \right) \times 95\% \\ &= 2.07328 \text{ A} \end{aligned}$$

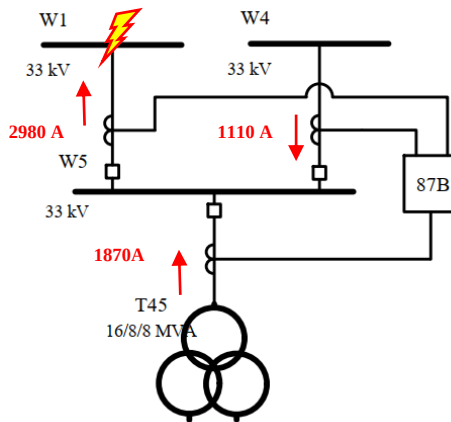
I Seki

$$\begin{aligned}
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|2.07328|, |5.712|) \\
&= 5.712 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= |2.07328 - (5.712)| \\
&= 3.6387 \text{ A} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{3.6387}{5.712} \times 100\% \\
&= 63.70\%
\end{aligned}$$

- **Gangguan Eksternal 3 Fasa**

Bus W1

Ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada *Bus W1*, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tersebut:



Gambar 4. 67 Skema Rele Diferensial Tipikal 5 saat gangguan eksternal tiga fasa pada Bus W1

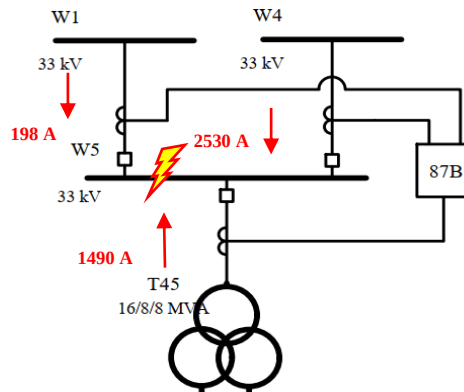
$$\begin{aligned} I_{\text{Primer}} &= I_{Q15} + I_{Q45} \\ &= \left(\frac{-2980}{1250/1} + \frac{1110}{1250/1} \right) \times 95\% \\ &= -1.4212 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{483}{1250/1} + \frac{3600}{1250/1} \right) \times 95\% \\
 &= 3.10308 \text{ A} \\
 I_{\text{Sekunder}} &= \frac{I_{Q252}}{4080} \\
 &= \frac{500/1}{4080} \times 105\% \\
 &= 8.568 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{Sekunder}}|) \\
 &= \text{Maks} (|3.10308|, |8.568|) \\
 &= 8.568 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
 &= ||3.10308| - (8.568)| \\
 &= 5.4649 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{5.4649}{8.568} \times 100\% \\
 &= 63.79 \%
 \end{aligned}$$

- **Gangguan Internal**

Gangguan *Line to Line* Bus W5

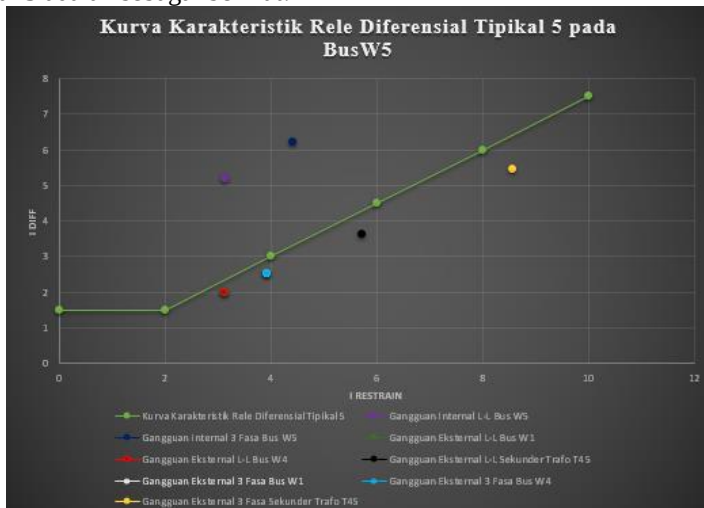
Ketika terjadi gangguan hubung singkat L-L internal *Bus* W5, maka arah arus akan menuju ke titik gangguan. Berikut merupakan besar dan arah arus ketika terjadi gangguan tiga fasa tersebut:



Gambar 4. 70 Skema Relé Diferensial Tipikal 5 saat gangguan internal L-L pada *Bus* W5

$$\begin{aligned}
I_{\text{Primer}} &= I_{Q15} + I_{Q45} \\
&= \left(\frac{484}{1250/1} + \frac{1900}{1250/1} \right) \times 95\% \\
&= 1.81184 \text{ A} \\
I_{\text{Sekunder}} &= I_{Q252} \\
&= \frac{-2100}{500/1} \times 105\% \\
&= -4.41 \text{ A} \\
I_{\text{Restraint}} &= \text{Maks} (|I_{\text{Primer}}|, |I_{\text{sekunder}}|) \\
&= \text{Maks} (|1.81184|, |-4.41|) \\
&= 4.41 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_{\text{Primer}} - I_{\text{Sekunder}}| \\
&= ||1.57244| - (-4.41)| \\
&= 6.2218 \text{ A} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
&= \frac{6.2218}{4.41} \times 100\% \\
&= 141.68 \%
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, penentuan *setting* rele diferensial tipikal 5 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 72 Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 5

- I_{diff} saat kondisi normal adalah 1.31221 A, dipilih arus *pickup* 1.5 A
- *Slope* terbesar saat kondisi normal dan gangguan eksternal adalah 69.063%, dipilih *slope* 75%

Berdasarkan Gambar 4.74. Ketika kondisi normal dan gangguan eksternal terjadi, plot menunjukkan di bawah kurva karakteristik yang mana rele diferensial tidak akan bekerja. Ketika gangguan internal terjadi maka rele diferensial akan bekerja dengan ditunjukkan plot berada di atas kuva karakteristik rele diferensial tipikal 5.

4.6 Rangkuman *Setting* Koordinasi Rele

Rangkuman dari perhitungan untuk *setting* rele gangguan fasa (*Over-current Relay*). Gangguan tanah (*Ground Fault Relay*), dan Rele Diferensial adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Rangkuman *setting* Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

ID Rele	Manufacture	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
R-70MA2	ALSTOM P142	600/5	51	Jenis Kurva	IEC-EI	IEC-SI
				<i>Pickup</i>	1.2	0.8
				Iset	720 A	480 A
				<i>Time Dial</i>	0.3	0.25
			50	<i>Pickup</i>	10	3
				Iset	6000 A	1800 A
				<i>Time Delay</i>	0.8	0.1
R-70MA	ALSTOM P142	600/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				<i>Pickup</i>	1.05	1
				Iset	630 A	600 A
				<i>Time Dial</i>	1.2	0.8
			50	<i>Pickup</i>	13.333	4
				Iset	8000 A	2400 A
				<i>Time Delay</i>	0.3	0.3
R-1AL16	ALSTOM P142	1250/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				<i>Pickup</i>	0.504	0.48
				Iset	630	600
				<i>Time Dial</i>	1.2	0.8
			50	<i>Pickup</i>	6.4	3.5
				Iset	8000 A	2400 A
				<i>Time Delay</i>	0.3	0.3
R-GM-2-02A	ALSTOM P124	30/5	51	Jenis Kurva		IEC-LTI
				<i>Pickup</i>		1
				Iset		30 A
				<i>Time Dial</i>		0.5

ID Rele	Manufacture	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
			50	Pickup		15
				Iset		450 A
				Time Delay		0.1
R-63MB	ALSTOM P142	600/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-VI
				Pickup	1.05	1
				Iset	630 A	600 A
				Time Dial	1.2	0.8
			50	Pickup	13.333	4
				Iset	8000 A	2400 A
				Time Delay	0.3	0.3
				Time Delay	0.3	0.3
R-2AL08	ALSTOM P142	600/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				Pickup	0.504	0.48
				Iset	630 A	600 A
				Time Dial	1.2	0.8
			50	Pickup	6.4	1.92
				Iset	8000 A	2400 A
				Time Delay	0.3	0.3
				Time Delay	0.3	0.3
R-2AL01	ALSTOM P122	1000/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				Pickup	0.735	0.8
				Iset	735 A	800 A
				Time Dial	0.75	0.5
			50	Pickup	4.8	1.3
				Iset	4800	1300
				Time Delay	0.5	0.5
				Time Delay	0.5	0.5
R-2AL05	ALSTOM P142	1500/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-VI
				Pickup	0.98	1
				Iset	1470	1500 A
				Time Dial	0.6	0.7
			50	Pickup	2	1.5
				Iset	3000 A	2250
				Time Delay	0.7	0.7
				Time Delay	0.7	0.7
R-Q232	ALSTOM P142	500/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				Pickup	0.59	0.6
				Iset	295 A	300 A
				Time Dial	0.6	0.325
			50	Pickup	5	2.2
				Iset	2500 A	1100 A
				Time Delay	0.1	0.1
				Time Delay	0.1	0.1
R-1AL21	ALSTOM P122	1000/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				Pickup	0.735	0.8
				Iset	735 A	800 A
				Time Dial	0.475	0.5
			50	Pickup	2.5	1
				Pickup	2.5	1
				Pickup	2.5	1
				Pickup	2.5	1

ID Rele	Manufacture	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
				Iset	2500 A	1000 A
R-1AL13	ALSTOM P343	1500/5	51	<i>Time Delay</i>	0.5	0.5
				Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-VI
				<i>Pickup</i>	0.965	1
				Iset	965 A	1500 A
			50	<i>Time Dial</i>	0.4	0.7
				<i>Pickup</i>	2.704	2.3
				Iset	2704	2300 A
				<i>Time Delay</i>	0.7	0.7
R-Q252	ALSTOM P142	500/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				<i>Pickup</i>	0.59	0.6
				Iset	295 A	300 A
				<i>Time Dial</i>	0.6	0.12
			50	<i>Pickup</i>	5	2.77
				Iset	2500	1385 A
				<i>Time Delay</i>	0.1	2.77

Tabel 4. 8 Rangkuman setting Rele Gangguan Tanah

ID Rele	Manufacture	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
R-70MA2	ALSTOM P142	600/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.08	0.8
				Iset	48 A	480 A
				<i>Time Dial</i>	1	0.1
R-70MA	ALSTOM P142	600/1	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.3	0.8
				Iset	180 A	480
				<i>Time Dial</i>	0.1	0.3
R-1AL16	ALSTOM P142	1250/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.3	0.4
				Iset	375 A	500 A
				<i>Time Dial</i>	0.1	0.3
R-1AL13	ALSTOM P343	1000/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.5	0.5
				Iset	500	500 A
				<i>Time Dial</i>	1.5	0.5
R-1AL21	ALSTOM P122	1000/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.4	0.5
				Iset	400	500 A
				<i>Time Dial</i>	2	0.1
R-GM-2-02A	ALSTOM P142	30/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.5	15

ID Rele	Manufacture	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
				Iset	15 A	450 A
R-63MB	ALSTOM P142	600/5	51G	<i>Time Dial</i>	0.5	0.1
				Jenis Kurva	CO2-STI	DT
				<i>Pickup</i>	0.3	0.8
				Iset	180 A	480
				<i>Time Dial</i>	1	0.3
R-2AL08	ALSTOM P142	1250/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.3	0.4
				Iset	375	500
				<i>Time Dial</i>	1	0.3
R-2AL05	ALSTOM P343	600/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.133	0.3
				Iset	200	450
				<i>Time Dial</i>	0.5	0.5
R-2AL01	ALSTOM P122	1000/1	51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0.2	0.5
				Iset	200	500 A
				<i>Time Dial</i>	0.1	0.1

Tabel 4. 9 Rangkuman *setting* Rele Diferensial

ID Rele	Peralatan yang Dilindungi	Setting Rele			
		Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
R-Dif W1	Bus W1	87B	<i>Pickup</i>		0.74 pu
			<i>Slope</i>		70%
R-Dif W2	Bus W2	87B	<i>Pickup</i>		1.7 pu
			<i>Slope</i>		75%
R-Dif W3	Bus W3	87B	<i>Pickup</i>		1.8 pu
			<i>Slope</i>		100 %
R-Dif W4	Bus W4	87B	<i>Pickup</i>		2.5 pu
			<i>Slope</i>		100 %
R-Dif W5	Bus W5	87B	<i>Pickup</i>		1.5 pu
			<i>Slope</i>		75%

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hubung Singkat pada tanggal 18 Juli 2019 di PT Pertamina RU mengakibatkan tiga unit mengalami *shutdown*, diantaranya Unit HCU, Unit NHT-PLF, dan Unit HVU ComFac.
2. Untuk Mengatasi kasus 18 Juli 2019 dilakukan evaluasi koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan tanah, rele gangguan tanah, dan rele diferensial pada sisi *ring bus*
3. Ketika terjadi hubung singkat pada SS73A, pada kondisi *existing* terjadi kesalahan koordinasi proteksi dengan rincian R-70MA2(0.711s), R-70MA(0.3s), R-1AL16(0.3s), hasil *resetting* menunjukkan R-70MA2 (0.1s), R70MA(0.3s), dan R-1AL16(0.3s) sehingga hasil *resetting* dapat mengatasi kesalahan koordinasi proteksi tersebut
4. Ketika terjadi hubung singkat gangguan fasa pada pada motor GM-2-02A, pada kondisi *existing* R-GM-2-02A tidak trip, R-263MB(0.3s), R-2AL08(0.3s), hasil *resetting* menunjukkan R-GM-2-02A(0.1s), R-63MB(0.3s), R-2AL08(0.3s), sehingga hasil *resetting* memperbaiki *setting* dari Rele R-GM-2-02A sehingga memperbaiki kesalahan koordinasi proteksi tersebut
5. Ketika terjadi hubung singkat pada *Main Bus* 2AL-A, kondisi *existing* menyebabkan kegagalan koordinasi proteksi dengan *feeder* yang dibawahnya dan tidak mempertimbangkan CTI dengan rincian R-2AL01(3.17s), R-2AL05(3.87s), R-Q232(3.87s), hasil *resetting* menunjukkan R-2AL01(0.3s), R-2AL05(0.5s), R-Q232(1.03s) sehingga hasil *resetting* ini dapat memperbaiki kesalahan koordinasi tersebut
6. Ketika terjadi hubung singkat pada *Main Bus* 1AL-A, kondisi *existing* menunjukkan R-1AL21(0.5s), R-1AL13(0.7s), R-Q252(7.3s), hasil *resetting* menunjukkan R-1AL21(0.5s), R-1AL13(0.7s), R-Q252(1.03s) sehingga hasil *resetting* ini lebih cepat dari koordinasi sebelumnya

7. Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada SS73A, terjadi kesalahan koordinasi proteksi pada kondisi *existing* dengan rincian R-70MA2(1s), R-70MA(0.1s), R-1AL16(0.1s), R-1AL13(0.5s), hasil *resetting* menunjukan R-70MA2(0.1s), R-70MA(0.3s), R-1AL16(0.3s), R-1AL13(0.5s), sehingga hasil *resetting* dapat mengatasi masalah kegagalan koordinasi tersebut
8. Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada motor GM-2-02A, terjadi kesalahan koordinasi proteksi dengan rincian R-GM-2-02A(0.5s), R-63MB(0.053s), R-2Al08(0.1s), R-2Al05(0.5s), hasil *resetting* menunjukan R-GM-2-02A(0.1s), R-63MB(0.3s), R-2Al08(0.3s), R-2Al05(0.5s), sehingga hasil *resetting* ini dapat memperbaiki kesalahan koordinasi tersebut
9. Hasil *setting* Rele Diferensial R-Dif W1(0.74pu, 70%), R-Dif W2(1.7pu, 70%), R-Dif W3(1.8pu, 100%). R-Dif W4(2.5pu, 100%), dan Rdif W5(1.5pu. 100%)
10. Setting Rele diferensial harus mempertimbangkan kondisi ketika gangguan eksternal dan gangguan internal

5.2 Saran

1. Rele yang digunakan untuk melindungi motor dengan manufactured Alstom P220 sebaiknya diganti dengan manufacture lain karena Alstom P220 hanya tersedia kurva definit untuk pengaturan rele arus lebih gangguan fasa sehingga tidak memadai dan tidak sesuai dengan kurva starting motor
2. I setting instantaneous (50) sebaiknya diperkecil agar rele dapat bekerja lebih cepat ketika terjadi gangguan dengan waktu tertentu
3. Dalam penentuan setting rele diferensial, *setting* slope tidak hanya mempertimbangkan *slope* gangguan eksternal yang terbesar saja, akan tetapi mempertimbangkan kurva karakteristik agar rele diferensial dapat beroperasi saat gangguan internal dan tidak beroperasi ketika gangguan eksternal.

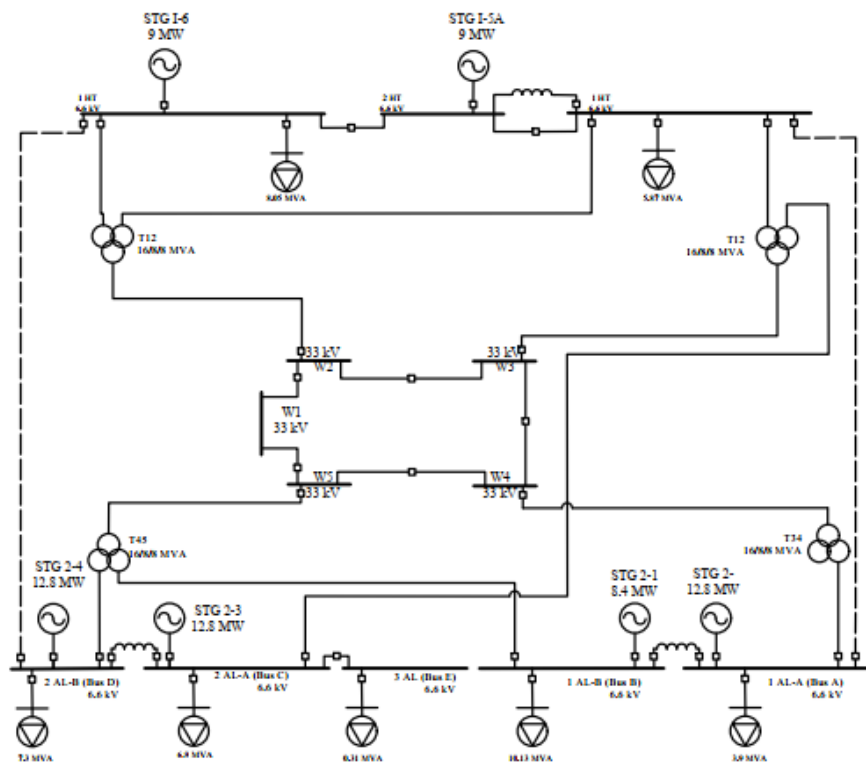
DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Anderson, *Power system protection*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- [2] A. R. Prayuga, I. S. Hernanda, and J. A. R. Hakim, “ANALISA PENGARUH KOORDINASI PERALATAN PROTEKSI TERHADAP KARAKTERISTIK VOLTAGE SAG DI PT. PUPUK KALTIM (PKT) BONTANG,” vol. 1, no. 1, p. 6, 2012.
- [3] “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems,” p. 751.
- [4] T. Gonen, “Modern Power System Analysis, Second Edition,” p. 725.
- [5] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. Overbye, “Power System Analysis and Design, Fifth Edition,” p. 850.
- [6] J. L. Blackburn and T. J. Domin, “Protective Relaying: Principles and Applications,” p. 638, 2006.
- [7] “MiCOM P342, P343, P344, P345, P346 & P391 Generator Protection Relay Technical Manual.” ALSTOM, 2010.
- [8] “MiCOM P141, P142, P143, P144 & P145 Feeder Management Relay Technical Manual.” AREVA, 2009.
- [9] “MiCOM P120/P121/P122/P123 Overcurrent Relays Technical Guide.” AREVA, 2009.
- [10] “MiCOM P220/P225 Motor Protection Relays Technical Manual.” Schneider Electric, 2012.
- [11] “GE Multilin B30 Bus Differential System.” GE, 2017.

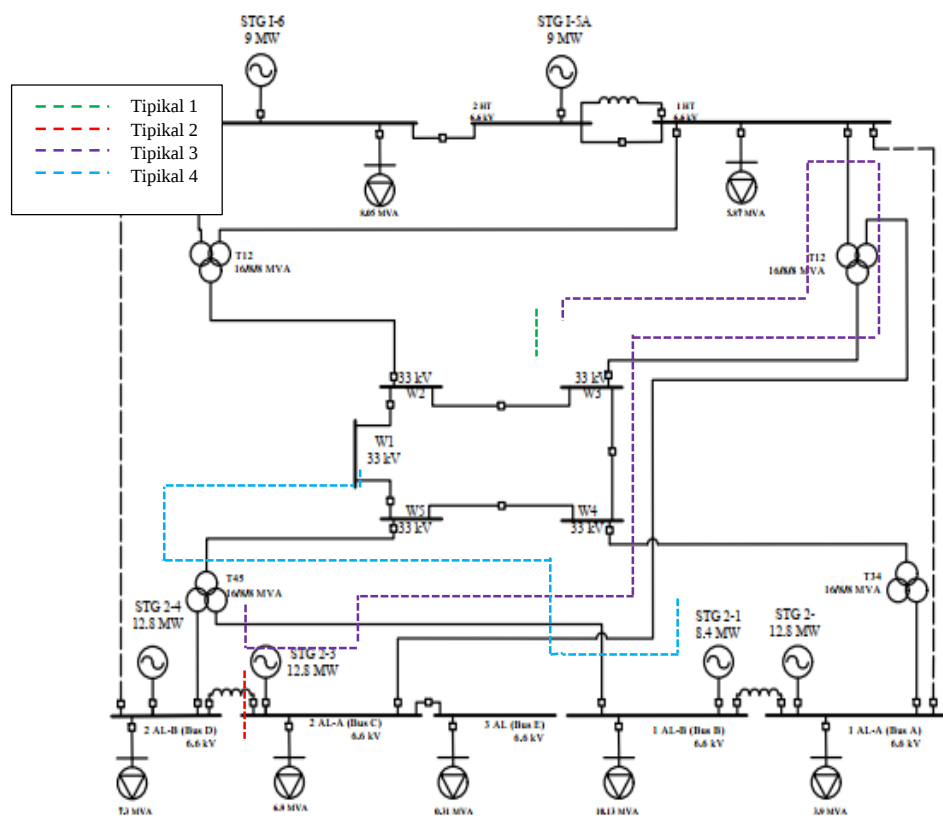
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

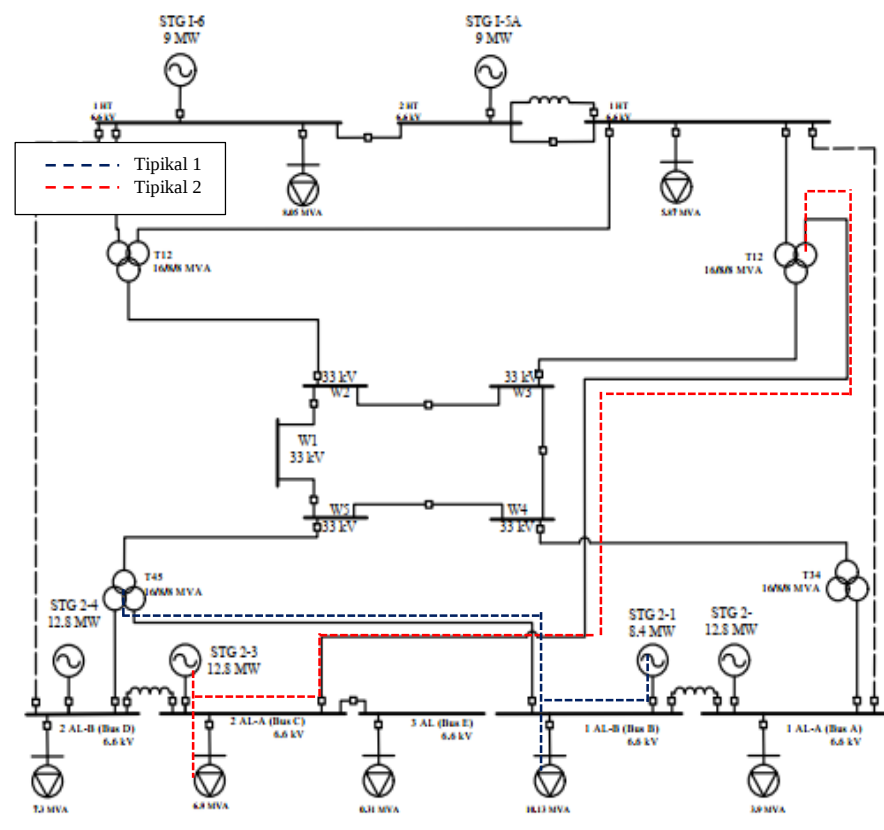
Lampiran 1. Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan



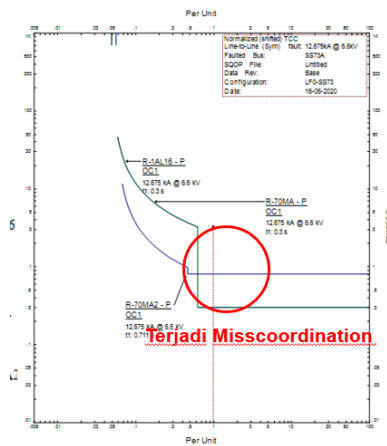
Lampiran 2 Tipikal koordinasi proteksi arus lebih gangguan fasa



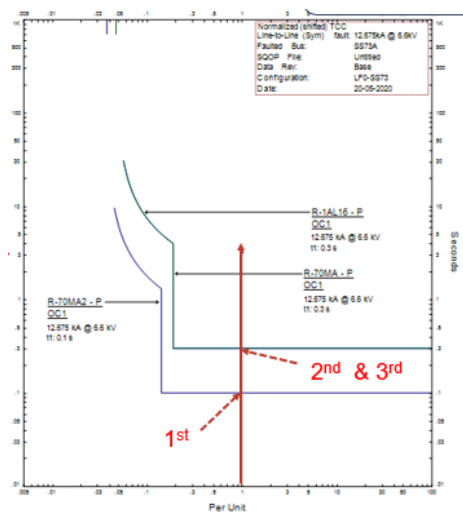
Lampiran 3 Tipikal koordinasi proteksi gangguan tanah



Lampiran 4 Perbandingan Existing dan Resetting Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

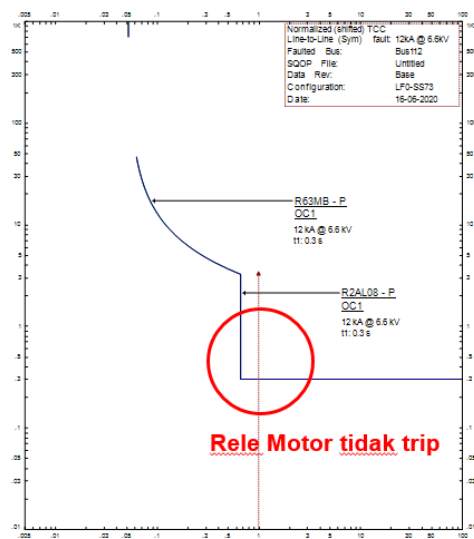


Existing

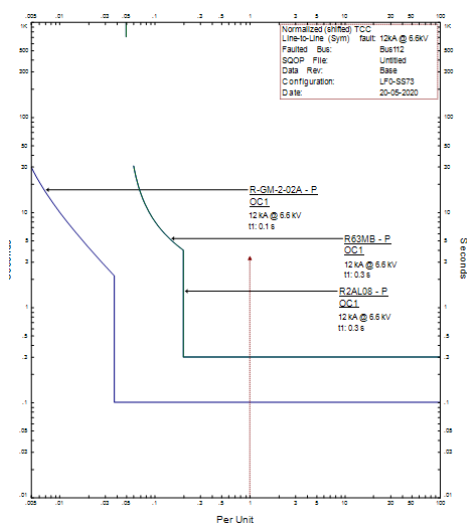


Resetting

Tipikal 2

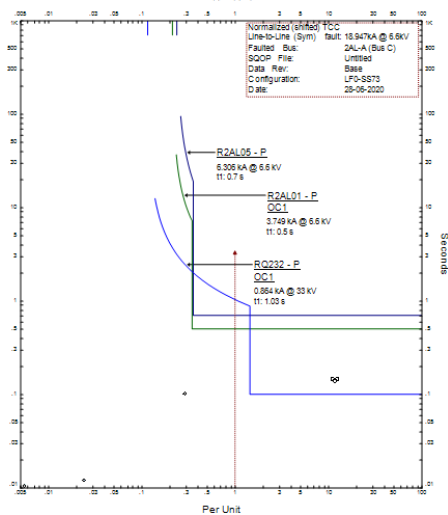
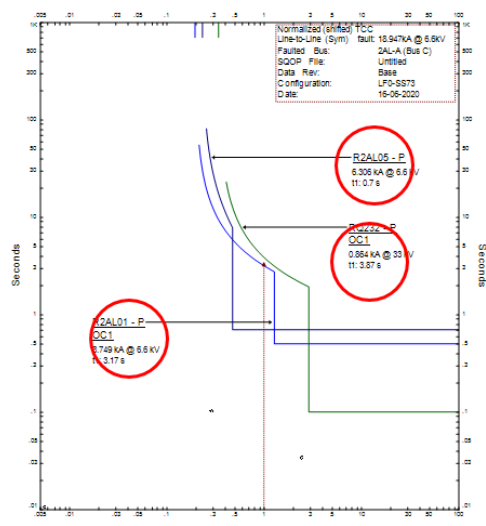


Existing



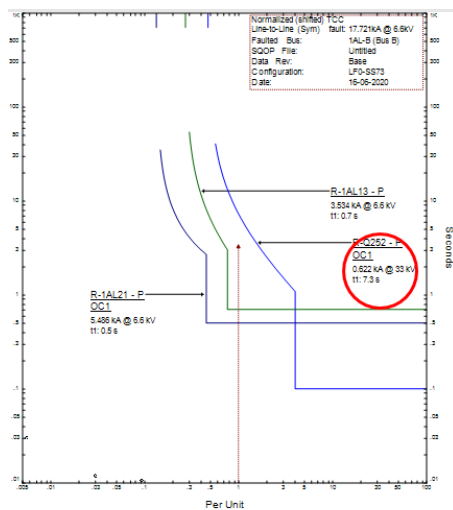
Resetting

Tipikal 3

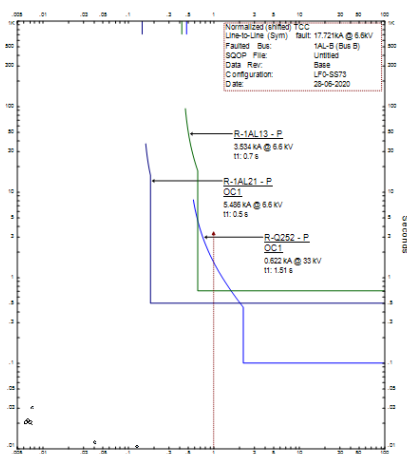


Resetting

Tipikal 4



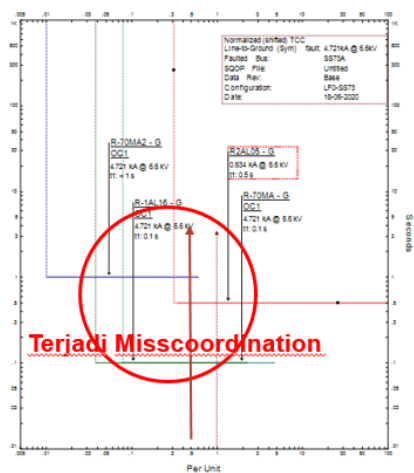
Existing



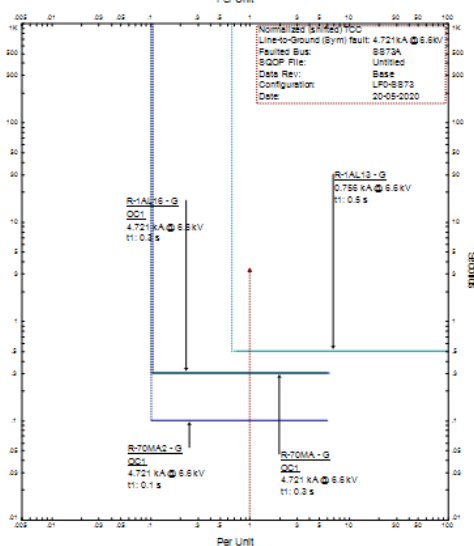
Resetting

Rele Gangguan Tanah

Tipikal 1

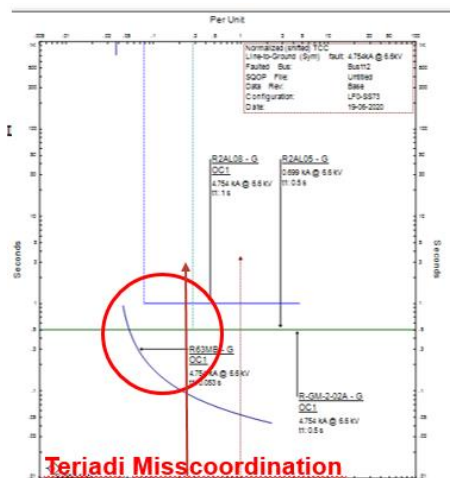


Existing

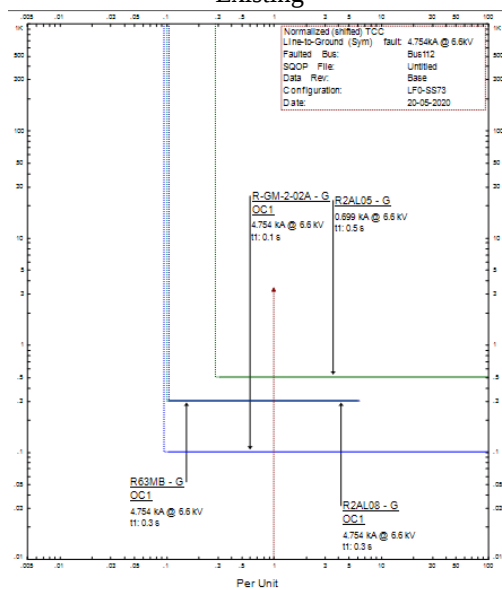


Resetting

Tipikal 2



Existing



Resetting

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Afif Al Asyad, lahir di Bekasi pada 22 november 1998. Penulis merupakan lulusan dari SD Negeri 2 Anjun, SMP Negeri 1 Plered, MA Al Muthohhar di Plered Purwakarta, Jawa barat. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan studinya di Teknik Elektro ITS dengan Beasiswa PBSB dari Kementrian Agama RI dan memilih bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Ketika berkuliah, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan perkuliahan dan organisasi di dalam maupun luar kampus. Penulis pernah aktif dalam staff keilmiahan UKM Penalaran ITS, Staff Ristek Robotika ITS, dan Staff ahli CSSMoRA ITS dalam Departemen Hubungan Luar dengan program kerja unggulan Abdi Pesantren di Pondok Pesantren Tambak Beras Jombang dan CSS Mengajar di TPQ Al-Falahiyah Asempayung, keputih. Selain itu penulis juga aktif dalam event-event besar ITS diantaranya menjadi Wasit Robot dalam event Robot In Action(RIA) ketika ITS Expo dan Wasit di Event Lomba Robot Nasional (Baronas). Penulis dapat dihubungi melalui email haganeafif@gmail.com