



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN INTEGRASI PLN

Ngurah Adi Brahmantia Putra
NRP 0711154000092

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Ir. Soediby, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - EE 184801

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN INTEGRASI PLN**

Ngurah Adi Brahmantia Putra
NRP 0711154000092

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Ir. Soediby, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

***PROTECTION COORDINATION EVALUATION IN PT.
PERTAMINA RU V BALIKPAPAN ELECTRICITY SYSTEM
DUE TO THE INTEGRATION OF PLN***

Ngurah Adi Brahmantia Putra
NRP 0711154000092

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Ir. Soediby, M.MT.

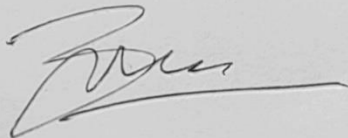
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Evaluasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan Integrasi PLN**" 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, Juni 2019



Ngurah Adi Brahmantia Putra

0711154000092

Halaman ini sengaja dikosongkan

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA
SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V
BALIKPAPAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
INTEGRASI PLN**

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,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

NIP. 196603181990101001

NIP. 195512071980031004



EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN INTEGRASI PLN

Nama : Ngurah Adi Brahmantia Putra
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soediby, M.MT.

ABSTRAK

PT. Pertamina RU V Balikpapan sebagai perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan minyak dan gas bumi membutuhkan koordinasi proteksi sistem kelistrikan yang efektif dan selektif. Untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan, PT. Pertamina RU V Balikpapan bekerja sama dengan PLN untuk memenuhi kebutuhan listrik. Adanya integrasi sistem kelistrikan dengan PLN mengakibatkan koordinasi proteksi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan perlu dievaluasi kembali. Pada tugas akhir ini, koordinasi proteksi yang dievaluasi yaitu rele arus lebih untuk gangguan fasa dan untuk gangguan ke tanah serta rele diferensial sebagai pengaman *ring bus* dan pengaman transformator. Evaluasi *setting* koordinasi proteksi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan ini perlu memperhatikan nilai arus dan waktu dalam keadaan normal maupun dalam keadaan gangguan kelistrikan. Pada tugas akhir ini dilakukan evaluasi *setting* koordinasi proteksi, di sisi kelistrikan beban, sisi *ring bus* dan sisi kelistrikan penambahan PLN. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi peralatan dari gangguan arus lebih yang berupa arus beban lebih dan arus hubung singkat. Selain itu, hasil koordinasi proteksi pada tugas akhir ini dapat melindungi peralatan utama seperti motor, transformator dan generator.

Kata kunci: Koordinasi Proteksi, Integrasi PLN, Rele Proteksi

PROTECTION COORDINATION EVALUATION IN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN ELECTRICITY SYSTEM DUE TO THE INTEGRATION OF PLN

Name : Ngurah Adi Brahmantia Putra
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Dr. Ir. Soediby, M.MT.

ABSTRACT

PT. Pertamina RU V Balikpapan as a company engaged in the processing of oil and gas requires effective and selective electrical system protection coordination. To improve the reliability of electrical system, PT. Pertamina RU V Balikpapan works with PLN to meet electricity needs. The integration of the electrical system with PLN resulted in coordination of protection at PT. Pertamina RU V Balikpapan needs to be re-evaluated. In this final project, protection coordination of overcurrent relay for phase fault, overcurrent relay for ground fault and differential relay as bus ring safety and transformer safety need to be evaluated. Evaluation of protection coordination settings at PT. Pertamina RU V Balikpapan need to consider the current and time values under normal conditions and in a state of electrical fault. In this final project, an evaluation of the protection coordination setting is carried out, on the side of the electrical load, the ring bus side and the electrical side of the integration of PLN. The results of this protection coordination can protect equipment from overcurrent fault in the form of overload currents and short circuit currents. In addition, the results of coordination of protection on this final project can protect the main equipment such as motor, transformer and generator.

Keywords: Protection Coordination, PLN Integration, Protection Relay

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Evaluasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan Integrasi PLN”**

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, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Tuhan YME atas limpahan karunia-Nya, dan memberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ir. Putu Karmiata Arya K. dan Ibu Luh Putu Yuni A., SE., MM., yang selalu memberikan doa serta dukungan tanpa henti.
3. Kedua kakak saya dr. Putu Tatia Indah Karmita Sari dan Ngurah Bagus Arya Widiantara, ST., yang selalu memberikan semangat, doa, dan saran.
4. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
6. Seluruh rekan Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS atas segala dukungan, bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya.
7. Rekan-rekan HIMATEKTRO ITS atas dukungan dan kebersamaannya.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan e55 atas dukungan dan kerjasamanya selama masa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir ini
9. Mas Vincentius Raki selaku mentor penulis yang banyak memberi saran kepada penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. 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, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Relevansi	4
BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK	5
2.1 Gangguan pada Sistem Kelistrikan.....	5
2.1.1 Gangguan Beban Lebih (<i>Overload</i>).....	5
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat (<i>Short Circuit</i>)	6
2.1.2.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri	6
2.1.2.2 Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetri	6
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat	6
2.2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa.....	6
2.2.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	7
2.2.3 Hubung Singkat Fasa ke Tanah	7
2.3 Rele Proteksi.....	7

2.3.1 Rele Proteksi Arus Lebih (<i>Overcurrent Relay</i>)	8
2.3.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Inverse.....	8
2.3.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (<i>Definite Time</i>).....	9
2.3.1.3 Rele Proteksi Gangguan Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>) .	10
2.3.2 Rele Proteksi Diferensial (<i>Differential Relay</i>).....	10
2.4 Koordinasi Proteksi	12
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V	
BALIKPAPAN	15
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan	15
3.1.1 Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pertamina RU V Balikpapan.....	16
3.1.2 Sistem Distribusi PT. Pertamina RU V Balikpapan	17
3.2 Sistem Proteksi di PT. Pertamina RU V Balikpapan	19
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN <i>SETTING</i> RELE PROTEKSI	
PADA PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN	23
4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan.....	23
4.2 Data Arus Gangguan Hubung Singkat	25
4.2.1 Arus Hubung Singkat untuk Koordinasi Rele Arus Lebih ...	25
4.2.2 Arus Hubung Singkat untuk Penentuan <i>Setting</i> Rele Diferensial	28
4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	28
4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	28
4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	36
4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	45
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah	58
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 4	58

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5.....	64
4.5 <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> dan Transformator	68
4.5.1 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> W1	68
4.5.2 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> W2	79
4.5.3 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> W3	90
4.5.4 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> W4	101
4.5.5 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> W5	112
4.5.6 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN ...	123
4.5.7 Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Trafo PLN.....	134
4.6 Rangkuman <i>Setting</i> Koordinasi Rele Arus Lebih.....	142
BAB 5 PENUTUP.....	147
5.1 Kesimpulan.....	147
5.2 Saran.....	148
DAFTAR PUSTAKA	149
BIODATA PENULIS.....	151

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rele diferensial saat kondisi normal atau gangguan eksternal.....	11
Gambar 2.2 Rele diferensial saat terjadi gangguan internal	11
Gambar 2.3 Kurva karakteristik rele diferensial.....	12
Gambar 2.4 Koordinasi rele proteksi arus lebih pada transformator ...	13
Gambar 3.1 Sistem kelistrikan <i>existing</i> PT. Pertamina RU V Balikpapan.....	15
Gambar 3.2 Sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah integrasi dengan PLN	16
Gambar 4.1 Tipikal koordinasi rele proteksi gangguan fasa PT. Pertamina RU V Balikpapan	24
Gambar 4.2 Tipikal koordinasi rele proteksi gangguan tanah PT. Pertamina RU V Balikpapan	25
Gambar 4.3 <i>Single line diagram</i> Tipikal 1	28
Gambar 4.4 <i>Plot time current characteristic</i> Tipikal 1.....	34
Gambar 4.5 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di beban motor pada Tipikal 1.....	35
Gambar 4.6 <i>Single line diagram</i> tipikal 2.....	36
Gambar 4.7 <i>Plot time current characteristic</i> Tipikal 2.....	42
Gambar 4.8 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di <i>Bus</i> 2AL-A (<i>Bus C</i>) pada Tipikal 2	43
Gambar 4.9 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di sisi primer T23 pada Tipikal 2	44
Gambar 4.10 <i>Single line diagram</i> Tipikal 3	45
Gambar 4.11 <i>Plot time current characteristic</i> Tipikal 3.....	52
Gambar 4.12 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di <i>ring bus</i> pada tipikal 3.....	53
Gambar 4.13 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di sisi PLN pada tipikal 3.....	56
Gambar 4.14 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di <i>Bus</i> TIE PLN A pada tipikal 3.....	57
Gambar 4.15 <i>Single line diagram</i> Tipikal 4	58
Gambar 4.16 <i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di beban motor pada tipikal 4	62

Gambar 4.17	<i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di sekunder T23 pada tipikal 4	63
Gambar 4.18	<i>Single line diagram</i> Tipikal 5	64
Gambar 4.19	<i>Plot time current characteristic</i> saat gangguan di primer TR23 pada Tipikal 5	67
Gambar 4.20	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i>	68
Gambar 4.21	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat kondisi normal	69
Gambar 4.22	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus Rencana PLN</i>	70
Gambar 4.23	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W5</i>	71
Gambar 4.24	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W2</i>	72
Gambar 4.25	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus Rencana PLN</i>	73
Gambar 4.26	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W5</i>	74
Gambar 4.27	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W2</i>	75
Gambar 4.28	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan internal L-L di <i>Bus W1</i>	76
Gambar 4.29	Skema rele diferensial <i>Bus W1</i> saat gangguan internal 3 fasa di <i>Bus W1</i>	77
Gambar 4.30	Kurva karakteristik rele diferensial <i>Bus W1</i>	78
Gambar 4.31	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i>	79
Gambar 4.32	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat kondisi normal	80
Gambar 4.33	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W1</i>	81
Gambar 4.34	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W3</i>	82
Gambar 4.35	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T12	83
Gambar 4.36	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W1</i>	84
Gambar 4.37	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W3</i>	85

Gambar 4.38	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer T12.....	86
Gambar 4.39	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan internal L-L di <i>Bus W2</i>	87
Gambar 4.40	Skema rele diferensial <i>Bus W2</i> saat gangguan internal 3 fasa di <i>Bus W2</i>	88
Gambar 4.41	Kurva karakteristik rele diferensial <i>Bus W2</i>	89
Gambar 4.42	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i>	90
Gambar 4.43	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat kondisi normal	91
Gambar 4.44	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W2</i>	92
Gambar 4.45	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W4</i>	93
Gambar 4.46	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T23	94
Gambar 4.47	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W2</i>	95
Gambar 4.48	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W4</i>	96
Gambar 4.49	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer T23.....	97
Gambar 4.50	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan internal L-L di <i>Bus W3</i>	98
Gambar 4.51	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan internal 3 fasa di <i>Bus W3</i>	99
Gambar 4.52	Kurva karakteristik rele diferensial <i>Bus W3</i>	100
Gambar 4.53	Skema rele diferensial <i>Bus W4</i>	101
Gambar 4.54	Skema rele diferensial <i>Bus W4</i> saat kondisi normal	102
Gambar 4.55	Skema rele diferensial <i>Bus W4</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W3</i>	103
Gambar 4.56	Skema rele diferensial <i>Bus W4</i> saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus W5</i>	104
Gambar 4.57	Skema rele diferensial <i>Bus W3</i> saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T23	105
Gambar 4.58	Skema rele diferensial <i>Bus W4</i> saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus W3</i>	106

Gambar 4.59	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W4 saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus</i> W5	107
Gambar 4.60	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W4 saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer T34	108
Gambar 4.61	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W4 saat gangguan internal L-L di <i>Bus</i> W4.....	109
Gambar 4.62	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W4 saat gangguan internal 3 fasa di <i>Bus</i> W4	110
Gambar 4.63	Kurva karakteristik rele diferensial <i>Bus</i> W4.....	111
Gambar 4.64	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5.....	112
Gambar 4.65	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat kondisi normal.....	113
Gambar 4.66	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus</i> W1	114
Gambar 4.67	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus</i> W4	115
Gambar 4.68	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T45.....	116
Gambar 4.69	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus</i> W1	117
Gambar 4.70	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus</i> W4	118
Gambar 4.71	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer T45	119
Gambar 4.72	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan internal L-L di <i>Bus</i> W5.....	120
Gambar 4.73	Skema rele diferensial <i>Bus</i> W5 saat gangguan internal 3 fasa di <i>Bus</i> W5	121
Gambar 4.74	Kurva karakteristik rele diferensial <i>Bus</i> W5.....	122
Gambar 4.75	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN	123
Gambar 4.76	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat kondisi normal	124
Gambar 4.77	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus</i> W1	125
Gambar 4.78	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus</i> TIE PLN-A.....	126

Gambar 4.79	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan eksternal L-L di <i>Bus</i> TIE PLN-B	127
Gambar 4.80	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus</i> W1	128
Gambar 4.81	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus</i> TIE PLN-A.....	129
Gambar 4.82	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan eksternal 3 fasa di <i>Bus</i> TIE PLN-B	130
Gambar 4.83	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan internal L-L di <i>Bus</i> Rencana PLN.....	131
Gambar 4.84	Skema rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN saat gangguan internal 3 fasa di <i>Bus</i> Rencana PLN.....	132
Gambar 4.85	Kurva karakteristik rele diferensial <i>Bus</i> Rencana PLN	133
Gambar 4.86	Skema rele diferensial Transformator TR PLN A	134
Gambar 4.87	Skema rele diferensial TR PLN A saat kondisi normal	135
Gambar 4.88	Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal L-L di sisi primer TR PLN A.....	136
Gambar 4.89	Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal L-L di sisi sekunder TR PLN A	137
Gambar 4.90	Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer TR PLN A.....	138
Gambar 4.91	Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi sekunder TR PLN A	139
Gambar 4.92	Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan internal L-L di TR PLN A	140
Gambar 4.93	Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan internal 3 fasa di TR PLN A.....	141
Gambar 4.94	Kurva karakteristik rele diferensial TR PLN A	142

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Konstanta α, β dan L Berdasarkan Jenis Kurva	9
Tabel 2.2 CTI untuk Rele Elektromekanik dan Rele Statik	13
Tabel 3.1 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT. Pertamina RU V	17
Tabel 3.2 Pembebanan pada <i>Bus</i> Utama di PT. Pertamina RU V	17
Tabel 3.3 Data Trafo Distribusi PT. Pertamina RU V	18
Tabel 3.4 Data Trafo Distribusi PT. Pertamina RU V (lanjutan)	19
Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i> pada setiap tipikal	26
Tabel 4.2 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 30 <i>Cycle</i> yang Melewati Rele pada Setiap Tipikal	27
Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i> yang Melewati Rele pada Setiap Tipikal	27
Tabel 4.4 Rangkuman <i>Setting</i> Rele Arus Lebih di PT. Pertamina RU V Balikpapan	143
Tabel 4.5 Rangkuman <i>Setting</i> Rele Diferensial di PT. Pertamina RU V Balikpapan	146

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara umum, kualitas produksi pada suatu industri bergantung pada kualitas sistem kelistrikannya. Sistem kelistrikan pada industri dikatakan memiliki kualitas yang baik ketika kontinuitas listriknya terjaga dengan baik. Kontinuitas listrik dapat dijaga dengan meminimalkan lama waktu terjadinya gangguan yang dapat menginterupsi sistem kelistrikan.

Proteksi sistem tenaga listrik yang terkoordinasi dengan baik dapat membatasi lama waktu terjadinya gangguan. Gangguan sistem kelistrikan dapat diakibatkan oleh kerusakan peralatan, kesalahan pengoperasian ataupun gangguan dari luar sistem[1]. Sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan. Selain itu, sistem proteksi juga harus selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki tingkat keandalan yang tinggi, dan memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin[2]. Salah satu rele yang digunakan pada sistem proteksi adalah rele arus lebih dan rele diferensial. Parameter yang dapat diatur pada rele arus lebih antara lain arus *pickup*, *time delay* dan *time dial*. Sedangkan parameter yang dapat diatur pada rele diferensial yaitu arus diferensial dan *slope*. Nilai arus ketika terjadi gangguan maupun saat kondisi normal perlu dipertimbangkan dalam pengaturan parameter tersebut.

Sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan minyak dan gas bumi, PT. Pertamina RU V Balikpapan juga memerlukan sistem proteksi kelistrikan yang baik. Pada kondisi terkini, PT. Pertamina RU V Balikpapan berusaha untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan dengan menjalin kerja sama dengan PLN sebagai penyedia kebutuhan listrik. Integrasi sistem kelistrikan dengan PLN tersebut harus diikuti dengan evaluasi sistem proteksi untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan pada sistem kelistrikan. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dibahas mengenai evaluasi koordinasi proteksi sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan integrasi PLN.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah terintegrasi dengan PLN.
2. Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah dan rele diferensial yang tepat serta analisisnya pada PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan integrasi PLN.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah dilakukan integrasi dengan PLN.
2. Memperoleh *setting* koordinasi rele arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah dan rele diferensial yang tepat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah dilakukan integrasi dengan PLN.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
Pada pengerjaan tugas akhir ini diperlukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk memodelkan sistem kelistrikan yang baru. Data yang dibutuhkan berupa data terkait penambahan *feeder* PLN seperti *rating* transformator, kabel, data pemodelan *utility* PLN, serta *single line diagram existing* pada PT. Pertamina RU V Balikpapan.
2. Pemodelan Sistem Kelistrikan setelah Integrasi PLN
Data-data terkait penambahan *feeder* PLN akan digunakan untuk memodelkan *single line diagram* PT. Pertamina RU V Balikpapan yang baru setelah terintegrasi dengan PLN.
3. Simulasi *Load Flow*, *Short Circuit* dan Koordinasi Proteksi
Sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan yang sudah terintegrasi dengan PLN perlu dianalisis. Analisis yang dilakukan berupa analisis aliran daya, ketahanan peralatan serta koordinasi proteksi. Analisis tersebut dilakukan dengan menggunakan simulasi *load flow*, *short circuit* dan koordinasi

proteksi pada *software* ETAP. Simulasi *load flow* digunakan untuk mengecek aliran daya pada seluruh sistem kelistrikan. Simulasi *short circuit* digunakan untuk mengecek ketahanan peralatan-peralatan yang terpasang. Simulasi koordinasi proteksi digunakan untuk mengecek *setting* hasil perhitungan serta koordinasi rele arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah, dan rele diferensial. Perhitungan *setting* rele proteksi arus lebih dan rele diferensial perlu mempertimbangkan jenis atau tipe rele yang dipakai pada PT. Pertamina RU V Balikpapan.

1.5 Sistematika Penulisan

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

Bab 1: Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi atau manfaat.

Bab 2: Koordinasi Proteksi pada Sistem Tenaga Listrik

Bab ini menguraikan tentang dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

Bab 3: Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Bab ini menguraikan tentang sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan integrasi dengan PLN.

Bab 4: Hasil Simulasi dan *Setting* Rele Proteksi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan

Bab ini menguraikan tentang hasil simulasi dan *setting* rele proteksi arus lebih gangguan fasa, rele arus lebih gangguan tanah dan rele diferensial pada PT. Pertamina RU V Balikpapan.

Bab 5: Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.6 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi PT. Pertamina RU V Balikpapan dalam melakukan *setting* dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa, gangguan tanah dan rele diferensial setelah dilakukan integrasi dengan PLN.
2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian kedepannya.

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Proteksi pada sistem tenaga listrik bertujuan untuk mengurangi kerusakan peralatan akibat adanya gangguan. Proteksi yang terkoordinasi dengan baik dapat membatasi lama waktu terjadinya gangguan yang diakibatkan oleh kerusakan peralatan, kesalahan pengoperasian maupun gangguan dari luar sistem[1]. Sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan, selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki tingkat keandalan yang tinggi, serta memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin[2].

2.1 Gangguan pada Sistem Kelistrikan

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan kedalam dua jenis yaitu gangguan permanen dan gangguan temporer. Gangguan permanen merupakan jenis gangguan yang dapat merusak peralatan pada sistem. Gangguan permanen dapat disebabkan oleh besarnya arus yang mengalir dalam rentang waktu yang singkat sehingga dapat merusak peralatan dan bahkan dapat memicu ledakan. Gangguan temporer merupakan jenis gangguan yang masih dapat diatasi dengan mengisolasi peralatan yang terkena gangguan dari sistem sehingga jenis gangguan ini dapat dikatakan sebagai gangguan sementara. Gangguan temporer merupakan jenis gangguan yang lebih sering terjadi dibandingkan dengan gangguan permanen sehingga perlu adanya sistem koordinasi proteksi yang baik untuk mengatasinya[3]. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan adalah gangguan arus lebih. Gangguan arus lebih dapat disebabkan oleh dua hal yaitu akibat beban lebih dan akibat hubung singkat.

2.1.1 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Gangguan beban lebih merupakan jenis gangguan ketika arus yang mengalir pada peralatan melebihi arus nominalnya sehingga dapat menyebabkan panas berlebih pada peralatan tersebut.

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti kerusakan isolasi peralatan akibat tegangan berlebih, kontaminasi pada isolasi yang dapat merusak isolasi ataupun gangguan mekanik yang dapat terjadi pada sistem. Gangguan hubung singkat menyebabkan nilai arus yang mengalir pada sistem menjadi sangat besar sehingga membahayakan peralatan. Nilai arus saat terjadi gangguan hubung singkat ditentukan oleh nilai tegangan internal dari mesin sinkron dan nilai impedansi peralatan pada sistem[4]. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan kedalam dua jenis yaitu gangguan hubung singkat simetri dan tidak simetri.

2.1.2.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri merupakan jenis gangguan hubung singkat yang berpengaruh pada seluruh fasa (3 fasa) sehingga sistem tetap seimbang. Jenis gangguan yang termasuk ke dalam gangguan hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G) dan gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L).

2.1.2.2 Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetri

Gangguan hubung singkat tidak simetri merupakan jenis gangguan hubung singkat yang mengakibatkan perbedaan magnitudo maupun sudut fasa diantara ketiga fasa sehingga sistem menjadi tidak seimbang. Jenis gangguan yang termasuk ke dalam gangguan hubung singkat tidak simetri yaitu gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G), gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (L-L-G) dan gangguan hubung singkat dua fasa (L-L).

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Sebelum melakukan perhitungan *setting* koordinasi proteksi, perlu dilakukan perhitungan arus hubung singkat terlebih dahulu. Perhitungan arus hubung singkat dapat menggunakan rumus pada subbab berikut[5].

2.2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat tiga fasa berpengaruh pada ketiga fasanya. Nilai arus hubung singkat tiga fasa sangat besar sehingga dapat dikatakan sebagai nilai hubung singkat maksimum.

$$I_{SC_{3ph}} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (1)$$

Arus hubung singkat tiga fasa dapat dicari dari hasil pembagian nilai tegangan fasa ke netral (V_{LN}) dengan nilai impedansi urutan positif (X_1).

2.2.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Hubung singkat fasa ke fasa merupakan hubung singkat ketika terdapat dua fasa yang saling terhubung. Pada perhitungan arus hubung singkat fasa ke fasa menggunakan impedansi urutan positif dan urutan negatif.

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

Arus hubung singkat fasa ke fasa dapat dicari dari hasil pembagian nilai tegangan fasa ke fasa (V_{LL}) dengan penjumlahan nilai impedansi urutan positif (X_1) dan urutan negatif (X_2). Rumus arus hubung singkat fasa ke fasa dapat ditulis kembali dengan mengacu pada rumus hubung singkat tiga fasa seperti pada persamaan (3).

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

2.2.3 Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Hubung singkat fasa ke tanah merupakan hubung singkat ketika salah satu fasa terhubung ke tanah.

$$I_{sc_{1ph}} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3Z_G} \quad (4)$$

Arus hubung singkat fasa ke tanah dapat dicari dari hasil pembagian tiga kali nilai tegangan fasa ke netral (V_{LN}) dengan penjumlahan nilai impedansi urutan positif (X_1), urutan negatif (X_2), urutan nol (X_0) dan nilai impedansi pada pentanahan (Z_G).

2.3 Rele Proteksi

Rele Proteksi merupakan alat yang dapat menerima input (berupa nilai listrik, mekanis atau termal) dan setelah nilai input dibandingkan dengan kondisi yang telah ditetapkan dapat menyebabkan kontak pemutus dari *circuit breaker* dapat beroperasi sehingga dapat mempengaruhi sistem kelistrikan[6]. Pada rele dengan input listrik diperlukan alat tambahan yang berfungsi sebagai alat pengukurannya. Alat ukur tersebut yaitu *current transformer* sebagai alat ukur arus dan *potential transformer* sebagai alat ukur tegangan. Salah satu jenis rele proteksi adalah rele proteksi arus lebih dan rele proteksi diferensial.

2.3.1 Rele Proteksi Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele proteksi arus lebih merupakan rele yang dapat bekerja ketika nilai arus yang terbaca oleh rele telah melewati nilai arus yang diatur pada rele. Rele proteksi arus lebih dapat berupa rele dengan waktu *inverse* dan rele dengan waktu tertentu[2].

2.3.1.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Karakteristik dari rele arus lebih waktu *inverse* adalah semakin besar nilai arus maka semakin cepat waktu operasi dari rele. Pada rele arus lebih waktu *inverse* terdapat beberapa jenis kurva yaitu *long time inverse*, *standard inverse*, *short time inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Pada rele arus lebih waktu *inverse*, parameter yang perlu diatur yaitu jenis kurva, nilai arus *pickup* dan *Time Dial Setting* (TDS). Nilai arus *pickup* merupakan nilai minimum rele untuk beroperasi sedangkan nilai TDS menunjukkan waktu operasi yang dibutuhkan oleh rele[6]. Berdasarkan *British Standard BS 142*, nilai arus *pickup* dapat ditentukan dari:

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

Keterangan:

FLA = Arus beban penuh (Full Load Ampere)

I_{set} = Arus *pickup*

Setelah didapatkan nilai I_{set} , maka perlu dilakukan pengaturan tap dengan membandingkan nilai I_{set} dengan belitan primer dari CT (nCT) yang dirumuskan sebagai berikut:

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

Sedangkan untuk menentukan nilai TDS dapat digunakan rumus perhitungan TDS yang disesuaikan dengan manufaktur relenya. PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan manufaktur ALSTOM dengan rumus perhitungan TDS sebagai berikut[7]:

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

Keterangan:

t_{op} = Waktu operasi rele

TD = *Time Dial*

α, β, L = Koefisien rele (tergantung dari jenis kurva)

I_{sc} = Arus gangguan yang mengalir

I_{set} = Arus *pickup*

Nilai konstanta α, β dan L bergantung pada jenis kurva yang digunakan dengan nilai seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Konstanta α, β dan L Berdasarkan Jenis Kurva

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

2.3.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu adalah rele dapat bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan berapapun nilai arusnya. Pada rele arus lebih waktu tertentu, parameter yang perlu diatur yaitu nilai arus *pickup* dan *time delay*. Berdasarkan *British Standard 142*, nilai arus *pickup* dapat ditentukan dari:

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

Keterangan:

FLA = Arus beban penuh (*Full Load Ampere*)

I_{set} = Arus *pickup*

I_{scmin} = Arus hubung singkat minimum

Nilai arus hubung singkat minimum dapat dicari dengan menghitung arus hubung singkat antar fasa pada 30 *cycle*. Nilai arus pickup yang telah didapat lalu dibagi dengan belitan primer dari CT untuk menentukan tap.

2.3.1.3 Rele Proteksi Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Gangguan satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi di sistem kelistrikan. Gangguan satu fasa ke tanah dapat dideteksi menggunakan rele yang berbeda dibandingkan dengan saat gangguan fasa lainnya. Rele yang dapat dipakai untuk gangguan satu fasa ke tanah adalah rele proteksi gangguan tanah[2]. Pada rele arus lebih gangguan tanah, parameter yang perlu diatur yaitu nilai arus *pickup* dan *time delay*. Perhitungan nilai arus *pickup* dapat ditentukan dari rumus berikut:

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

Keterangan:

$I_{sc LG}$ = Arus hubung singkat satu fasa ke tanah

I_{set} = Arus *pickup*

Jika pada suatu sistem kelistrikan menggunakan *Neutral Grounding Resistor* (NGR), maka arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat diasumsikan menjadi arus maksimum NGR. Oleh karena itu, perhitungan nilai arus *pickup* pada sistem yang menggunakan NGR dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$10\% I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% I_{NGR} \quad (10)$$

Keterangan:

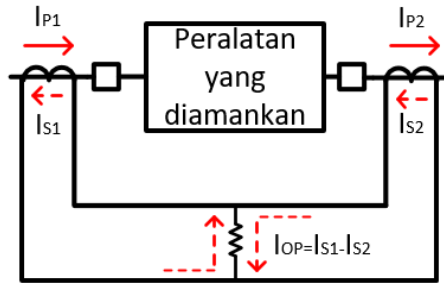
I_{NGR} = Arus maksimum dari NGR

I_{set} = Arus *pickup*

2.3.2 Rele Proteksi Diferensial (*Differential Relay*)

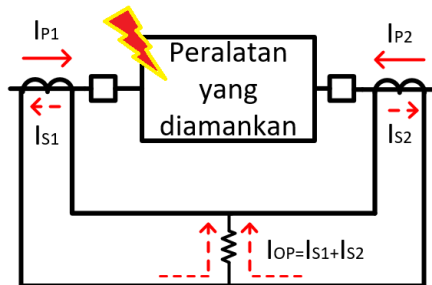
Rele diferensial merupakan rele yang memanfaatkan perbandingan arus yang masuk ke rele. Rele diferensial dapat digunakan sebagai pelindung peralatan seperti generator, *bus*, transformator dan saluran. Rele diferensial akan memerintahkan *circuit breaker* untuk trip ketika terjadi gangguan di dalam daerah proteksi rele (gangguan internal). Daerah proteksi rele diferensial dibatasi oleh CT yang digunakan sebagai *input* rele. Pada kondisi normal atau saat terjadi gangguan di luar daerah proteksi rele (gangguan eksternal), rele diferensial tidak akan bekerja dikarenakan penjumlahan arus yang masuk ke rele akan sama dengan nol.

Rangkaian rele diferensial saat kondisi normal atau gangguan eksternal ditunjukkan seperti Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Rele diferensial saat kondisi normal atau gangguan eksternal

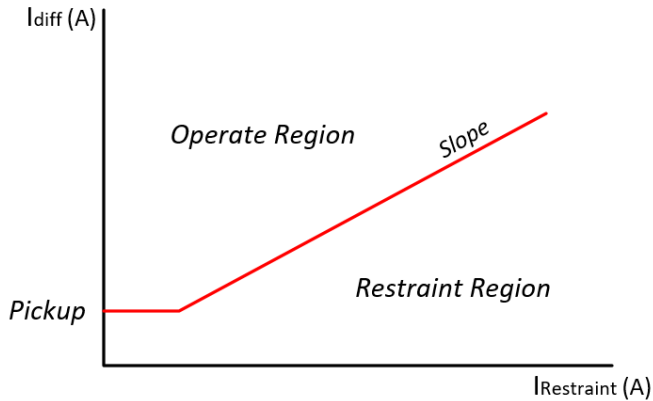
Pada saat terjadi gangguan di dalam daerah proteksi rele, penjumlahan arus yang masuk ke rele akan tidak sama dengan nol. Rangkaian rele diferensial saat kondisi gangguan internal ditunjukkan seperti gambar berikut.



Gambar 2.2 Rele diferensial saat terjadi gangguan internal

Dalam penentuan *setting* rele diferensial, terdapat beberapa parameter yang perlu dihitung antara lain:

1. I_P : Arus sekunder CT₁ yang terbaca oleh rele diferensial
2. I_S : Arus sekunder CT₂ yang terbaca oleh rele diferensial
3. I_{diff} : Selisih arus yang terbaca oleh rele diferensial
4. $I_{restraint}$: Arus maksimum yang terbaca oleh rele diferensial
5. *Slope* : Perbandingan arus I_{diff} dan $I_{restraint}$



Gambar 2.3 Kurva karakteristik rele diferensial

Berdasarkan Gambar 2.3, garis kurva menunjukkan setting rele diferensial. Daerah diatas kurva merupakan daerah operasi rele diferensial. Pada kondisi ideal, nilai arus saat terjadi gangguan eksternal maupun kondisi normal akan sama dengan nol, tetapi pada kondisi nyata terdapat beberapa *error* yang dapat menyebabkan arus tidak akan tepat bernilai nol[6]. Oleh karena itu, nilai *setting* arus pada rele diferensial harus disesuaikan dengan mempertimbangkan setiap kondisi baik kondisi normal, gangguan eksternal dan gangguan internal peralatan sehingga rele hanya bekerja ketika terjadi gangguan internal saja.

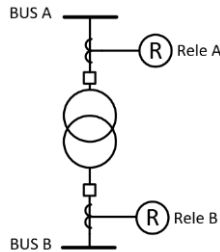
2.4 Koordinasi Proteksi

Rele dikatakan memiliki keandalan yang baik ketika rele tersebut memiliki *backup*. Saat rele utama gagal berfungsi maka masih ada rele yang berfungsi sebagai *backup*. Jarak waktu antara rele utama dengan rele *backup* perlu mempertimbangkan *Coordination Time Interval* (CTI). Berdasarkan IEEE Std. 242-2001, nilai CTI minimum yang direkomendasikan untuk rele elektromekanik dan rele statik dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 CTI untuk Rele Elektromekanik dan Rele Statik

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

Sebagai pertimbangan dalam koordinasi rele proteksi arus lebih pada *feeder* yang dipisahkan oleh transformator, nilai arus hubung singkat pada *bus* di sisi primer dan sisi sekunder perlu diperhatikan.



Gambar 2.4 Koordinasi rele proteksi arus lebih pada transformator
Berdasarkan Gambar 2.3, jika

$$I_{scmax\ bus\ B} < 0,8 I_{scmin\ bus\ A} \quad (11)$$

maka, pengaturan nilai arus pickup rele arus lebih waktu tertentu dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I_{scmax\ bus\ B} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{scmin\ bus\ A} \quad (12)$$

Jika persamaan ini digunakan maka pengaturan *time delay* pada rele di sisi Bus A dapat diatur menjadi rele proteksi utamanya (0,1 detik).

Berdasarkan Gambar 2.3, jika

$$I_{scmax\ bus\ B} > 0,8 I_{scmin\ bus\ A} \quad (13)$$

maka, pengaturan nilai arus pickup rele arus lebih waktu tertentu dapat menggunakan persamaan,

$$I_{set} > 0,8 I_{scmin\ bus\ A} \quad (14)$$

Pada kasus ini, pengaturan *time delay* diatur sesuai dengan *Coordination Time Interval* yang telah dijelaskan sebelumnya.

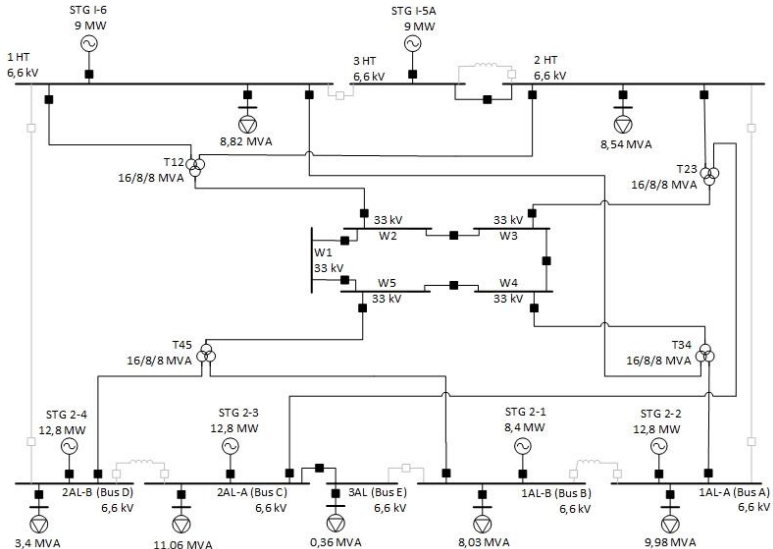
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

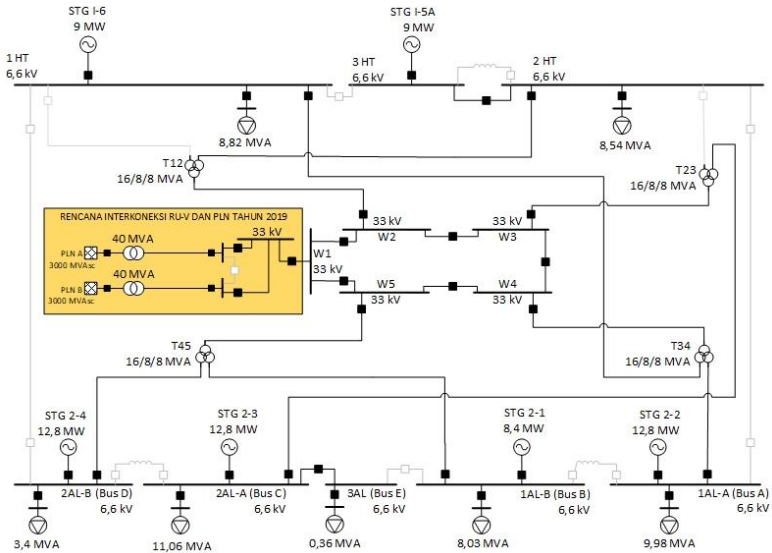
Pada sistem kelistrikan *existing* (sebelum integrasi dengan PLN), PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki beberapa area yang terhubung dengan sumber berupa generator dan beban-beban listrik dengan kapasitas besar maupun kecil. Sistem kelistrikan *existing* PT. Pertamina RU V Balikpapan ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Sistem kelistrikan *existing* PT. Pertamina RU V Balikpapan

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 diatas, sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki area yang saling terhubung melewati *ring bus* dengan tegangan 33 kV. Adanya integrasi sistem kelistrikan *existing* dengan PLN maka konfigurasi sistem kelistrikan akan berubah. Integrasi sistem kelistrikan dengan PLN dilakukan dengan menghubungkan jaringan PLN dengan sistem *ring bus* 33 kV milik PT.

Pertamina RU V Balikpapan, sehingga bentuk konfigurasi sistem kelistrikan terbaru menjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut. Perubahan konfigurasi sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan ini mengakibatkan perlunya evaluasi koordinasi rele proteksi.



Gambar 3.2 Sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah integrasi dengan PLN

3.1.1 Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pertamina RU V Balikpapan

PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki sumber berupa 6 unit generator dengan jenis *Steam Turbine Generator* (STG) dan beban listrik yang terhubung pada bus utama dengan tegangan 6,6 kV. Kapasitas pembangkitan 6 unit generator dan pembebanan di bus utama dirangkum pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT. Pertamina RU V

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

Tabel 3.2 Pembebanan pada *Bus* Utama di PT. Pertamina RU V

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

3.1.2 Sistem Distribusi PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada sistem distribusielistrikkannya, PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan 3 level tegangan yang berbeda yaitu tegangan 0,38 kV, 6,6 kV dan 33 kV. Tegangan 0,38 kV digunakan untuk distribusi beban berkapasitas kecil. Tegangan 6,6 kV digunakan sebagai keluaran generator dan untuk distribusi beban berkapasitas besar. Tegangan 33 kV digunakan pada sistem *ring bus* yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem. Sistem *ring bus* 33 kV dan *bus* utama 6,6 kV saling terhubung melewati transformator 3 belitan, sedangkan beban kapasitas kecil 0,38 kV dengan *bus* utama 6,6 kV saling terhubung melewati transformator 2 belitan. Rangkuman data transformator distribusi yang terpasang pada PT. Pertamina RU V Balikpapan ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.3 Data Trafo Distribusi PT. Pertamina RU V

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
TR62D	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR62E	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y

Tabel 3.4 Data Trafo Distribusi PT. Pertamina RU V (lanjutan)

ID	Area	MVA	kV	%Z	Hubungan
TR62F	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR66A	1AL-A (Bus A)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ/Y
TR67A	1AL-A (Bus A)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ/Y
TR67B	1AL-A (Bus A)	1,6	6,6/0,38	6,25	Δ/Y
TR68A	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR68B	1AL-A (Bus A)	1	6,6/0,38	5	Δ/Y
TR PLN A	PLN	40	150/33	7,5	Y/Δ
TR PLN B	PLN	40	150/33	7,5	Y/Δ

3.2 Sistem Proteksi di PT. Pertamina RU V Balikpapan

PT. Pertamina RU V Balikpapan membutuhkan sistem proteksi untuk melindungi sistem kelistrikan dari arus lebih gangguan fasa maupun arus lebih gangguan tanah sehingga proses pengolahan di kilang tetap berjalan dengan optimal. Peralatan penting yang dibutuhkan pada sistem proteksi arus lebih adalah rele arus lebih. Selain itu, PT. Pertamina RU V Balikpapan juga menggunakan rele diferensial sebagai pengaman ketika terjadi gangguan pada *ring bus* 33 kV. Jenis rele proteksi yang digunakan pada PT. Pertamina RU V Balikpapan juga berbeda-beda sehingga terdapat perbedaan nilai, konstanta maupun jenis kurva yang tersedia pada masing-masing rele. Berikut merupakan data detail setiap rele yang diatur pada tugas akhir ini:

1. ALSTOM P343 [7]

Overcurrent

Pickup Range : $0,08 - 4 \times CT$ 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 : $0,08 - 10 \times CT$ 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 : $0,1 - 25 \times CT \text{ Sec}$

Pickup Step : 0,05

Curve type :

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

- ANSI: *Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : 0,5 – 40 × CT Sec
Pickup Step : 0,05
Delay Range : 0 – 150

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

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

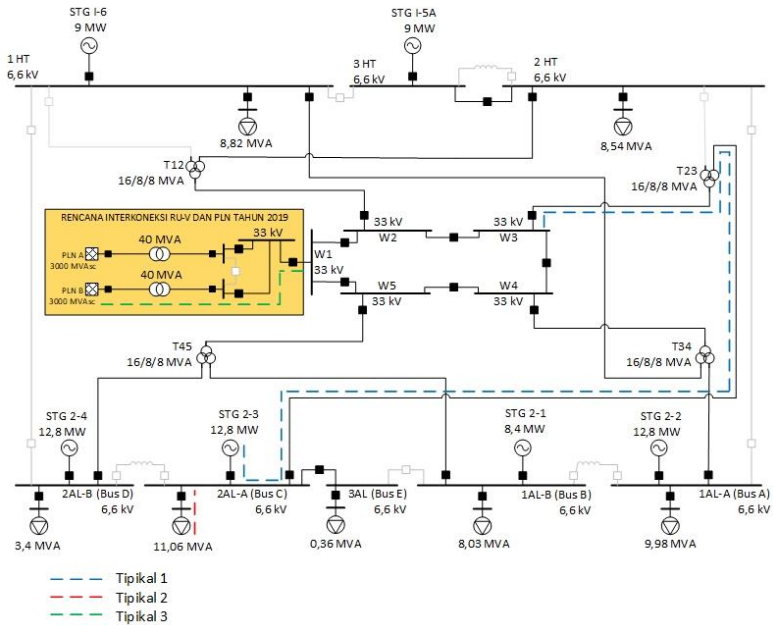
4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pemilihan tipikal koordinasi dilakukan untuk mempermudah evaluasi koordinasi proteksi di PT. Pertamina RU V Balikpapan. Tipikal koordinasi yang dipilih pada rele arus lebih gangguan fasa meliputi tipikal yang mewakili beban listrik hingga sumber listrik, sedangkan tipikal koordinasi yang dipilih pada rele arus lebih gangguan tanah mengacu pada peralatan yang memiliki NGR. PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki generator dengan NGR sebesar 1000 A dan Transformator PLN dengan NGR sebesar 100 A. Selain koordinasi proteksi rele arus lebih, PT. Pertamina RU V Balikpapan juga memiliki rele diferensial yang berfungsi sebagai pelindung utama pada masing-masing *bus* di *ring bus* 33kV. Sehingga dalam melakukan koordinasi rele arus lebih perlu memperhatikan adanya rele diferensial pada *ring bus* tersebut. Berikut merupakan tipikal yang dianalisa pada tugas akhir ini:

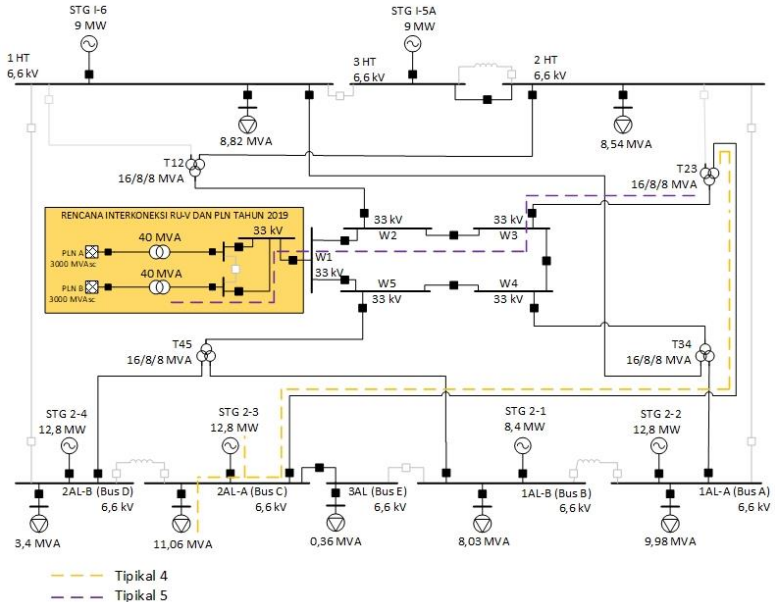
1. Tipikal 1: Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) dari beban motor 6,6 kV yang terdapat pada *Bus* SS70MB sampai dengan *Bus* 2AL-A (*Bus* C). Rele yang termasuk pada tipikal ini meliputi RGM-32-05B, R70MB, dan R2AL09.
2. Tipikal 2: Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) untuk generator STG 2-3 hingga *ring bus* 33 kV. Rele yang termasuk pada tipikal ini meliputi R2AL01, RQ232 dan R2AL05.
3. Tipikal 3: Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) dari *ring bus* 33kV hingga *Grid* PLN. Rele yang termasuk pada tipikal ini meliputi RCB W1, RCB TIE PLN-A, RCB PLN-A SEC, dan RCB PLN-A PRI.
4. Tipikal 4: Koordinasi rele arus lebih gangguan tanah yang mewakili tegangan 6,6 kV. *Setting* rele pada tipikal ini mengacu pada Generator STG 2-3 yang memiliki NGR sebesar 1000 A. Rele yang termasuk pada tipikal ini meliputi RGM-32-05B, R70MB, R2AL09, R2AL01, dan R2AL05.
5. Tipikal 5: Koordinasi rele arus lebih gangguan tanah yang mewakili tegangan 33 kV. *Setting* rele pada tipikal ini mengacu

pada Transformator PLN yang memiliki NGR sebesar 100 A. Rele yang termasuk pada tipikal ini meliputi RQ232, RCB W1, RCB TIE PLN-A dan RCB PLN-A SEC.

Tipikal koordinasi proteksi gangguan fasa ditunjukkan pada Gambar 4.1, sedangkan tipikal koordinasi proteksi gangguan tanah ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Tipikal koordinasi rele proteksi gangguan fasa PT. Pertamina RU V Balikpapan



Gambar 4.2 Tipikal koordinasi rele proteksi gangguan tanah PT. Pertamina RU V Balikpapan

4.2 Data Arus Gangguan Hubung Singkat

Data arus gangguan hubung singkat diperlukan dalam penentuan *setting* rele proteksi arus lebih dan rele proteksi diferensial. Data arus gangguan hubung singkat yang diperlukan meliputi data arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum merupakan arus hubung singkat 3 fasa sedangkan arus hubung singkat minimum merupakan arus hubung singkat antar fasa (*line to line*).

4.2.1 Arus Hubung Singkat untuk Koordinasi Rele Arus Lebih

Arus hubung singkat minimum merupakan arus hubung singkat *line to line* dalam keadaan *steady state* (30 cycle) pada kondisi pembangkitan minimum. Kondisi pembangkitan minimum pada PT. Pertamina RU V Balikpapan merupakan kondisi sistem kelistrikan dengan 4 generator aktif setelah terintegrasi PLN. Nilai arus hubung singkat minimum ini

digunakan untuk *setting pickup* kurva rele arus lebih waktu instan sehingga rele dapat bekerja sesuai dengan *time delay* pada kurva instan.

Arus hubung singkat maksimum merupakan arus hubung singkat 3 fasa yang digunakan dalam perhitungan *time dial* kurva rele arus lebih waktu *inverse*. Arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan ketika rele beroperasi pada waktu $> 0,1$ detik sedangkan arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan ketika rele beroperasi pada waktu $\leq 0,1$ detik. Pada kondisi *transient* (4 *cycle*) hingga *steady state* (30 *cycle*), peralatan motor masih memberikan arus kontribusi sehingga nilai arus hubung singkat dapat berbeda.

Pada perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa, diperlukan data arus hubung singkat yang melewati rele dikarenakan PT. Pertamina RU V Balikpapan disuplai lebih dari satu sumber yang menyebar di beberapa area. Hal ini menyebabkan terdapat perbedaan nilai arus hubung singkat bergantung pada lokasi titik gangguannya. Data arus hubung singkat minimum 30 *cycle*, maksimum 30 *cycle* dan maksimum 4 *cycle* ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 *Cycle* pada setiap tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus hubung singkat 2 fasa (30 <i>cycle</i>)
1	RGM-32-05B	Motor GM-23-05B	11,55 kA
	R70MB	SS70MB	11,97 kA
	R2AL09	SS70MB	14,24 kA
2	R2AL01	Bus 2AL-A (Bus C)	8,18 kA
	RQ232	Sisi Primer T23	14,83 kA
	R2AL-05	Bus 2AL-A (Bus C)	6,07 kA
3	RCB W1	Bus W1	13,30 kA
	RCB TIE PLN-A	Bus Rencana PLN	6,65 kA
	RCB PLN-A SEC	Bus TIE PLN-A	7,76 kA
	RCB PLN-A PRI	Sisi Primer TR PLN A	43,30 kA

Tabel 4.2 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 30 *Cycle* yang Melewati Rele pada Setiap Tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus hubung singkat 3 fasa (30 cycle)
1	RGM-32-05B	Motor GM-23-05B	12,39 kA
	R70MB	SS70MB	12,81 kA
	R2AL09	SS70MB	15,01 kA
2	R2AL01	<i>Bus 2AL-A (Bus C)</i>	9,42 kA
	RQ232	Sisi Primer T23	16,89 kA
	R2AL-05	<i>Bus 2AL-A (Bus C)</i>	5,59 kA
3	RCB W1	<i>Bus W1</i>	15,35 kA
	RCB TIE PLN-A	<i>Bus Rencana PLN</i>	7,68 kA
	RCB PLN-A SEC	<i>Bus TIE PLN-A</i>	8,96 kA
	RCB PLN-A PRI	Sisi Primer TR PLN A	50 kA

Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle* yang Melewati Rele pada Setiap Tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Arus hubung singkat 3 fasa (4 cycle)
1	RGM-32-05B	Motor GM-23-05B	16,44 kA
	R70MB	SS70MB	16,05 kA
	R2AL09	SS70MB	19,72 kA
2	R2AL01	<i>Bus 2AL-A (Bus C)</i>	9,50 kA
	RQ232	Sisi Primer T23	18,26 kA
	R2AL-05	<i>Bus 2AL-A (Bus C)</i>	8,73 kA
3	RCB W1	<i>Bus W1</i>	15,35 kA
	RCB TIE PLN-A	<i>Bus Rencana PLN</i>	7,68 kA
	RCB PLN-A SEC	<i>Bus TIE PLN-A</i>	8,96 kA
	RCB PLN-A PRI	Sisi Primer TR PLN A	50 kA

4.2.2 Arus Hubung Singkat untuk Penentuan *Setting* Rele Diferensial

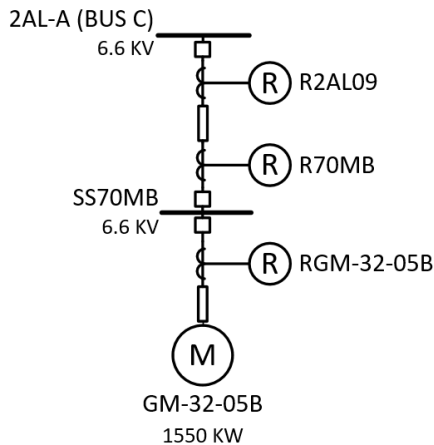
Arus hubung singkat yang diperlukan untuk setting rele diferensial adalah arus hubung singkat pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle saat terjadi gangguan internal dan eksternal peralatan yang dilindungi. Arus hubung singkat saat kondisi $\frac{1}{2}$ cycle dibutuhkan karena rele diferensial bekerja sangat cepat dengan waktu berkisar antara 0,01 – 0,02 detik sehingga arus yang terukur oleh rele berada pada kondisi *subtransient* ($\frac{1}{2}$ cycle).

4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan koordinasi rele saat terjadi gangguan arus lebih berupa gangguan beban lebih ataupun gangguan hubung singkat. Parameter yang perlu diatur pada setting rele arus lebih yaitu *time overcurrent pickup*, *time dial*, *instantaneous overcurrent pickup* dan *time delay*. Hasil *setting* rele yang didapat dari perhitungan kemudian dimasukkan ke dalam *software* ETAP untuk peninjauan kurva *time current characteristic* di setiap tipikal fasa.

4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1 merupakan koordinasi proteksi dari beban motor 6,6 kV hingga *Bus* 2AL-A (*Bus* C). *Single line diagram* dari tipikal 1 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.3 *Single line diagram* Tipikal 1

Berdasarkan Gambar 4.3, rele RGM-32-05B menjadi pengaman utama dari motor GM-32-05B sehingga penentuan *setting* rele RGM-32-05B perlu mempertimbangkan kurva *starting* motor GM-32-05B. Ketika motor sedang *starting* maka rele pengaman motor tidak boleh bekerja. Selain itu, diantara R70MB dan R2AL09 terdapat saluran penghubung. Oleh karena itu, kedua rele tersebut dapat diatur dengan *setting* yang sama. Berikut perhitungan *setting* pada setiap rele di tipikal 1.

• **RGM-32-05B**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
Model	: P220
Tipe Kurva	: UK - <i>Long Time Inverse</i>
Rasio CT	: 200/5
FLA Motor GM-32-05B	: 163,5 A
Isc min 30 <i>cycle</i> Motor GM-32-05B yang melewati RGM-32-05B	: 11550 A
Isc maks 4 <i>cycle</i> Motor GM-32-05B yang melewati RGM-32-05B	: 16440 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 163,5 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 163,5 A$$

$$171,67 A \leq I_{set} \leq 228,9 A$$

$$\frac{171,67}{200} In \leq Tap \leq \frac{228,9}{200} In$$

$$0,858 In \leq Tap \leq 1,144 In$$

(Range: 0,08 In – 4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,9 In (Iset = 180 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,1 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P122, penentuan *time dial* dengan tipe kurva UK - *Long Time Inverse* digunakan rumus:

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

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

$$TD = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{16440}{180} \right) - 1 \right]}{120}$$

$$TD = 0,0752$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,0752 (*step*: 0,025)

Dipilih *time dial* yang digunakan = 0,25

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1,6 \times 163,5 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 11550 \text{ A}$$

$$261,6 \text{ A} \leq I_{set} \leq 9240 \text{ A}$$

$$\frac{261,6}{200} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{9240}{200} \text{ In}$$

$$1,308 \text{ In} \leq Tap \leq 46,2 \text{ In}$$

(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 8 In (Iset = 1600 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• R70MB

Manufacturer : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC - Standard Inverse

Rasio CT : 600/1

FLA Total Beban : 526,12 A

Isc min 30 cycle Bus SS70MB

yang melewati R70MB : 11970 A

Isc maks 30 cycle Motor GM-32-05B

yang melewati R70MB : 12390 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 526,12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1,4 \times 526,12 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
552,42 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 736,56 \text{ A} \\
\frac{552,42}{600} \text{ In} &\leq Tap \leq \frac{736,56}{600} \text{ In} \\
0,92 \text{ In} &\leq Tap \leq 1,227 \text{ In} \\
(\text{Range: } 0,08 \text{ In} - 4 \text{ In, step: } 0,01) \\
\text{Dipilih Tap} &= 1 \text{ In (Iset} = 600 \text{ A)}
\end{aligned}$$

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,3 s

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

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{12390}{600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,133$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,135 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,7

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1,6 \times 526,12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 11970 \text{ A}$$

$$841,792 \text{ A} \leq I_{set} \leq 9576 \text{ A}$$

$$\frac{841,792}{600} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{9576}{600} \text{ In}$$

$$1,402 \text{ In} \leq Tap \leq 15,96 \text{ In}$$

(*Range*: 0,08 In - 32 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 3,5 In (Iset = 2100 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

• **R2AL09**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
Model	: P142
Tipe Kurva	: IEC - <i>Standard Inverse</i>
Rasio CT	: 1250/1
FLA Total Beban	: 526,12 A
Isc min 30 <i>cycle</i> saluran yang melewati R2AL09	: 14240 A
Isc maks 30 <i>cycle Bus</i> SS70MB yang melewati R2AL09	: 12810 A

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 526,12 A &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 526,12 A \\552,42 A &\leq I_{set} \leq 736,56 A \\ \frac{552,42}{1250} In &\leq Tap \leq \frac{736,56}{1250} In \\0,441 In &\leq Tap \leq 0,589 In \\(\text{Range: } 0,08 In - 4 In, \text{ step: } 0,01) \\ \text{Dipilih Tap} &= 0,48 In \text{ (Iset} = 600 A)\end{aligned}$$

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,3 s

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

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} + 0 \right)$$
$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{12810}{600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,135$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,135 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,7

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1,6 \times 526,12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 14240 \text{ A}$$

$$841,79 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11392 \text{ A}$$

$$\frac{841,79}{1250} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{11392}{1250} \text{ In}$$

$$0,673 \text{ In} \leq Tap \leq 9,113 \text{ In}$$

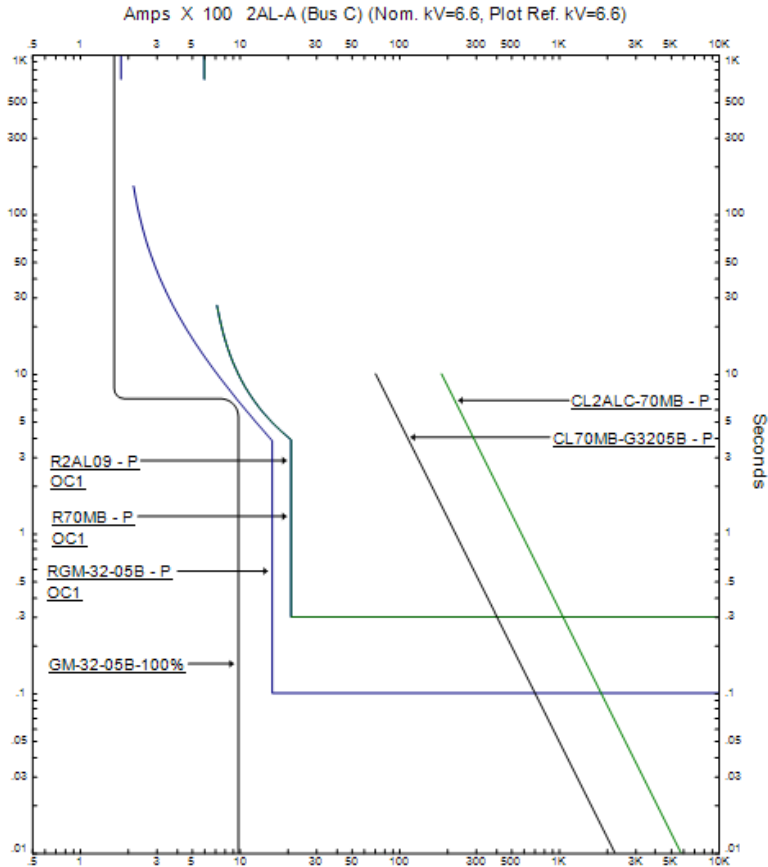
(*Range*: 0,08 In – 32 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 1,68 In (Iset = 2100 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

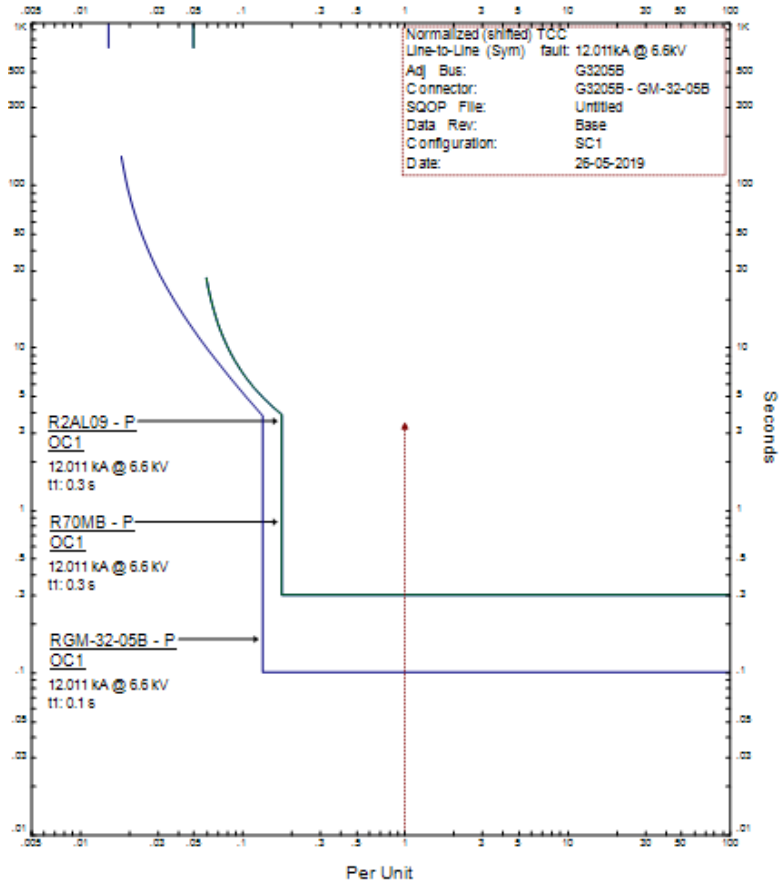
Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1 ini kemudian dimasukkan ke dalam *software* ETAP. Gambar 4.4 menunjukkan *plot time current characteristic* hasil perhitungan *setting* rele arus lebih dan peralatan yang dilindungi pada tipikal 1.



Gambar 4.4 Plot time current characteristic Tipikal 1

Berdasarkan Gambar 4.4, rele RGM-32-05B sebagai pengaman utama motor tidak akan bekerja ketika Motor GM-32-05B *starting* sehingga hasil *setting* rele terhadap peralatan sudah tepat.

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di sisi beban 6.6 kV, maka generator STG 2-3 dan dari sisi transformator 3 belitan akan memberikan arus kontribusi ke titik gangguan sehingga *plot time current characteristic* menjadi seperti Gambar 4.5 berikut.

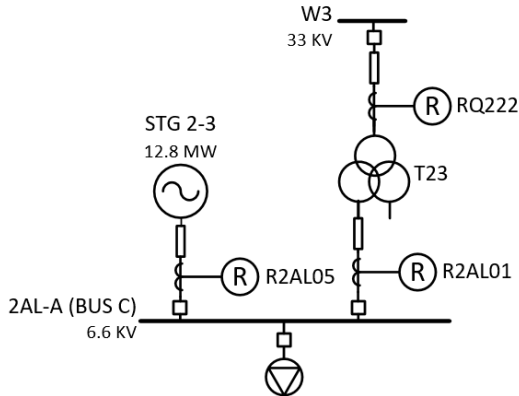


Gambar 4.5 Plot time current characteristic saat gangguan di beban motor pada Tipikal 1

Berdasarkan Gambar 4.5, saat terjadi gangguan di beban motor, rele RGM-32-05B sebagai pengaman utama motor akan bekerja dengan waktu 0,1 detik. Setelah itu, Rele R70MB dan R2AL09 akan bekerja sebagai *backup* dari rele utama motor dengan waktu 0,3 detik. Berdasarkan hasil *setting* ini, ketika terjadi gangguan di beban motor 6,6 kV, maka saluran motor akan terlepas dari sistem sehingga titik gangguan dapat terisolasi.

4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2 merupakan koordinasi proteksi untuk generator STG 2-3 pada Bus 2AL-A (Bus C) hingga ring bus. Single line diagram dari tipikal 2 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.6 Single line diagram tipikal 2

Berdasarkan gambar diatas, rele R2AL01 dan RQ222 merupakan rele pengaman Transformator T23 sehingga dalam penentuan *setting* rele perlu mempertimbangkan *inrush current* dan *damage curve* T23. Penentuan *setting* rele pada tipikal 2 perlu mempertimbangkan hasil *setting* pada beban yang terhubung dengan Bus 2AL-A (tipikal 1). Berikut merupakan perhitungan *setting* rele pada tipikal 2.

• **R2AL01**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P122
Tipe Kurva	: IEC – Standard Inverse
Rasio CT	: 1000/1
FLA Sekunder T23	: 699,8 A
Isc min 30 cycle Bus 2AL-A yang melewati R2AL01	: 8180 A
Isc maks 30 cycle Bus SS70MB yang melewati R2AL01	: 8040 A

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 699,8 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 699,8 \text{ A} \\734,79 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 979,72 \text{ A} \\ \frac{734,79}{1000} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{979,72}{1000} \text{ In} \\0,734 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 0,979 \text{ In} \\(\text{Range: } 0,08 \text{ In} - 4 \text{ In, step: } 0,01) \\ \text{Dipilih Tap} &= 0,77 \text{ In (Iset} = 770 \text{ A)}\end{aligned}$$

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P122, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – *Standard Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{8040}{770} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,171$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,171 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,6

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle} \\1,6 \times 699,8 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 8180 \text{ A} \\1119,68 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 6544 \text{ A} \\ \frac{1119,68}{1000} \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq \frac{6544}{1000} \text{ In} \\1,119 \text{ In} &\leq \text{Tap} \leq 6,544 \text{ In}\end{aligned}$$

(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)
 Dipilih Tap = 2,5 In (Iset = 2500 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

• **RQ232**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P142
Tipe Kurva	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
Rasio CT	: 500/1
FLA Primer T23	: 279,9 A
Isc min 30 cycle Primer T23 yang melewati R2AL01	: 14830 A
Isc maks 4 cycle Bus 2AL-A yang melewati R2AL01	: 1900 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 279,9 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 279,9 A$$

$$293,89 \leq I_{set} \leq 391,86 A$$

$$\frac{293,89}{500} In \leq Tap \leq \frac{391,86}{500} In$$

$$0,587 In \leq Tap \leq 0,783 In$$

(Range: 0,08 In – 4 In, step: 0,01)
 Dipilih Tap = 0,62 In (Iset = 310 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,7 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – *Standard Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{1900}{310} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,184$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,184 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,3

Instantaneous Overcurrent Pickup

Rele RQ232 merupakan rele pelindung Transformator T23, sehingga perhitungan *setting instantaneous* perlu memperhatikan pertimbangan khusus seperti yang telah dijabarkan pada bab 2. Untuk melakukan *setting* rele RQ232, digunakan data arus hubung singkat:

$$I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle sisi primer T23} = 14830 \text{ A (33 kV)}$$

$$I_{sc} \text{ maks } 4 \text{ cycle sisi sekunder T23} = 1900 \text{ A (33 kV)}$$

maka,

$I_{sc} \text{ maks } 4 \text{ cycle sekunder T23} < 0,8 I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle primer T23}$
sehingga berlaku persamaan,

$$I_{sc} \text{ maks } 4 \text{ cycle} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$I_{sc} \text{ maks } 4 \text{ cycle}$ yang digunakan berupa arus hubung singkat pada sisi sekunder yang melewati RQ232. $I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$ yang digunakan berupa arus hubung singkat pada sisi primer yang melewati RQ232.

$$I_{sc} \text{ maks } 4 \text{ cycle} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1900 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 14830 \text{ A}$$

$$1900 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11864 \text{ A}$$

$$\frac{1900}{500} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{11864}{500} \text{ In}$$

$$3,8 \text{ In} \leq Tap \leq 23,728 \text{ In}$$

(*Range*: 0,08 In – 32 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 6 In ($I_{set} = 3000 \text{ A}$)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• **R2AL05**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Tipe Kurva	: IEC – Standard Inverse
Rasio CT	: 1500/5
FLA Generator STG 2-3	: 1400 A
Isc min 30 cycle Bus 2AL-A yang melewati R2AL05	: 6070 A
Isc maks 30 cycle SS70MB yang melewati R2AL05	: 4770 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1400 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 1400 A$$

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

$$\frac{1470}{1500} In \leq Tap \leq \frac{1960}{1500} In$$

$$0,98 In \leq Tap \leq 1,306 In$$

(Range: 0,08 In – 4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,03 In (Iset = 1545 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,7 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P343, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – Standard Inverse digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{4770}{1545} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,114$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,114 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,3

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1,6 \times 1400 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 6070 \text{ A}$$

$$2240 \text{ A} \leq I_{set} \leq 4856 \text{ A}$$

$$\frac{2240}{1500} In \leq Tap \leq \frac{4856}{1500} In$$

$$1,493 In \leq Tap \leq 3,237 In$$

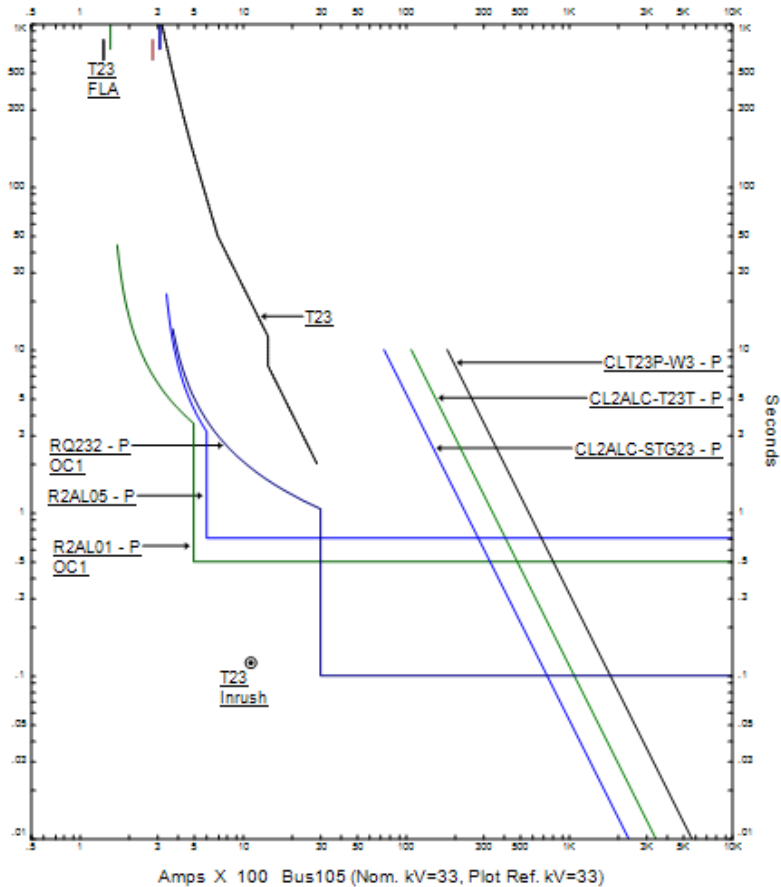
(*Range*: 0,08 In – 32 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 2 In (Iset = 3000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2 ini kemudian dimasukkan ke dalam *software* ETAP. Gambar 4.7 menunjukkan plot *time current characteristic* hasil perhitungan *setting* rele arus lebih dan peralatan yang dilindungi pada tipikal 2.

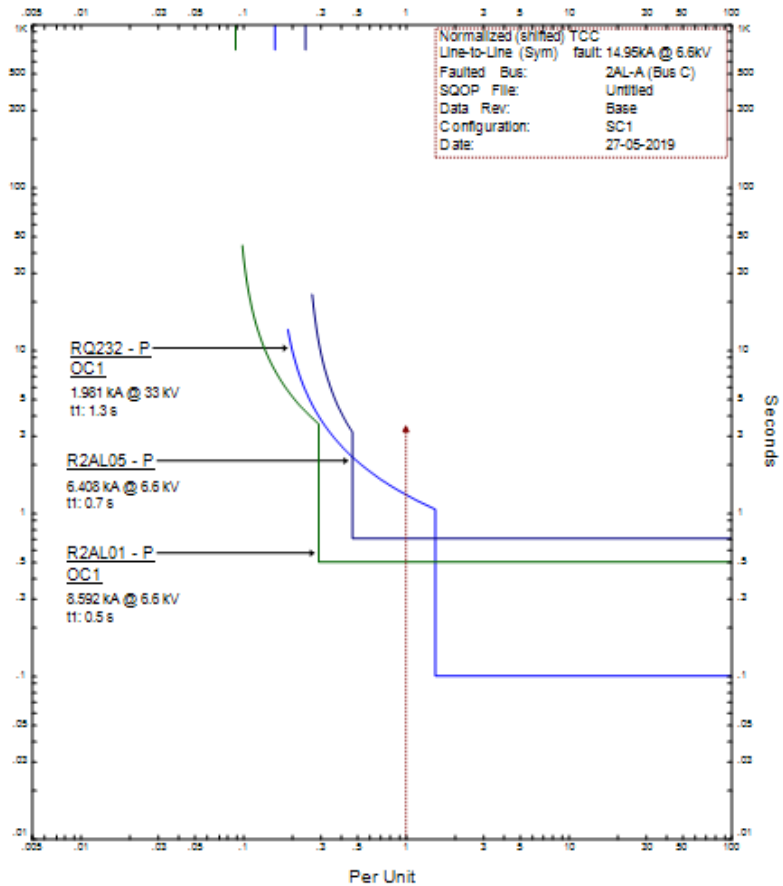


Gambar 4.7 Plot time current characteristic Tipikal 2

Berdasarkan Gambar 4.7, rele R2AL01 dan rele RQ232 sebagai pengaman transformator tidak akan bekerja saat Transformator T23 menarik arus *inrush*. Rele tersebut juga melindungi Transformator T23 dari kerusakan peralatan akibat gangguan (Ditunjukkan oleh kurva rele berada dibawah *damage curve* Transformator T23).

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di Bus 2AL-A (Bus C), maka Generator STG 2-3 dan dari sisi transformator 3 belitan akan memberikan

arus kontribusi ke titik gangguan sehingga *plot time current characteristic* menjadi seperti Gambar 4.8 berikut.

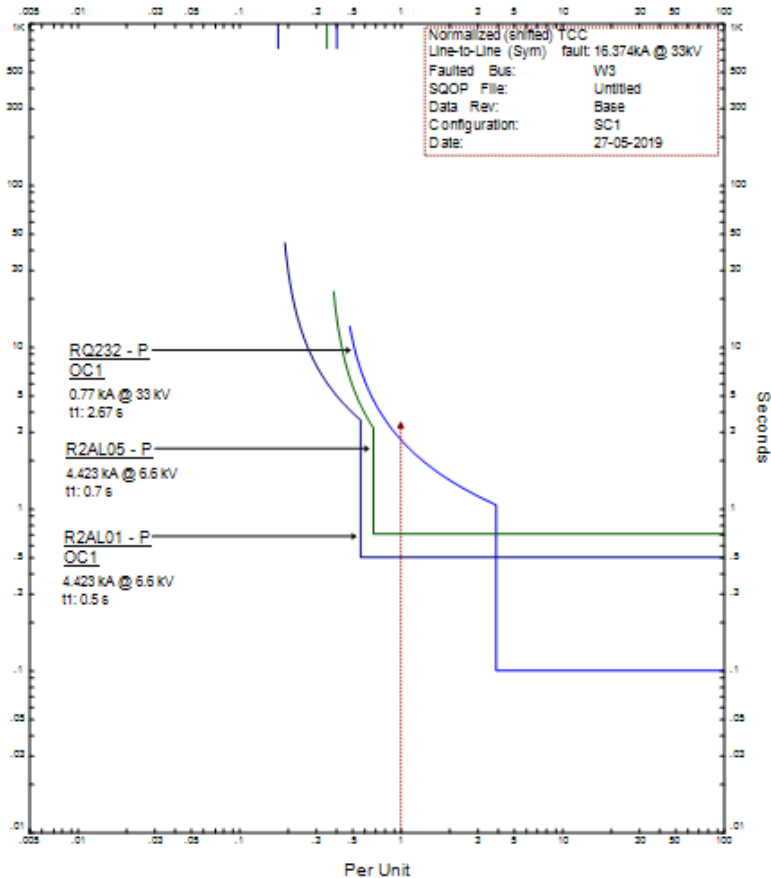


Gambar 4.8 *Plot time current characteristic* saat gangguan di Bus 2AL-A (Bus C) pada Tipikal 2

Berdasarkan Gambar 4.8, rele R2AL01 yang terhubung dengan sekunder T23 akan bekerja dengan waktu 0,5 detik dan rele R2AL05 yang terhubung dengan generator STG 2-3 akan bekerja dengan waktu 0,7 detik. Rele RQ222 akan bekerja sebagai *backup* dari R2AL01 yang bekerja pada waktu 1,3 detik. Berdasarkan hasil *setting* ini, ketika terjadi

gangguan di *Bus 2AL A (Bus C)*, maka bus tersebut akan terisolasi dari arus kontribusi generator dan arus kontribusi yang mengalir melewati Transformator T23.

Pada kasus lain, ketika terjadi gangguan hubung singkat di sisi primer T23, maka Generator STG 2-3 akan memberikan arus kontribusi ke titik gangguan sehingga *plot time current characteristic* menjadi seperti berikut.

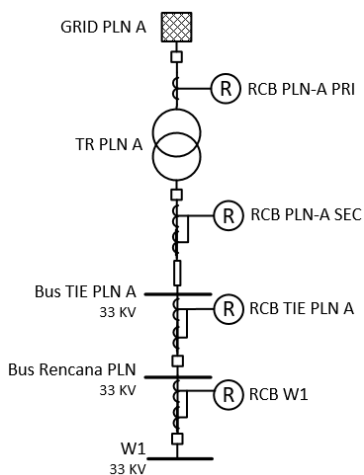


Gambar 4.9 *Plot time current characteristic* saat gangguan di sisi primer T23 pada Tipikal 2

Berdasarkan Gambar 4.9, rele R2AL01 akan bekerja dengan waktu 0,5 detik dan rele R2AL05 yang terhubung dengan generator STG 2-3 akan bekerja dengan waktu 0,7 detik. Rele diferensial sebagai pengaman utama ring bus akan bekerja pada waktu 0,02 detik sehingga waktu operasi rele RQ232 dapat dibiarkan pada waktu 2,67 detik.

4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 merupakan koordinasi proteksi dari *ring bus hingga grid PLN*. *Single line diagram* dari tipikal 3 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.10 *Single line diagram* Tipikal 3

Berdasarkan gambar diatas, rele RCB PLN-A PRI dan RCB PLN-A SEC merupakan rele pengaman TR PLN A, sehingga penentuan *setting* rele tersebut perlu mempertimbangkan *inrush current* dan *damage curve* TR PLN A. Berikut merupakan perhitungan *setting* rele Tipikal 3.

• **RCB W1**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
Model	: P142
Tipe Kurva	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
Rasio CT	: 2500/1
FLA	: 2332 A

Isc min 30 cycle Bus W1
 yang melewati RCB W1 : 13300 A
 Isc maks 30 cycle ring bus
 yang melewati RCB W1 : 15350 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 2332 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 2332 A$$

$$2448,6 A \leq I_{set} \leq 3264,8 A$$

$$\frac{2448,6}{2500} In \leq Tap \leq \frac{3264,8}{2500} In$$

$$0,979 In \leq Tap \leq 1,306 In$$

(Range: 0,08 In – 4 In, step: 0,01)
 Dipilih Tap = 1,03 In (Iset = 2575 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,3 s
 Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – *Standard Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{15350}{2575} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,077$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,077 (step: 0,025)
 dipilih *time dial* yang digunakan = 0,1

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1,6 \times 2332 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 13300 \text{ A}$$

$$3731 \text{ A} \leq I_{set} \leq 10640 \text{ A}$$

$$\frac{3731}{2500} In \leq Tap \leq \frac{10640}{2500} In$$

$$1,492 In \leq Tap \leq 4,256 In$$

(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,52 In (Iset = 3800 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

• RCB TIE PLN-A

Manufacturer : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC – *Extremely Inverse*

Rasio CT : 2500/1

FLA Sekunder TR PLN-A : 1166 A

Isc min 30 cycle Bus Rencana PLN

yang melewati RCB TIE PLN-A : 6650 A

Isc maks 30 cycle Bus W1

yang melewati RCB TIE PLN-A : 7680 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1166 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1,4 \times 1166 \text{ A}$$

$$1224,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1632,4 \text{ A}$$

$$\frac{1224,3}{2500} In \leq Tap \leq \frac{1632,4}{2500} In$$

$$0,489 In \leq Tap \leq 0,653 In$$

(Range: 0,08 In – 4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,52 In (Iset = 1300 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – *Extremely Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{80}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$TD = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{7680}{1300} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$TD = 0,2118$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,2118 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,25

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1,6 \times 1166 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 6650 \text{ A}$$

$$1865,6 \text{ A} \leq I_{set} \leq 5320 \text{ A}$$

$$\frac{1865,6}{2500} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{5320}{2500} \text{ In}$$

$$0,746 \text{ In} \leq Tap \leq 2,128 \text{ In}$$

(*Range*: 0,08 In – 32 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 1,6 In (Iset = 4000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

• RCB PLN-A SEC

Manufacturer : ALSTOM

Model : P142

Tipe Kurva : IEC – *Extremely Inverse*

Rasio CT : 1250/1

FLA Sekunder TR PLN A : 1166 A

Isc min 30 cycle Bus TIE PLN A

yang melewati RCB PLN-A SEC : 7760 A

Isc maks 30 cycle Bus Rencana PLN

yang melewati RCB PLN-A SEC : 7680 A

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 1166 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 1166 \text{ A} \\1224,3 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1632,4 \text{ A} \\1224,3 &\leq Tap \leq \frac{1632,4}{1250} In \\0,979 In &\leq Tap \leq 1,305 In \\(\text{Range: } 0,08 In - 4 In, \text{ step: } 0,01) \\ \text{Dipilih Tap} &= 1,04 In \text{ (Iset} = 1300 \text{ A)}\end{aligned}$$

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – *Extremely Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{80}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$TD = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{7680}{1300} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$TD = 0,2118$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,2188 (*step*: 0,025)
dipilih *time dial* yang digunakan = 0,25

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle} \\1,6 \times 1166 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 7760 \text{ A} \\1865,6 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 6208 \text{ A}\end{aligned}$$

$$\frac{1865,6}{1250} In \leq Tap \leq \frac{6208}{1250} In$$

$$1,492 In \leq Tap \leq 4,966 In$$

(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)
Dipilih Tap = 3,2 In (Iset = 4000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

• **RCB PLN-A PRI**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P142
Tipe Kurva	: IEC – <i>Extremely Inverse</i>
Rasio CT	: 300/1
FLA Primer TR PLN A	: 256,6 A
Isc min 30 cycle primer TR PLN A yang melewati RCB PLN-A PRI	: 43300 A
Isc maks 4 cycle sekunder TR PLN A yang melewati RCB PLN-A PRI	: 1970 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 256,6 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 256,6 A$$

$$269,43 A \leq I_{set} \leq 359,24 A$$

$$\frac{269,43}{300} In \leq Tap \leq \frac{359,24}{300} In$$

$$0,898 In \leq Tap \leq 1,197 In$$

(Range: 0,08 In – 4 In, step: 0,01)
Dipilih Tap = 0,95 In (Iset = 285 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,7 s

Berdasarkan *datasheet* ALSTOM P142, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC – *Extremely Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{80}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]} + 0 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$TD = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{1970}{285} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$TD = 0,409$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0409 (*step*: 0,025)
 dipilih *time dial* yang digunakan = 0,5

Instantaneous Overcurrent Pickup

Rele RCB PLN-A PRI merupakan rele pelindung Transformator TR PLN A, sehingga perhitungan setting *instantaneous* perlu memperhatikan pertimbangan khusus seperti yang telah dijabarkan pada bab 2. Untuk melakukan setting rele RCB PLN-A PRI, digunakan data arus hubung singkat:

Iscmin 30 *cycle* sisi primer TR PLN A = 43300 A (150 kV)

Iscmaks 4 *cycle* sisi sekunder TR PLN A = 1970 A (150 kV)

maka,

Iscmaks 4 *cyc. sek.* TR PLN A < 0,8 Iscmin 30 *cyc. prim.* TR PLN A
 sehingga berlaku persamaan,

$$Isc \text{ maks } 4 \text{ cycle} \leq I_{set} \leq 0,8 \times Isc \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

Isc maks 4 *cycle* yang digunakan berupa arus hubung singkat pada sisi sekunder yang melewati RCB PLN-A SEC. Isc min 30 *cycle* yang digunakan berupa arus hubung singkat pada sisi primer yang melewati RCB PLN-A SEC.

$$Isc \text{ maks } 4 \text{ cycle} \leq I_{set} \leq 0,8 \times Isc \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1970 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times Isc \text{ min } 30 \text{ cycle}$$

$$1970 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 43300 \text{ A}$$

$$1970 \text{ A} \leq I_{set} \leq 34640 \text{ A}$$

$$\frac{1970}{300} In \leq Tap \leq \frac{34640}{300} In$$

$$6,567 In \leq Tap \leq 115,46 In$$

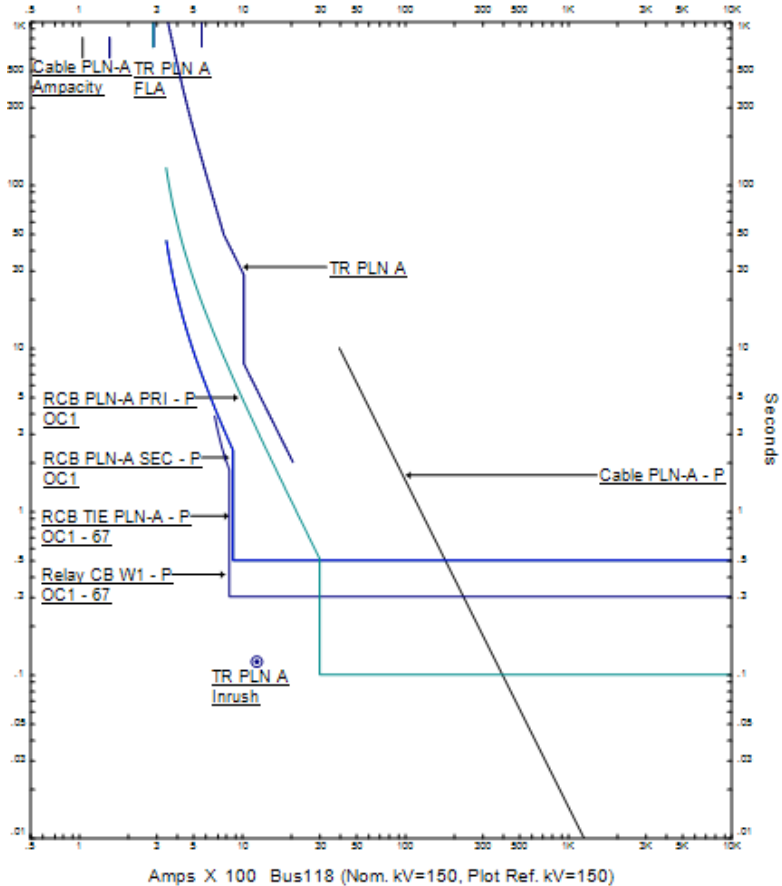
(*Range*: 0,08 In – 32 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 10 In (Iset = 3000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s.

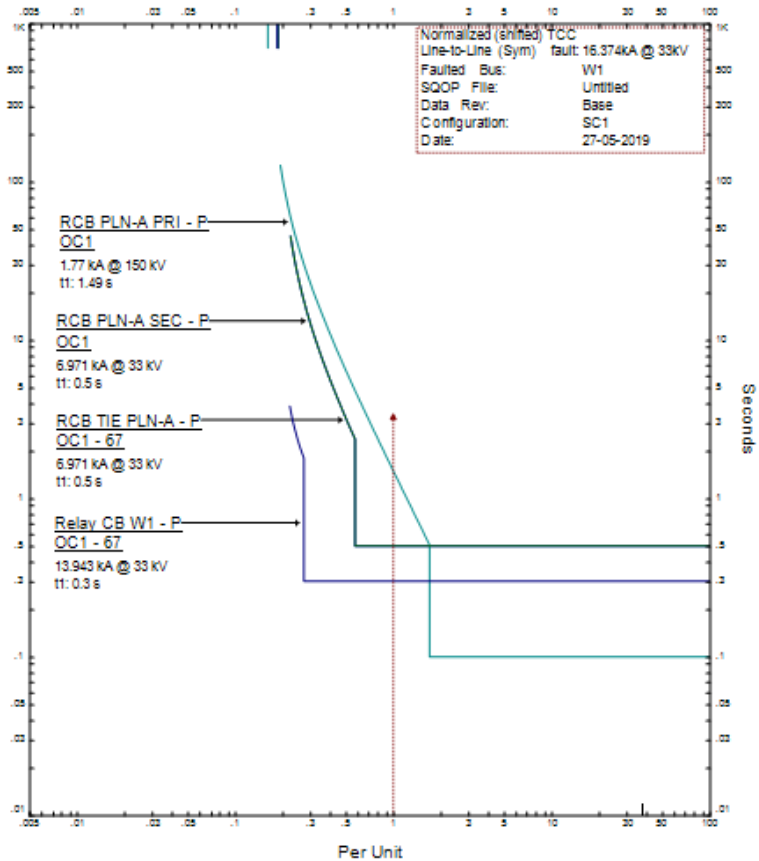
Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 ini kemudian dimasukkan kedalam *software* ETAP. Gambar 4.11 menunjukkan *plot time current characteristic* hasil perhitungan *setting* rele arus lebih dan peralatan yang dilindungi pada tipikal 3.



Gambar 4.11 Plot time current characteristic Tipikal 3

Berdasarkan Gambar 4.11, rele RCB PLN-A SEC dan RCB PLN-A PRI sebagai pengaman transformator tidak akan bekerja saat TR PLN A menarik arus *inrush*. Rele tersebut juga melindungi TR PLN A dari kerusakan peralatan akibat gangguan (Ditunjukkan oleh kurva rele berada dibawah *damage curve* Transformator T23).

Saat terjadi gangguan hubung singkat di *ring bus*, maka *grid* PLN akan memberikan arus kontribusi ke titik gangguan sehingga *plot time current characteristic* menjadi seperti berikut.



Gambar 4.12 Plot time current characteristic saat gangguan di *ring bus* pada tipikal 3

Berdasarkan Gambar 4.12, saat terjadi gangguan di *ring bus*, rele RCB W1 akan bekerja dengan waktu 0,3 detik. Rele RCB TIE PLN-A dan RCB PLN-A SEC akan bekerja dengan waktu 0,5 detik karena berada pada satu *feeder*. Rele RCB PLN-A PRI akan bekerja sebagai *backup* dari rele RCB PLN-A SEC dengan waktu 1,49 detik. Berdasarkan hasil *setting* ini, ketika terjadi gangguan di *ring bus*, maka titik gangguan akan terisolasi dari *grid* PLN.

Pada kasus lain, ketika terjadi gangguan hubung singkat di sisi PLN, maka sistem kelitrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan akan memberikan arus kontribusi ke arah *grid* PLN sehingga diperlukan penambahan rele arus lebih arah (*Directional Overcurrent Relay*) untuk mendeteksi arus tersebut. Rele arus lebih arah ditempatkan di RCB TIE PLN-A, dan RCB W1 dengan arah berlawanan (arah arus menuju ke PLN). Berikut merupakan perhitungan *setting* rele arus lebih arah pada tipikal 3.

• **RCB TIE PLN-A**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
Model	: P142
Rasio CT	: 2500/1
Isc min 30 cycle Bus TIE PLN-A yang melewati RCB TIE PLN-A	: 8970 A
Isc maks 4 cycle Primer TR PLN yang melewati RCB TIE PLN-A	: 11800 A

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 8970A$$

$$I_{set} \leq 7176 A$$

$$Tap \leq \frac{7176}{2500} In$$

$$Tap \leq 2,87 In$$

(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,4 In (Iset = 1000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• **RCB W1**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P142
Rasio CT : 2500/1
Isc min 30 cycle Bus Rencana PLN yang melewati RCB W1 : 2320 A
Isc maks 30 cycle Bus TIE PLN-A yang melewati RCB W1 : 2340 A

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 2320A$$

$$I_{set} \leq 1856 A$$

$$Tap \leq \frac{1856}{2500} In$$

$$Tap \leq 0,742 In$$

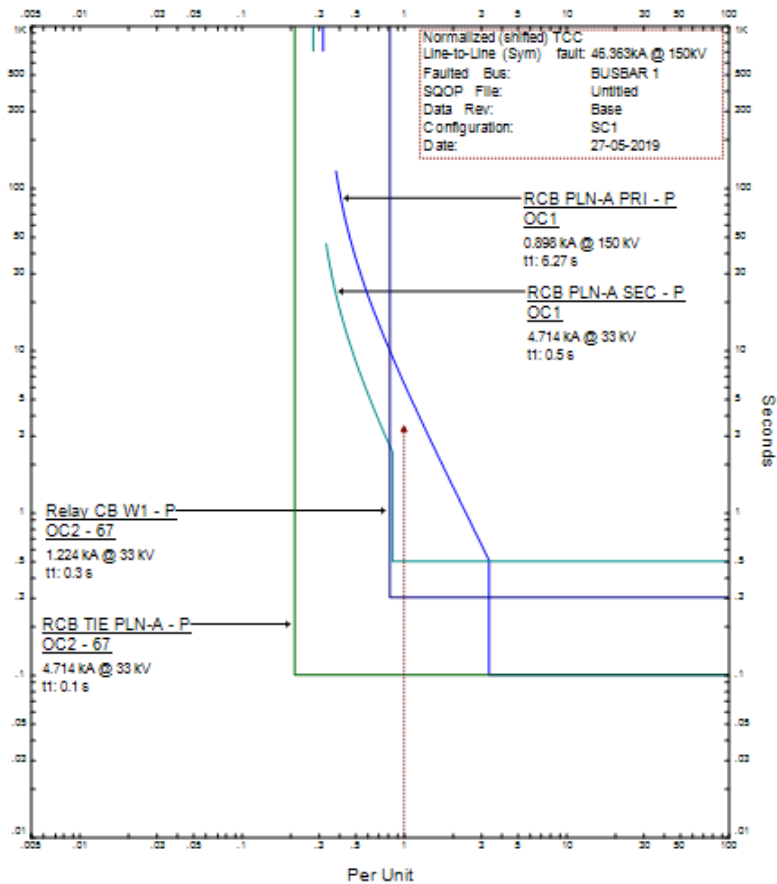
(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,4 In (Iset = 1000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

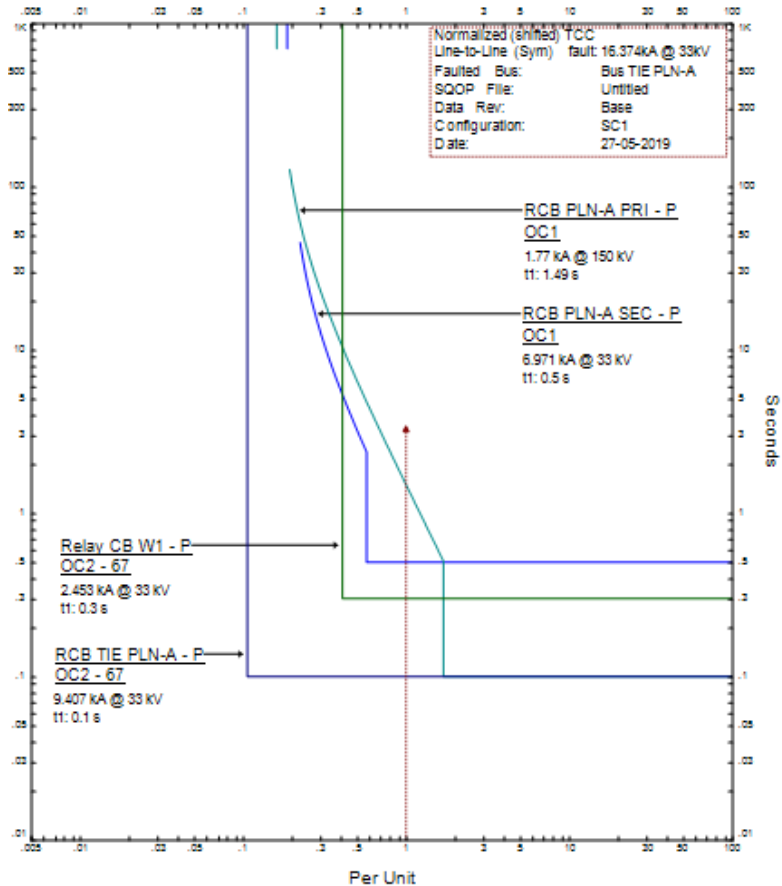
Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih arah pada tipikal 3 ini kemudian dimasukan ke dalam *software* ETAP. Gambar 4.13 menunjukkan *plot time current characteristic* hasil perhitungan *setting* rele arus lebih ketika terjadi hubung singkat di PLN



Gambar 4.13 Plot time current characteristic saat gangguan di sisi PLN pada tipikal 3

Berdasarkan Gambar 4.13, rele arah RCB TIE PLN-A akan bekerja pada waktu 0,1 detik. Rele arah RCB W1 akan bekerja pada 0,3 detik sebagai *backup* dari rele RCB TIE PLN-A. Rele RCB PLN-A SEC dan RCB PLN-A PRI akan menjadi *backup* ketika gangguan pada sisi *grid* PLN gagal diisolasi oleh rele arah.

Selain di sisi *grid* PLN, ketika hubung singkat terjadi di BUS TIE PLN-A, maka *plot time current characteristic* akan menjadi seperti Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 *Plot time current characteristic* saat gangguan di Bus TIE PLN A pada tipikal 3

Berdasarkan Gambar 4.14, rele arah RCB TIE PLN-A akan bekerja pada waktu 0,1 detik. Rele arah RCB W1 akan bekerja pada 0,3 detik sebagai *backup* dari rele RCB TIE PLN-A. Rele RCB PLN-A SEC akan bekerja

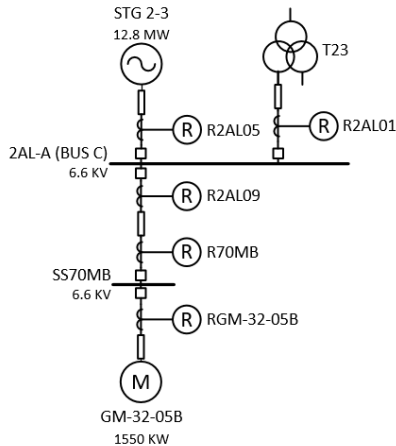
pada waktu 0,5 detik dan RCB PLN-A PRI akan menjadi *backup* rele RCB PLN-A SEC pada waktu 1,49 detik sehingga titik gangguan dapat terisolasi.

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, penentuan *setting* rele akan mengacu pada *Neutral Ground Resistor* (NGR) pada Generator STG 2-3 pada level tegangan 6,6 kV dan Transformator PLN pada level tegangan 33 kV. Oleh karena itu, tipikal pada level tegangan 6,6 kV dan tipikal pada level tegangan 33 kV perlu dianalisis.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 4

Koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan tanah tipikal 4 merupakan koordinasi proteksi yang mewakili tegangan 6,6 kV. *Setting* rele arus lebih gangguan tanah pada tipikal 4 mengacu pada Generator STG 2-3 yang memiliki NGR sebesar 1000 A. *Single line diagram* dari tipikal 4 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.15 *Single line diagram* Tipikal 4

Berdasarkan gambar diatas, penentuan *setting* rele arus lebih gangguan tanah akan mengacu pada Generator STG 2-3 sehingga *setting* rele beban motor (RGM-32-05B) dan rele R2AL01 dapat memiliki *time delay* yang sama. Berikut merupakan perhitungan *setting* rele pada tipikal 4.

• **RGM-32-05B**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 200/5
Arus maksimum NGR
pada STG 2-3 : 1000 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 1000 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 1000 A$
 $100 A \leq I_{set} \leq 500 A$
 $\frac{100}{200} In \leq Tap \leq \frac{500}{200} In$
 $0,5 In \leq Tap \leq 2,5 In$
(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)
Dipilih Tap = 2.25 In (Iset = 450 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1

• **R70MB**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 600/1
Arus maksimum NGR
pada STG 2-3 : 1000 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 1000 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 1000 A$
 $100 A \leq I_{set} \leq 500 A$
 $\frac{100}{600} In \leq Tap \leq \frac{500}{600} In$
 $0,1667 In \leq Tap \leq 0,833 In$
(Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)
Dipilih Tap = 0.75 In (Iset = 450 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3

• **R2AL09**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1250/5
Arus maksimum NGR
pada STG 2-3 : 1000 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 1000 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A}$
 $100 \text{ A} \leq I_{set} \leq 500 \text{ A}$
 $\frac{100}{1250} In \leq Tap \leq \frac{500}{1250} In$
 $0,08 In \leq Tap \leq 0.4 In$
(*Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01*)
Dipilih *Tap* = 0.36 *In* (*Iset* = 450 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3

• **R2AL01**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1000/5
Arus maksimum NGR
pada STG 2-3 : 1000 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 1000 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1000 \text{ A}$
 $100 \text{ A} \leq I_{set} \leq 500 \text{ A}$
 $\frac{100}{1000} In \leq Tap \leq \frac{500}{1000} In$

$0,1 I_n \leq Tap \leq 0,5 I_n$
(Range: $0,08 I_n - 32 I_n$, step: $0,01$)
Dipilih Tap = $0,45 I_n$ (Iset = 450 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1

• **R2AL05**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 1500/5
Arus maksimum NGR
pada STG 2-3 : 1000 A

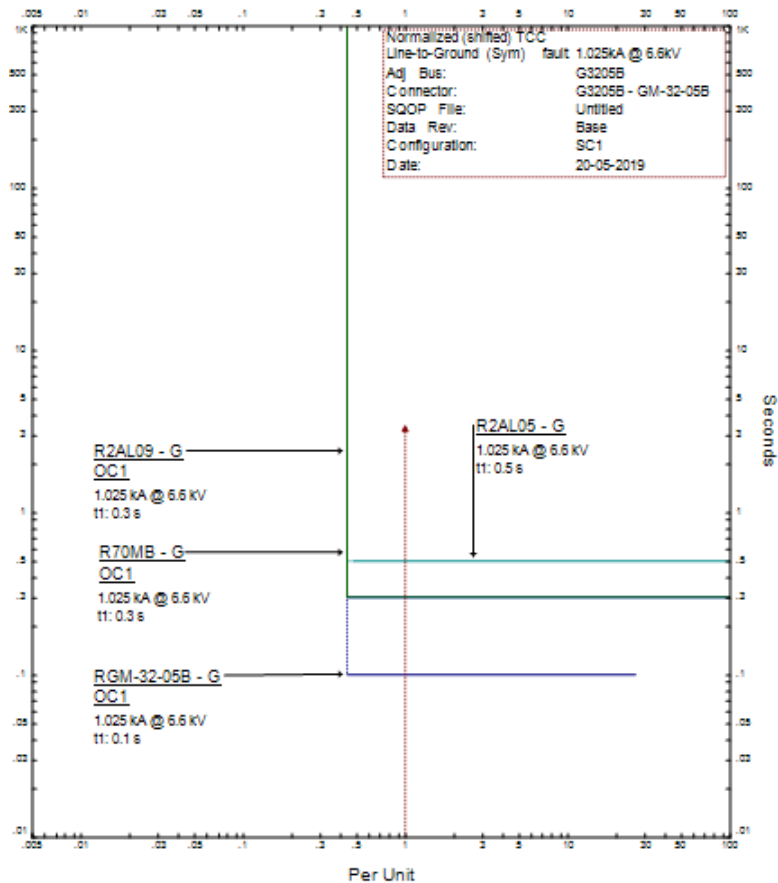
Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 1000 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 1000 A$
 $100 A \leq I_{set} \leq 500 A$
 $\frac{100}{1500} I_n \leq Tap \leq \frac{500}{1500} I_n$
 $0,067 I_n \leq Tap \leq 0,33 I_n$
(Range: $0,08 I_n - 32 I_n$, step: $0,01$)
Dipilih Tap = $0,3 I_n$ (Iset = 450 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.5

Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan tanah tipikal 4 ini kemudian dimasukan kedalam *software* ETAP. Ketika terjadi gangguan hubung singkat di sisi beban 6.6 kV, maka rele akan merasakan arus sebesar nilai NGR generator STG 2-3 yaitu 1000 A.

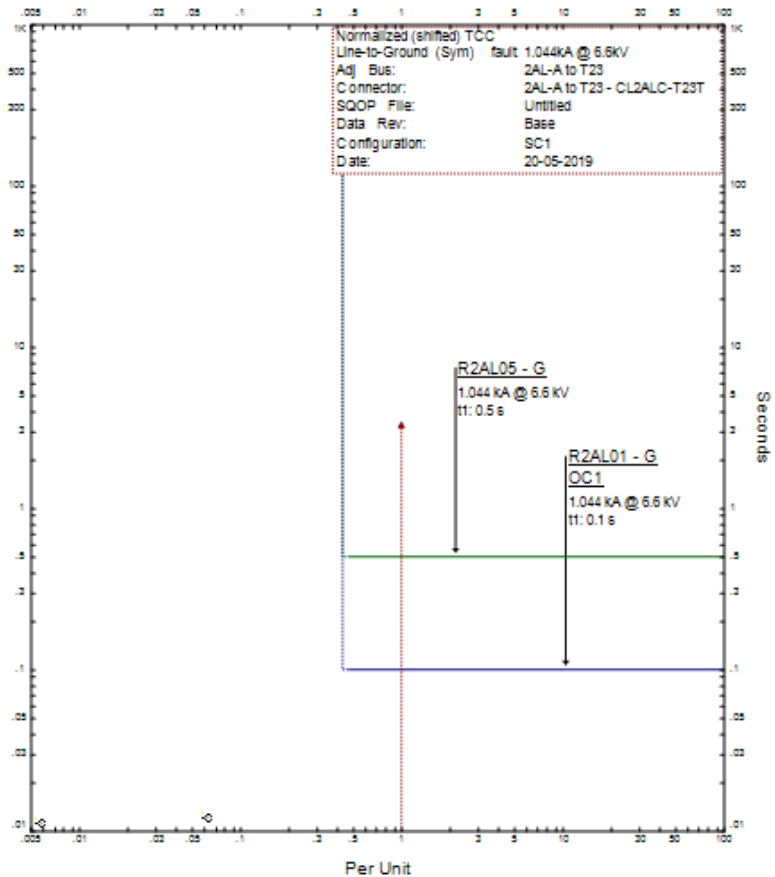


Gambar 4.16 Plot time current characteristic saat gangguan di beban motor pada tipikal 4

Berdasarkan Gambar 4.16 diatas, saat terjadi hubung singkat gangguan tanah di beban motor, rele RGM-32-05B sebagai pengaman utama motor akan bekerja dengan waktu 0,1 detik. Rele R70MB dan R2AL09 akan bekerja sebagai *backup* dari rele utama motor dengan waktu 0,3 detik. Rele R2AL05 sebagai rele pengaman generator akan bekerja di 0,5 detik. Berdasarkan hasil *setting* ini, ketika terjadi hubung singkat gangguan

tanah di beban motor 6,6 kV, maka saluran motor akan terlepas dari sistem sehingga titik gangguan dapat terisolasi.

Selain itu, ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah di saluran yang terhubung dengan sekunder T23 maka *plot time current characteristic* menjadi seperti berikut.

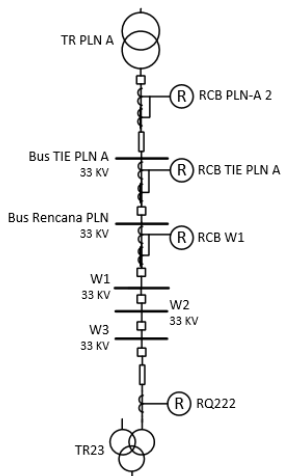


Gambar 4.17 *Plot time current characteristic* saat gangguan di sekunder T23 pada tipikal 4

Berdasarkan Gambar 4.17, saat terjadi hubung singkat gangguan tanah di saluran yang terhubung dengan sekunder T23, rele R2AL01 sebagai pengaman utama pada saluran akan bekerja dengan waktu 0,1 detik. Rele R2AL05 sebagai rele pengaman generator akan trip di 0,5 detik seperti yang ditunjukkan sebelumnya. Berdasarkan hasil *setting* ini, ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah di saluran yang terhubung dengan sekunder T23, maka titik gangguan akan terisolasi.

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5

Koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan tanah tipikal 5 merupakan koordinasi proteksi yang mewakili tegangan 33 kV. *Setting* rele arus lebih gangguan tanah pada tipikal 5 mengacu pada Transformator TR PLN yang memiliki NGR sebesar 100 A. *Single line diagram* dari tipikal 5 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.18 *Single line diagram* Tipikal 5

Berikut merupakan perhitungan *setting* rele pada tipikal 5.

- **RQ232**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P142
<i>Tipe Kurva</i>	: <i>Definite Time</i>

Rasio CT : 500/1
 Arus maksimum NGR
 pada TR PLN A : 100 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 100 A$
 $10 A \leq I_{set} \leq 50 A$
 $\frac{10}{500} In \leq Tap \leq \frac{50}{500} In$
 $0,02 In \leq Tap \leq 0,1 In$
 (Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)
 Dipilih Tap = 0.4 In (Iset = 40 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1

• RCB W1

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P142
 Tipe Kurva : *Definite Time*
 Rasio CT : 50/1
 Arus maksimum NGR
 pada TR PLN A : 100 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 100 A$
 $10 A \leq I_{set} \leq 50 A$
 $\frac{10}{50} In \leq Tap \leq \frac{50}{50} In$
 $0,2 In \leq Tap \leq 1 In$
 (Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01)
 Dipilih Tap = 0.8 In (Iset = 40 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3

• **RCB TIE PLN-A**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 50/1
Arus maksimum NGR
pada TR PLN : 100 A

Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 100 A$
 $10 A \leq I_{set} \leq 50 A$
 $\frac{10}{50} In \leq Tap \leq \frac{50}{50} In$
 $0,2 In \leq Tap \leq 1 In$
(*Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01*)
Dipilih Tap = 0.8 In (Iset = 40 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3

• **RCB PLN-A**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P142
Tipe Kurva : *Definite Time*
Rasio CT : 50/1
Arus maksimum NGR
pada TR PLN : 100 A

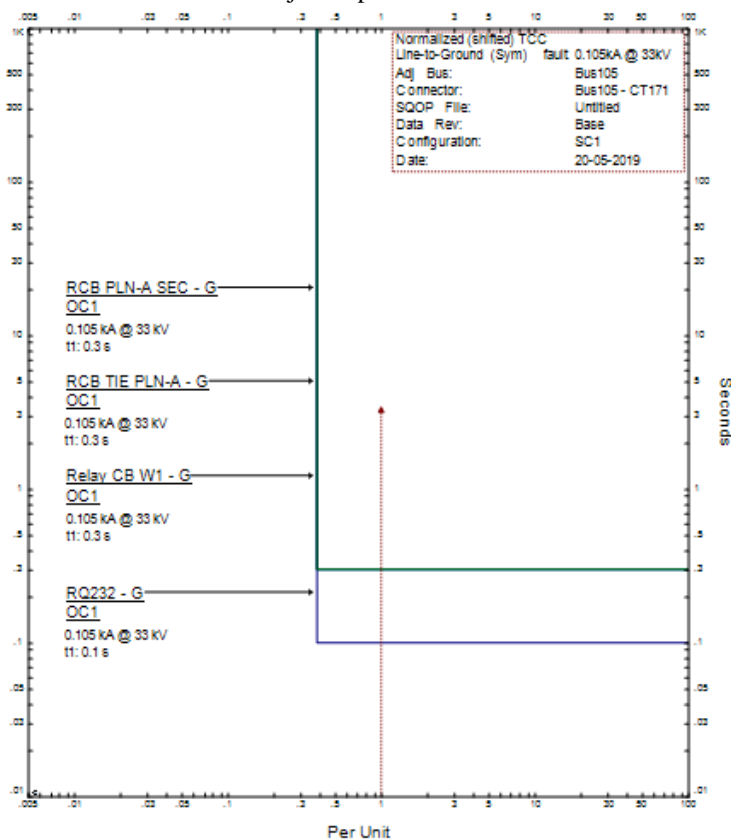
Instantaneous Pickup

$10\% \times I_{NGR} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{NGR}$
 $10\% \times 100 A \leq I_{set} \leq 50\% \times 100 A$
 $10 A \leq I_{set} \leq 50 A$
 $\frac{10}{50} In \leq Tap \leq \frac{50}{50} In$
 $0,2 In \leq Tap \leq 1 In$
(*Range: 0,08 In – 32 In, step: 0,01*)
Dipilih Tap = 0.8 In (Iset = 40 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3

Hasil perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan tanah tipikal 5 ini kemudian dimasukkan ke dalam *software* ETAP. Ketika terjadi gangguan hubung singkat di sisi primer transformator T23, maka rele akan merasakan arus sebesar NGR TR PLN yaitu 100 A sehingga *plot time current characteristic* menjadi seperti berikut.



Gambar 4.19 *Plot time current characteristic* saat gangguan di primer TR23 pada Tipikal 5

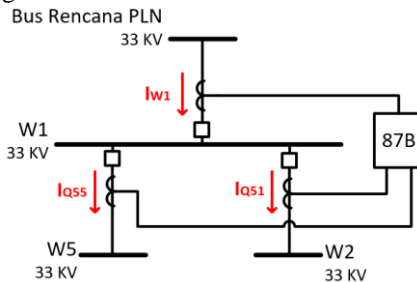
Berdasarkan Gambar 4.19, saat terjadi hubung singkat gangguan tanah di sisi primer transformator 3 belitan, maka rele RQ232 akan bekerja dengan waktu 0,1 detik. Rele RCB W1, RCB TIE PLN-A dan RCB PLN-A SEC akan bekerja sebagai *backup* dari rele utama motor dengan waktu 0,3 detik. Berdasarkan hasil *setting* ini, maka ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah di sisi *ring bus* maka saluran PLN akan terlepas dari sistem sehingga titik gangguan dapat terisolasi.

4.5 Setting Rele Diferensial Bus dan Transformator

Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan, rele diferensial bus digunakan sebagai pengamanan utama ketika terjadi gangguan pada *ring bus* dan Bus Rencana PLN. Selain rele diferensial bus, PT. Pertamina RU V Balikpapan juga menggunakan rele diferensial sebagai perlindungan Transformator PLN.

4.5.1 Perhitungan Setting Rele Diferensial Bus W1

Bus W1 memiliki 3 feeder yang masing-masing terhubung dengan Bus Rencana PLN, Bus W2 dan Bus W5. Skema rele diferensial pada Bus W1 ditunjukkan pada gambar berikut.

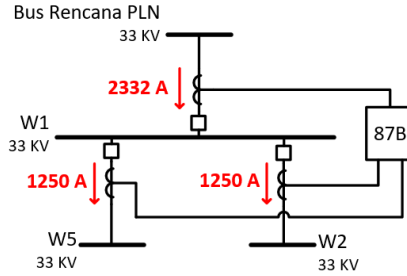


Gambar 4.20 Skema rele diferensial Bus W1

Berdasarkan gambar diatas, arus sekunder CT_1 yang terbaca oleh rele diferensial (I_P) merupakan arus I_{W1} , sedangkan arus sekunder CT_2 yang terbaca oleh rele diferensial (I_S) merupakan penjumlahan arus I_{Q55} dan I_{Q51} . Berikut merupakan perhitungan parameter rele diferensial pada kondisi normal dan saat terjadi gangguan di luar area proteksi rele diferensial.

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, arah aliran arus pada tiap *feeder* ditunjukkan pada gambar berikut.

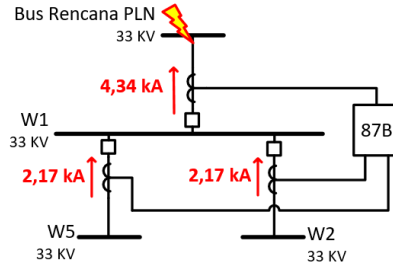


Gambar 4.21 Skema rele diferensial Bus W1 saat kondisi normal

$$\begin{aligned} I_p &= I_{W1} \\ &= \frac{2332}{2500/1} \times 95\% \\ &= 0,8861 \text{ A} \\ I_S &= I_{Q55} + I_{Q51} \\ &= \left(\frac{1250}{1250/1} + \frac{1250}{1250/1} \right) \times 105\% \\ &= 2,1 \text{ A} \\ I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_S|) \\ &= \text{maks}(|0,8861|, |2,1|) \\ &= 2,1 \text{ A} \\ I_{Diff} &= |I_p - I_S| \\ &= |0,8861 - 2,1| \\ &= 1,213 \text{ A} \\ \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\ &= \frac{1,213}{2,1} \times 100 \\ &= 57,8\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus Rencana PLN

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di *Bus* Rencana PLN, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

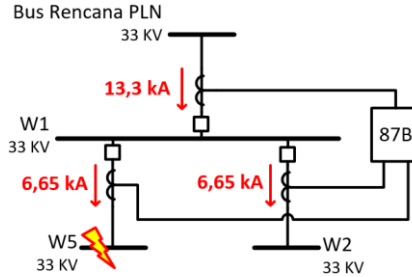


Gambar 4.22 Skema rele diferensial *Bus* W1 saat gangguan eksternal L-L di *Bus* Rencana PLN

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{-4340}{2500/1} \times 95\% \\
 &= -1,6492 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q55} + I_{Q51} \\
 &= \left(\frac{-2170}{1250/1} + \frac{-2170}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= -3,6456 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-1,6492|, |-3,6456|) \\
 &= 3,6456 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-1,6492 - (-3,6456)| \\
 &= 1,9964 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{1,9964}{3,6456} \times 100 \\
 &= 54,76\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W5

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W5, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.23 Skema rele diferensial Bus W1 saat gangguan eksternal L-L di Bus W5

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{I_{W1}}{13300} \\ &= \frac{2500/1}{2500/1} \times 95\% \\ &= 5,054 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_s &= I_{Q55} + I_{Q51} \\ &= \left(\frac{6650}{1250/1} + \frac{6650}{1250/1} \right) \times 105\% \\ &= 11,172 \text{ A} \end{aligned}$$

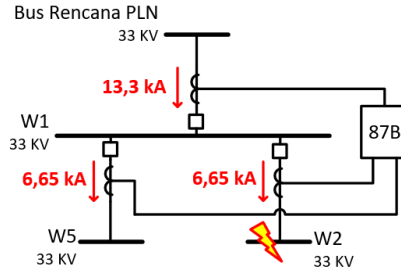
$$\begin{aligned} I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\ &= \text{maks}(|5,054|, |11,172|) \\ &= 11,172 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\ &= |5,054 - 11,172| \\ &= 6,118 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\ &= \frac{6,118}{11,172} \times 100 \\ &= 54,76\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W2

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W2, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

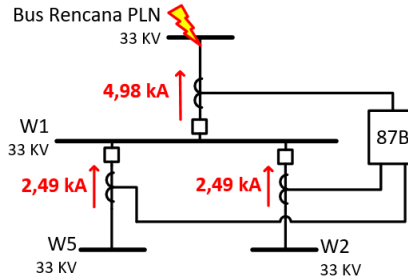


Gambar 4.24 Skema rele diferensial Bus W1 saat gangguan eksternal L-L di Bus W2

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{13300}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 5,054 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q55} + I_{Q51} \\
 &= \left(\frac{6650}{1250/1} + \frac{6650}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 11,172 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|5,054|, |11,172|) \\
 &= 11,172 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |5,054 - 11,172| \\
 &= 6,118 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{6,118}{11,172} \times 100 \\
 &= 54,76\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus Rencana PLN

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di *Bus Rencana PLN*, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

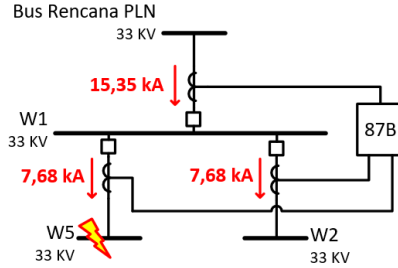


Gambar 4.25 Skema rele diferensial *Bus W1* saat gangguan eksternal 3 fasa di *Bus Rencana PLN*

$$\begin{aligned} I_p &= I_{W1} \\ &= \frac{-4980}{2500/1} \times 95\% \\ &= -1,8924 \text{ A} \\ I_S &= I_{Q55} + I_{Q51} \\ &= \left(\frac{-2490}{1250/1} + \frac{-2490}{1250/1} \right) \times 105\% \\ &= -4,1832 \text{ A} \\ I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_S|) \\ &= \text{maks}(|-1,8924|, |-4,1832|) \\ &= 4,1832 \text{ A} \\ I_{Diff} &= |I_p - I_S| \\ &= |-1,8924 - (-4,1832)| \\ &= 2,2908 \text{ A} \\ Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\ &= \frac{2,2908}{4,1832} \times 100 \\ &= 54,76\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W5

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W5, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

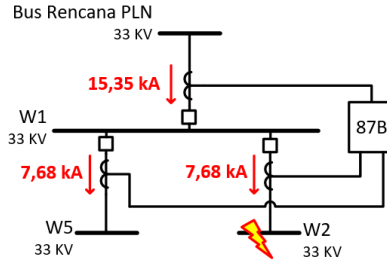


Gambar 4.26 Skema rele diferensial Bus W1 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W5

$$\begin{aligned}I_P &= I_{W1} \\&= \frac{15350}{2500/1} \times 95\% \\&= 5,833 \text{ A} \\I_S &= I_{Q55} + I_{Q51} \\&= \left(\frac{7680}{1250/1} + \frac{7680}{1250/1} \right) \times 105\% \\&= 12,9024 \text{ A} \\I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\&= \text{maks}(|5,833|, |12,9024|) \\&= 12,9024 \text{ A} \\I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\&= |5,833 - 12,9024| \\&= 7,0694 \text{ A} \\Slope (\%) &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\&= \frac{7,0694}{12,9024} \times 100 \\&= 54,79\%\end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W2

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W2, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.27 Skema rele diferensial Bus W1 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W2

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{W1} \\
 &= \frac{15350}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 5,833 \text{ A} \\
 I_s &= I_{Q55} + I_{Q51} \\
 &= \left(\frac{7680}{1250/1} + \frac{7680}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 12,9024 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|5,833|, |12,9024|) \\
 &= 12,9024 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,833 - 12,9024| \\
 &= 7,0694 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{7,0694}{12,9024} \times 100 \\
 &= 54,79\%
 \end{aligned}$$

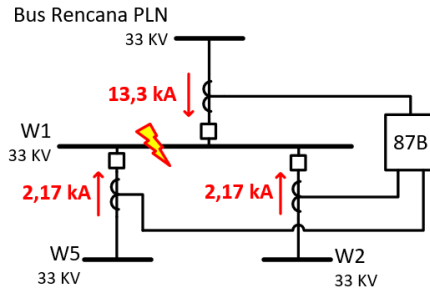
Penentuan *setting* arus *pickup* dan *slope* rele differensial dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penentuan *setting* arus *pickup* ditentukan dengan mengacu pada i_{diff} kondisi normal dengan nilai 1,213 A sehingga *setting* arus *pickup* dipilih lebih besar dari i_{diff} hasil perhitungan. Pada rele differensial Bus W1 dipilih arus *pickup* sebesar 1,27 A.
2. Penentuan *setting slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar pada kondisi normal maupun saat gangguan eksternal. *Slope* terbesar berdasarkan hasil perhitungan yaitu 57,8% sehingga *setting slope* ditentukan lebih besar dari *slope* hasil perhitungan. Pada rele differensial bus W1 dipilih *slope* sebesar 70%.

Untuk menguji hasil *setting* rele differensial Bus W1, maka dilakukan perhitungan parameter I_{diff} dan *slope* saat terjadi gangguan di dalam daerah pengamanan rele (gangguan internal) sebagai acuan.

Gangguan Internal L-L di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat internal L-L di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.28 Skema rele differensial Bus W1 saat gangguan internal L-L di Bus W1

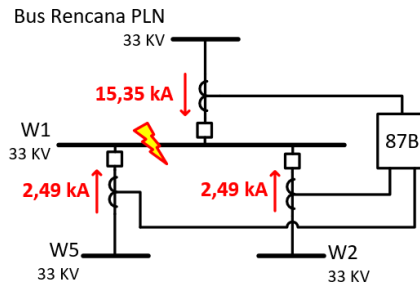
$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{13300}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 5,054 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_S &= I_{Q55} + I_{Q51} \\
 &= \left(\frac{-2170}{1250/1} + \frac{-2170}{1250/1} \right) \times 105\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -3,6456 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|5,054|, |-3,6456|) \\
 &= 5,054 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,054 - (-3,6456)| \\
 &= 8,6996 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{8,6996}{5,054} \times 100 \\
 &= 172,13\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Internal 3 Fasa di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat internal 3 fasa di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

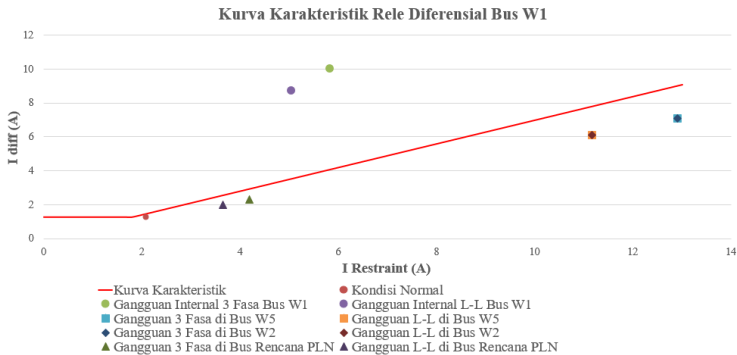


Gambar 4.29 Skema rele diferensial Bus W1 saat gangguan internal 3 fasa di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{W1} \\
 &= \frac{15350}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 5,833 \text{ A} \\
 I_s &= I_{Q55} + I_{Q51} \\
 &= \left(\frac{-2490}{1250/1} + \frac{-2490}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= -4,1832 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|5,833|, |-4,1832|) \\
 &= 5,833 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,833 - (-4,1832)| \\
 &= 10,0162 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{10,0162}{5,833} \times 100 \\
 &= 171,71\%
 \end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial *Bus W1* ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

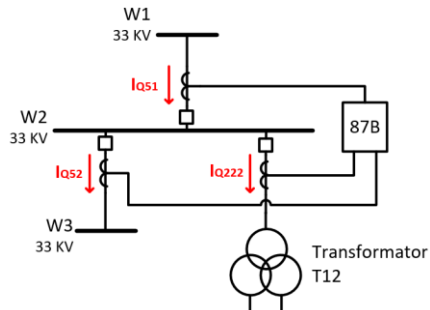


Gambar 4.30 Kurva karakteristik rele diferensial *Bus W1*

Berdasarkan Gambar 4.30, *plot* gangguan internal *Bus W1* berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

4.5.2 Perhitungan *Setting* Rele Diferensial Bus W2

Bus W2 memiliki 3 *feeder* yang masing-masing terhubung dengan Transformator T12, Bus W1 dan Bus W3. Skema rele diferensial pada Bus W2 ditunjukkan pada gambar berikut.

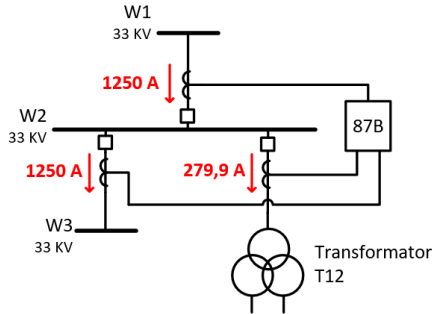


Gambar 4.31 Skema rele diferensial Bus W2

Berdasarkan gambar diatas, arus sekunder CT₁ yang terbaca oleh rele diferensial (I_P) merupakan arus I_{Q51} , sedangkan arus sekunder CT₂ yang terbaca oleh rele diferensial (I_S) merupakan penjumlahan arus I_{Q52} dan I_{Q222} . Berikut merupakan perhitungan parameter rele diferensial pada kondisi normal dan saat terjadi gangguan di luar area proteksi rele diferensial.

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, arah aliran arus pada tiap *feeder* ditunjukkan pada gambar berikut.

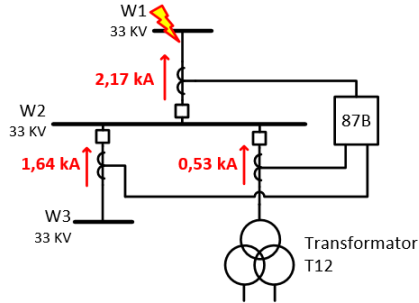


Gambar 4.32 Skema rele diferensial Bus W2 saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q51} \\
 &= \frac{1250}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 0,95 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q52} + I_{Q222} \\
 &= \left(\frac{1250}{1250/1} + \frac{279,9}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 1,6377 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|0,95|, |1,6377|) \\
 &= 1,6377 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |0,95 - 1,6377| \\
 &= 0,6877 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{0,6877}{1,6377} \times 100 \\
 &= 41,99\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

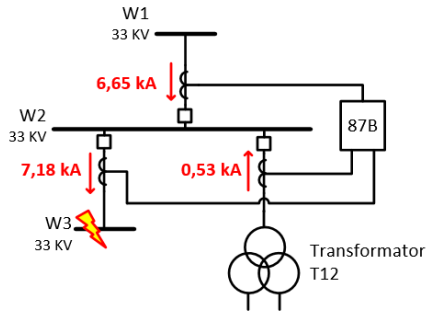


Gambar 4.33 Skema rele diferensial Bus W2 saat gangguan eksternal L-L di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q51} \\
 &= \frac{-2170}{1250/1} \times 95\% \\
 &= -1,6492 \text{ A} \\
 I_s &= I_{Q52} + I_{Q222} \\
 &= \left(\frac{-1640}{1250/1} + \frac{-530}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -2,4906 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|-1,6492|, |-2,4906|) \\
 &= 2,4906 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |-1,6492 - (-2,4906)| \\
 &= 0,8414 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{0,8414}{2,4906} \times 100 \\
 &= 33,78\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W3

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W3, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

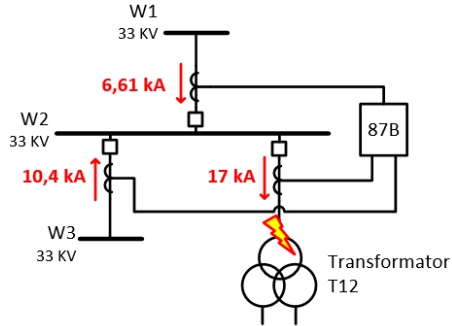


Gambar 4.34 Skema rele diferensial Bus W2 saat gangguan eksternal L-L di Bus W3

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q51} \\
 &= \frac{6650}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,054 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q52} + I_{Q222} \\
 &= \left(\frac{7180}{1250/1} + \frac{-530}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 4,9182 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|5,054|, |4,9182|) \\
 &= 5,054 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |5,054 - 4,9182| \\
 &= 0,1358 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{0,1358}{5,054} \times 100 \\
 &= 2,68\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Sisi Primer T12

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di sisi primer T12, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

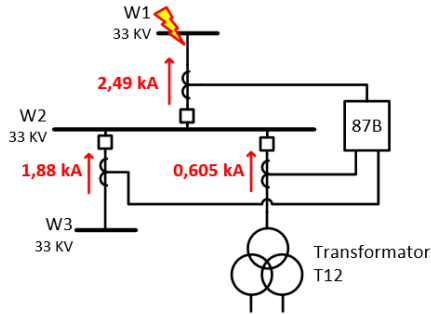


Gambar 4.35 Skema rele diferensial Bus W2 saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T12

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q51} \\
 &= \frac{6610}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,0236 \text{ A} \\
 I_s &= I_{Q52} + I_{Q222} \\
 &= \left(\frac{-10400}{1250/1} + \frac{17000}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 26,964 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|5,0236|, |26,964|) \\
 &= 26,964 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,0236 - 26,964| \\
 &= 21,9404 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{21,9404}{26,964} \times 100 \\
 &= 81,36\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

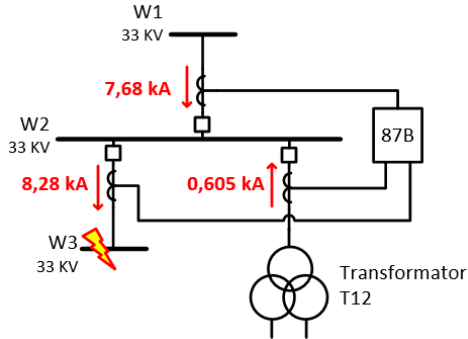


Gambar 4.36 Skema rele diferensial Bus W2 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q51} \\
 &= \frac{-2490}{1250/1} \times 95\% \\
 &= -1,8924 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q52} + I_{Q222} \\
 &= \left(\frac{-1880}{1250/1} + \frac{-605}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -2,8497 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-1,8924|, |-2,8497|) \\
 &= 2,8497 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-1,8924 - (-2,8497)| \\
 &= 0,9573 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{0,9573}{2,8497} \times 100 \\
 &= 33,59\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W3

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W3, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.37 Skema rele diferensial Bus W2 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W3

$$\begin{aligned} I_p &= I_{Q51} \\ &= \frac{7680}{1250/1} \times 95\% \\ &= 5,8368 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_s &= I_{Q52} + I_{Q222} \\ &= \left(\frac{8280}{1250/1} + \frac{-605}{500/1} \right) \times 105\% \\ &= 5,6847 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\ &= \text{maks}(|5,8368|, |5,6847|) \\ &= 5,8368 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\ &= |5,8368 - 5,6847| \\ &= 0,1521 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\ &= \frac{0,1521}{5,8368} \times 100 \\ &= 2,6\% \end{aligned}$$

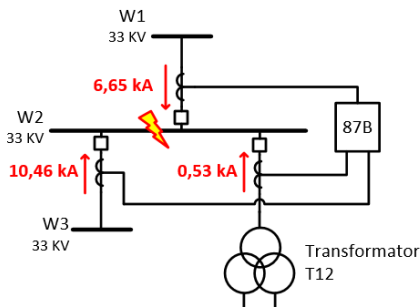
Penentuan *setting* arus *pickup* dan *slope* rele differensial dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penentuan *setting* arus *pickup* ditentukan dengan mengacu pada i_{diff} kondisi normal dengan nilai 0,687 A sehingga *setting* arus *pickup* dipilih lebih besar dari i_{diff} hasil perhitungan. Pada rele differensial Bus W2 dipilih arus *pickup* sebesar 0,74 A.
2. Penentuan *setting slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar pada kondisi normal maupun saat gangguan eksternal. *Slope* terbesar berdasarkan hasil perhitungan yaitu 81,36% sehingga *setting slope* ditentukan lebih besar dari *slope* hasil perhitungan. Pada rele differensial bus W2 dipilih *slope* sebesar 90%.

Untuk menguji hasil *setting* rele differensial Bus W2, maka dilakukan perhitungan parameter I_{diff} dan *slope* saat terjadi gangguan di dalam daerah pengamanan rele (gangguan internal) sebagai acuan.

Gangguan Internal L-L di Bus W2

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W2, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

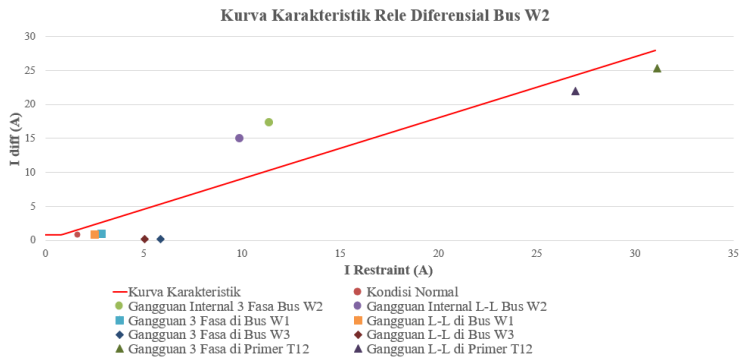


Gambar 4.39 Skema rele differensial Bus W2 saat gangguan internal L-L di Bus W2

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q51} \\
 &= \frac{6650}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,054 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q52} + I_{Q222} \\
 &= \left(\frac{-10460}{1250/1} + \frac{-530}{500/1} \right) \times 105\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{-12050}{1250/1} + \frac{-605}{500/1} \right) \times 105\% \\
&= -11,3925 A \\
I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
&= \text{maks}(|5,8368|, |-11,3925|) \\
&= 11,3925 A \\
I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\
&= |5,8368 - (-11,3925)| \\
&= 17,2293 A \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
&= \frac{17,2293}{11,3925} \times 100 \\
&= 151,23\%
\end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial *Bus W2* ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

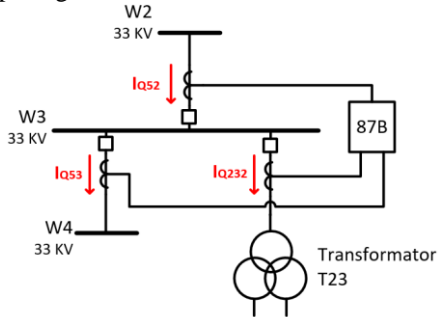


Gambar 4.41 Kurva karakteristik rele diferensial *Bus W2*

Berdasarkan Gambar 4.41, *plot* gangguan internal *Bus W2* berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

4.5.3 Perhitungan *Setting* Rele Diferensial Bus W3

Bus W3 memiliki 3 *feeder* yang masing-masing terhubung dengan Transformator T23, Bus W2 dan Bus W4. Skema rele diferensial pada Bus W3 ditunjukkan pada gambar berikut.

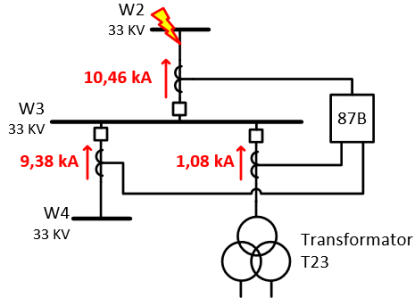


Gambar 4.42 Skema rele diferensial Bus W3

Berdasarkan gambar diatas, arus sekunder CT_1 yang terbaca oleh rele diferensial (I_P) merupakan arus I_{Q52} , sedangkan arus sekunder CT_2 yang terbaca oleh rele diferensial (I_S) merupakan penjumlahan arus I_{Q53} dan I_{Q232} . Berikut merupakan perhitungan parameter rele diferensial pada kondisi normal dan saat terjadi gangguan di luar area proteksi rele diferensial.

Gangguan Eksternal L-L di Bus W2

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W2, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

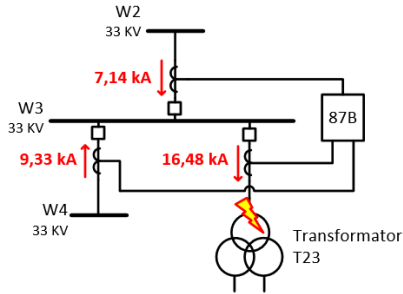


Gambar 4.44 Skema rele diferensial Bus W3 saat gangguan eksternal L-L di Bus W2

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q52} \\
 &= \frac{-10460}{1250/1} \times 95\% \\
 &= -7,9496 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q53} + I_{Q232} \\
 &= \left(\frac{-9380}{1250/1} + \frac{-1080}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -10,1472 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-7,9496|, |-10,1472|) \\
 &= 10,1472 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_S| \\
 &= |-7,9496 - (-10,1472)| \\
 &= 2,1976 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{2,1976}{10,1472} \times 100 \\
 &= 21,65\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Sisi Primer T23

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di sisi primer T23, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.46 Skema rele diferensial Bus W3 saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T23

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q52} \\
 &= \frac{7140}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,4264 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q53} + I_{Q232} \\
 &= \left(\frac{-9330}{1250/1} + \frac{16480}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 26,7708 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|5,4264|, |26,7708|) \\
 &= 26,7708 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |5,4264 - 26,7708| \\
 &= 21,344 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{21,344}{26,7708} \times 100 \\
 &= 79,73\%
 \end{aligned}$$

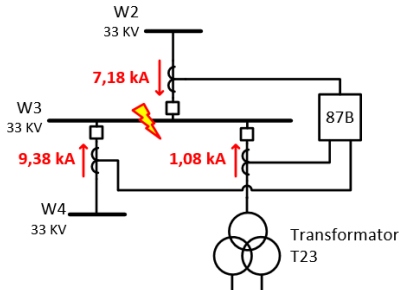
Penentuan *setting* arus *pickup* dan *slope* rele differensial dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penentuan *setting* arus *pickup* ditentukan dengan mengacu pada i_{diff} kondisi normal dengan nilai 0,687 A sehingga *setting* arus *pickup* dipilih lebih besar dari i_{diff} hasil perhitungan. Pada rele differensial Bus W3 dipilih arus *pickup* sebesar 0,74 A.
2. Penentuan *setting slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar pada kondisi normal maupun saat gangguan eksternal. *Slope* terbesar berdasarkan hasil perhitungan yaitu 79,73% sehingga *setting slope* ditentukan lebih besar dari *slope* hasil perhitungan. Pada rele differensial bus W3 dipilih *slope* sebesar 90%.

Untuk menguji hasil *setting* rele differensial Bus W3, maka dilakukan perhitungan parameter I_{diff} dan *slope* saat terjadi gangguan di dalam daerah pengamanan rele (gangguan internal) sebagai acuan.

Gangguan Internal L-L di Bus W3

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W3, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

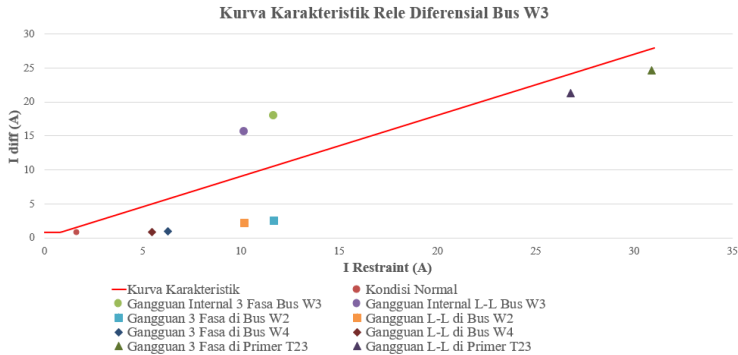


Gambar 4.50 Skema rele differensial Bus W3 saat gangguan internal L-L di Bus W3

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q52} \\
 &= \frac{7180}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,4568 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q53} + I_{Q232} \\
 &= \left(\frac{-9380}{1250/1} + \frac{-1080}{500/1} \right) \times 105\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restraining}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|6,2928|, |-11,6844|) \\
 &= 11,6844 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |6,2928 - (-11,6844)| \\
 &= 17,9772 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraining}}} \times 100 \\
 &= \frac{17,9772}{11,6844} \times 100 \\
 &= 153,85\%
 \end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial *Bus W3* ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

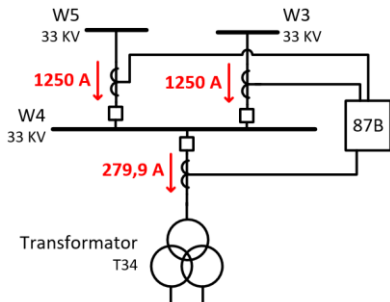


Gambar 4.52 Kurva karakteristik rele diferensial *Bus W3*

Berdasarkan Gambar 4.52, *plot* gangguan internal *Bus W3* berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, arah aliran arus pada tiap *feeder* ditunjukkan pada gambar berikut.

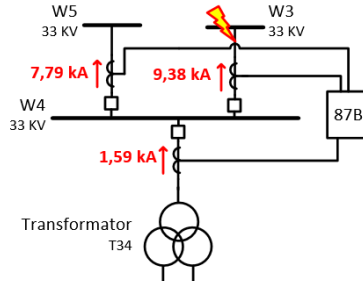


Gambar 4.54 Skema rele diferensial Bus W4 saat kondisi normal

$$\begin{aligned} I_P &= I_{Q242} \\ &= \frac{279,9}{500/1} \times 95\% \\ &= 0,5318 \text{ A} \\ I_S &= I_{Q53} + I_{Q54} \\ &= \left(\frac{1250}{1250/1} + \frac{1250}{1250/1} \right) \times 105\% \\ &= 2,1 \text{ A} \\ I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\ &= \text{maks}(|0,5318|, |2,1|) \\ &= 2,1 \text{ A} \\ I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\ &= |0,5318 - 2,1| \\ &= 1,568 \text{ A} \\ \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\ &= \frac{1,568}{2,1} \times 100 \\ &= 74,67\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W3

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W3, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.55 Skema rele diferensial Bus W4 saat gangguan eksternal L-L di Bus W3

$$\begin{aligned} I_p &= I_{Q242} \\ &= \frac{-1590}{500/1} \times 95\% \\ &= -3,021 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_s &= I_{Q53} + I_{Q54} \\ &= \left(\frac{-9380}{1250/1} + \frac{7790}{1250/1} \right) \times 105\% \\ &= -1,3356 \text{ A} \end{aligned}$$

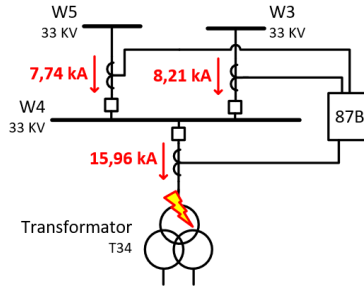
$$\begin{aligned} I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\ &= \text{maks}(|-3,021|, |-1,3356|) \\ &= 3,021 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\ &= |-3,021 - (-1,3356)| \\ &= 1,6854 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\ &= \frac{1,6854}{3,021} \times 100 \\ &= 55,78\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Sisi Primer T34

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di sisi primer T34, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

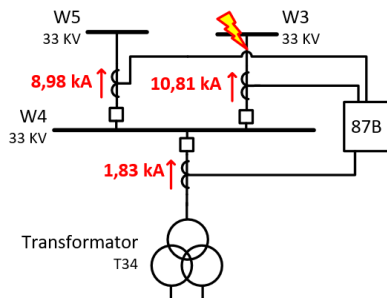


Gambar 4.57 Skema rele diferensial Bus W3 saat gangguan eksternal L-L di sisi primer T23

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q242} \\
 &= \frac{15960}{500/1} \times 95\% \\
 &= 30,324 \text{ A} \\
 I_s &= I_{Q53} + I_{Q54} \\
 &= \left(\frac{8210}{1250/1} + \frac{7740}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 13,398 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|30,324|, |13,398|) \\
 &= 30,324 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |30,324 - 13,398| \\
 &= 16,926 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{16,926}{30,324} \times 100 \\
 &= 55,81\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W3

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W3, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.58 Skema rele diferensial Bus W4 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W3

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q242} \\
 &= \frac{-1830}{500/1} \times 95\% \\
 &= -3,477 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_S &= I_{Q53} + I_{Q54} \\
 &= \left(\frac{-10810}{1250/1} + \frac{8980}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= -1,5372 \text{ A}
 \end{aligned}$$

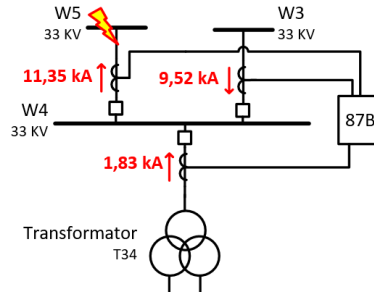
$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restrained}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-3,477|, |-1,5372|) \\
 &= 3,477 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-3,477 - (-1,5372)| \\
 &= 1,9398 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100 \\
 &= \frac{1,9398}{3,477} \times 100 \\
 &= 55,78\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W5

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di *Bus* W4, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

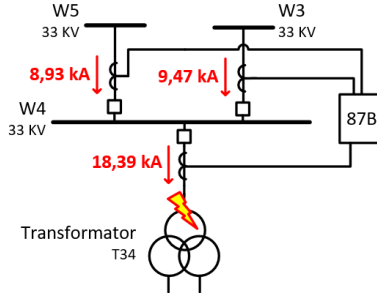


Gambar 4.59 Skema rele diferensial *Bus* W4 saat gangguan eksternal 3 fasa di *Bus* W5

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q242} \\
 &= \frac{-1830}{500/1} \times 105\% \\
 &= -3,477 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q53} + I_{Q54} \\
 &= \left(\frac{9520}{1250/1} + \frac{-11350}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= -1,5372 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-3,477|, |-1,5372|) \\
 &= 3,477 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-3,66 - (-1,5372)| \\
 &= 1,9398 \text{ A} \\
 \text{Slope } (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{1,9398}{3,477} \times 100 \\
 &= 55,78\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Sisi Primer T34

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di sisi primer T34, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.60 Skema rele diferensial Bus W4 saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer T34

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q242} \\
 &= \frac{18390}{500/1} \times 95\% \\
 &= 34,941 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q53} + I_{Q54} \\
 &= \left(\frac{9470}{1250/1} + \frac{8930}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 15,456 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|34,941|, |15,456|) \\
 &= 34,941 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |34,941 - 15,456| \\
 &= 19,485 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{19,485}{34,941} \times 100 \\
 &= 59,76\%
 \end{aligned}$$

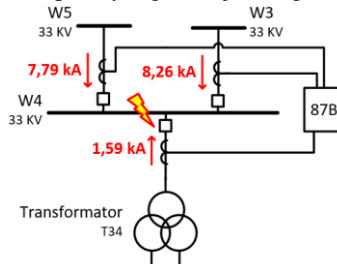
Penentuan *setting* arus *pickup* dan *slope* rele differensial dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penentuan *setting* arus *pickup* ditentukan dengan mengacu pada i_{diff} kondisi normal dengan nilai 1,56 A sehingga *setting* arus *pickup* dipilih lebih besar dari i_{diff} hasil perhitungan. Pada rele differensial Bus W4 dipilih arus *pickup* sebesar 1,62 A.
2. Penentuan *setting slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar pada kondisi normal maupun saat gangguan eksternal. *Slope* terbesar berdasarkan hasil perhitungan yaitu 74,67% sehingga *setting slope* ditentukan lebih besar dari *slope* hasil perhitungan. Pada rele differensial bus W4 dipilih *slope* sebesar 90%.

Untuk menguji hasil *setting* rele differensial Bus W4, maka dilakukan perhitungan parameter I_{diff} dan *slope* saat terjadi gangguan di dalam daerah pengamanan rele (gangguan internal) sebagai acuan.

Gangguan Internal L-L di Bus W4

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W4, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

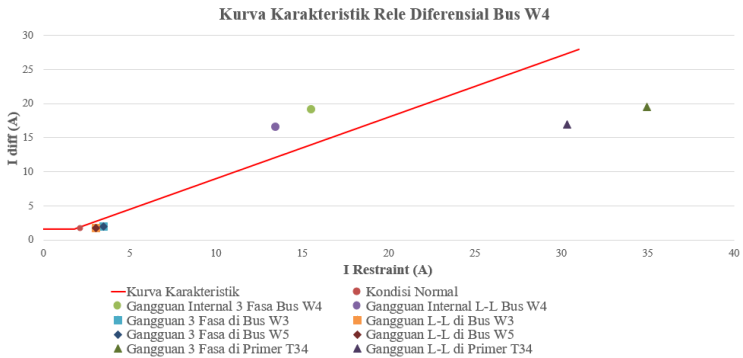


Gambar 4.61 Skema rele differensial Bus W4 saat gangguan internal L-L di Bus W4

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q242} \\
 &= \frac{-1590}{500/1} \times 95\% \\
 &= -3,021 \text{ A} \\
 I_s &= I_{Q53} + I_{Q54} \\
 &= \left(\frac{8260}{1250/1} + \frac{7790}{1250/1} \right) \times 105\% \\
 &= 13,482 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|-3,477|, |15,54|) \\
 &= 15,54 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |-3,477 - 15,54| \\
 &= 19,017 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{19,017}{15,54} \times 100 \\
 &= 122,37\%
 \end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial *Bus* W4 ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

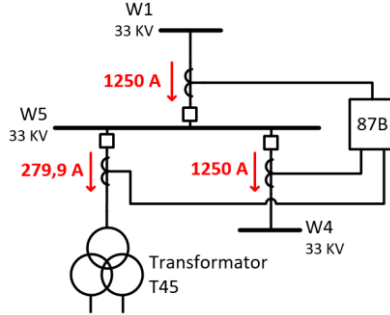


Gambar 4.63 Kurva karakteristik rele diferensial *Bus* W4

Berdasarkan Gambar 4.63, *plot* gangguan internal *Bus* W4 berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, arah aliran arus pada tiap *feeder* ditunjukkan pada gambar berikut.

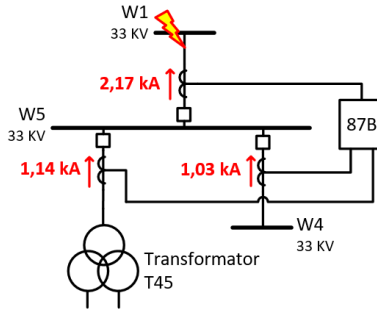


Gambar 4.65 Skema rele diferensial *Bus* W5 saat kondisi normal

$$\begin{aligned} I_p &= I_{Q55} \\ &= \frac{1250}{1250/1} \times 95\% \\ &= 0,95 \text{ A} \\ I_s &= I_{Q54} + I_{Q252} \\ &= \left(\frac{1250}{1250/1} + \frac{279,9}{500/1} \right) \times 105\% \\ &= 1,6377 \text{ A} \\ I_{Restraint} &= \max(|I_p|, |I_s|) \\ &= \max(|0,95|, |1,6377|) \\ &= 1,6377 \text{ A} \\ I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\ &= |0,95 - 1,6377| \\ &= 0,6877 \text{ A} \\ \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\ &= \frac{0,6877}{1,6377} \times 100 \\ &= 41,99\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

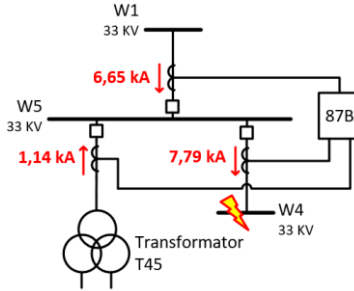


Gambar 4.66 Skema rele diferensial Bus W5 saat gangguan eksternal L-L di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q55} \\
 &= \frac{-2170}{1250/1} \times 95\% \\
 &= -1,6492 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q54} + I_{Q252} \\
 &= \left(\frac{-1030}{1250/1} + \frac{-1140}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -3,2592 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-1,6492|, |-3,2592|) \\
 &= 3,2592 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-1,6492 - (-3,2592)| \\
 &= 1,61 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{1,61}{3,2592} \times 100 \\
 &= 49,39\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W4

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W4, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.67 Skema rele diferensial Bus W5 saat gangguan eksternal L-L di Bus W4

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q55} \\
 &= \frac{6650}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,054 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_s &= I_{Q54} + I_{Q252} \\
 &= \left(\frac{7790}{1250/1} + \frac{-1140}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 4,1496 \text{ A}
 \end{aligned}$$

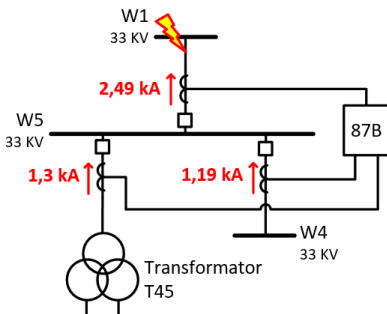
$$\begin{aligned}
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|5,054|, |4,1496|) \\
 &= 5,054 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,054 - 4,1496| \\
 &= 0,9044 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{0,9044}{5,054} \times 100 \\
 &= 27,89\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

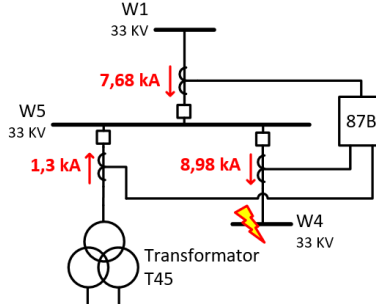


Gambar 4.69 Skema rele diferensial Bus W5 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{Q55} \\
 &= \frac{-2490}{1250/1} \times 95\% \\
 &= -1,8924 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q54} + I_{Q252} \\
 &= \left(\frac{-1190}{1250/1} + \frac{-1300}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -3,7296 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \max(|I_p|, |I_S|) \\
 &= \max(|-1,8924|, |-3,7296|) \\
 &= 3,7296 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_S| \\
 &= |-1,8924 - (-3,7296)| \\
 &= 1,8372 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{1,8372}{3,7296} \times 100 \\
 &= 49,25\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W4

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W4, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

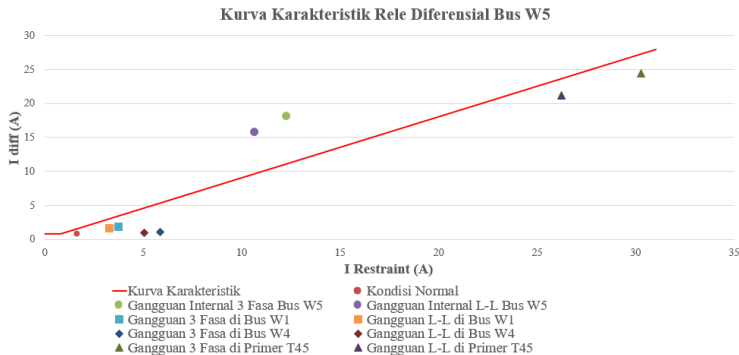


Gambar 4.70 Skema rele diferensial Bus W5 saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W4

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{Q55} \\
 &= \frac{7680}{1250/1} \times 95\% \\
 &= 5,8368 \text{ A} \\
 I_S &= I_{Q54} + I_{Q252} \\
 &= \left(\frac{8980}{1250/1} + \frac{-1300}{500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 4,8132 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \max(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \max(|5,8368|, |4,8132|) \\
 &= 5,8368 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |5,8368 - 4,8132| \\
 &= 1,0236 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{1,0236}{5,8368} \times 100 \\
 &= 17,53\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -12,264 \text{ A} \\
 I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|5,8368|, |-12,264|) \\
 &= 12,264 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\
 &= |5,8368 - (-12,264)| \\
 &= 18,1008 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\
 &= \frac{18,1008}{12,264} \times 100 \\
 &= 147,59\%
 \end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial *Bus W5* ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

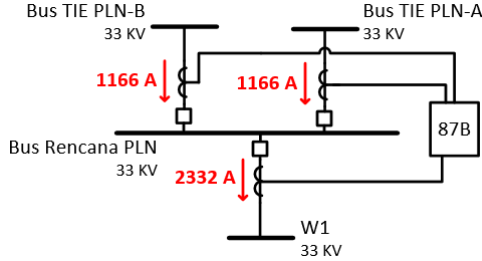


Gambar 4.74 Kurva karakteristik rele diferensial *Bus W5*

Berdasarkan Gambar 4.74, *plot* gangguan internal *Bus W5* berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, arah aliran arus pada tiap *feeder* ditunjukkan pada gambar berikut.

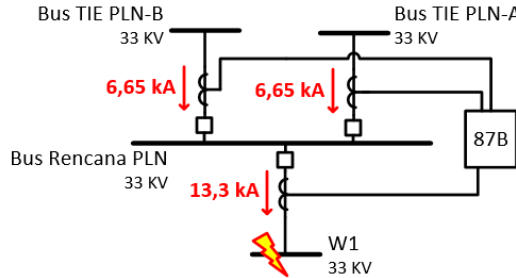


Gambar 4.76 Skema rele diferensial Bus Rencana PLN saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{2332}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 0,8861 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{1166}{2500/1} + \frac{1166}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 0,979 \text{ A} \\
 I_{Restraining} &= \max(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \max(|0,8861|, |0,979|) \\
 &= 0,979 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |0,8861 - 0,979| \\
 &= 0,0932 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraining}} \times 100 \\
 &= \frac{0,0932}{0,979} \times 100 \\
 &= 9,52\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

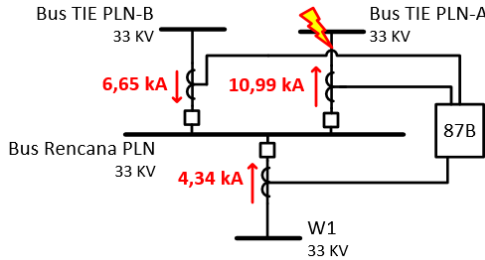


Gambar 4.77 Skema rele diferensial Bus Rencana PLN saat gangguan eksternal L-L di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{13300}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 5,054 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{6650}{2500/1} + \frac{6650}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 5,586 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|5,054|, |5,586|) \\
 &= 5,586 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |5,054 - 5,586| \\
 &= 0,532 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{0,532}{5,586} \times 100 \\
 &= 9,52\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus TIE PLN-A

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus TIE PLN-A, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

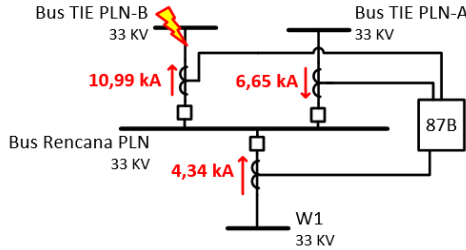


Gambar 4.78 Skema rele diferensial Bus Rencana PLN saat gangguan eksternal L-L di Bus TIE PLN-A

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{-4340}{2500/1} \times 95\% \\
 &= -1,6492 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{-10990}{2500/1} + \frac{6650}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -1,822 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \max(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \max(|-1,6492|, |-1,822|) \\
 &= 1,822 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-1,6492 - (-1,822)| \\
 &= 0,1736 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{0,1736}{1,822} \times 100 \\
 &= 9,52\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Bus TIE PLN-B

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus TIE PLN-B, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

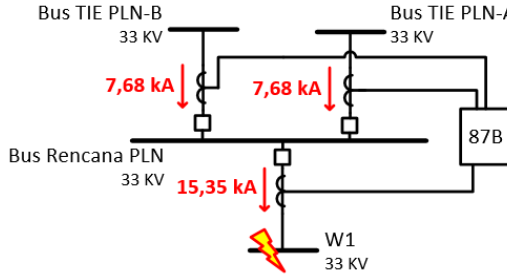


Gambar 4.79 Skema rele diferensial Bus Rencana PLN saat gangguan eksternal L-L di Bus TIE PLN-B

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{-4340}{2500/1} \times 95\% \\
 &= -1,6492 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{6650}{2500/1} + \frac{-10990}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -1,8228 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-1,6492|, |-1,8228|) \\
 &= 1,8228 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-1,6492 - (-1,8228)| \\
 &= 0,1736 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{0,1736}{1,8228} \times 100 \\
 &= 9,52\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus W1

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di Bus W1, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

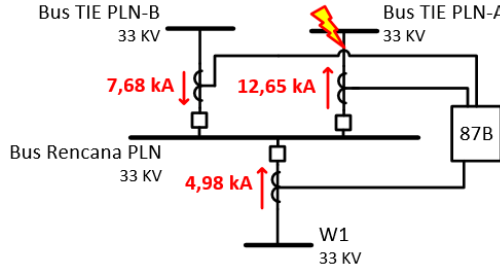


Gambar 4.80 Skema rele diferensial Bus Rencana PLN saat gangguan eksternal 3 fasa di Bus W1

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{15350}{2500/1} \times 95\% \\
 &= 5,833 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{7680}{2500/1} + \frac{7680}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 6,4512 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|5,833|, |6,4512|) \\
 &= 12,9024 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |5,833 - 6,4512| \\
 &= 0,6182 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{0,6182}{6,4512} \times 100 \\
 &= 9,58\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Bus TIE PLN-A

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di *Bus TIE PLN-A*, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.81 Skema rele diferensial *Bus Rencana PLN* saat gangguan eksternal 3 fasa di *Bus TIE PLN-A*

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{-4980}{2500/1} \times 95\% \\
 &= -1,8924 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{-12650}{2500/1} + \frac{7680}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= -2,0874 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-1,8924|, |-2,0874|) \\
 &= 2,0874 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-1,8924 - (-2,0874)| \\
 &= 0,195 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,195}{2,0874} \times 100\% \\
 &= 9,34\%
 \end{aligned}$$

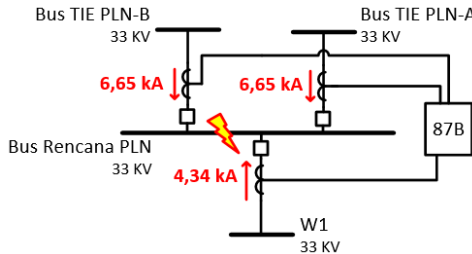
Penentuan *setting* arus *pickup* dan *slope* rele differensial dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penentuan *setting* arus *pickup* ditentukan dengan mengacu pada i_{diff} kondisi normal dengan nilai 0,0932 A sehingga *setting* arus *pickup* dipilih lebih besar dari i_{diff} hasil perhitungan. Pada rele differensial Bus Rencana PLN dipilih arus *pickup* sebesar 0,15 A.
2. Penentuan *setting slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar pada kondisi normal maupun saat gangguan eksternal. *Slope* terbesar berdasarkan hasil perhitungan yaitu 9,58% sehingga *setting slope* ditentukan lebih besar dari *slope* hasil perhitungan. Pada rele differensial Bus Rencana PLN dipilih *slope* sebesar 30%.

Untuk menguji hasil *setting* rele differensial Bus Rencana PLN, maka dilakukan perhitungan parameter I_{diff} dan *slope* saat terjadi gangguan di dalam daerah pengamanan rele (gangguan internal) sebagai acuan.

Gangguan Internal L-L di Bus Rencana PLN

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di Bus Rencana PLN, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.83 Skema rele differensial Bus Rencana PLN saat gangguan internal L-L di Bus Rencana PLN

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{-4340}{2500/1} \times 95\% \\
 &= -1,6492 \text{ A}
 \end{aligned}$$

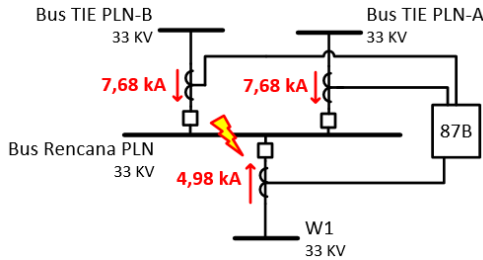
$$\begin{aligned}
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{6650}{2500/1} + \frac{6650}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 5,586 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$I_{Restraint} = \text{maks}(|I_P|, |I_S|)$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{maks}(|-1,6492|, |5,586|) \\
 &= 5,586 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\
 &= |-1,6492 - 5,586| \\
 &= 7,2352 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{7,2352}{5,586} \times 100 \\
 &= 129,52\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Internal 3 Fasa di Bus Rencana PLN

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di *Bus* Rencana PLN, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

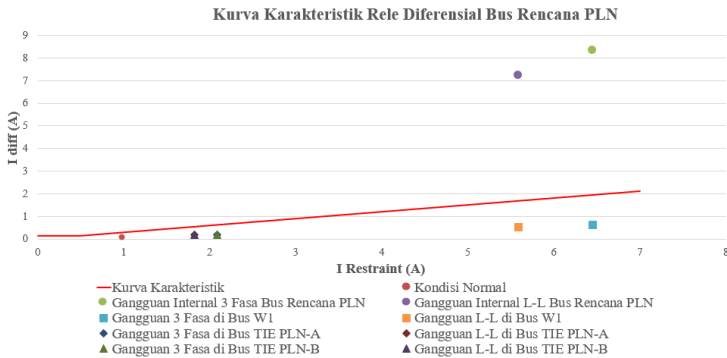


Gambar 4.84 Skema rele diferensial *Bus* Rencana PLN saat gangguan internal 3 fasa di *Bus* Rencana PLN

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{W1} \\
 &= \frac{-4980}{2500/1} \times 95\% \\
 &= -1,8924 \text{ A} \\
 I_S &= I_{TIEA} + I_{TIEB} \\
 &= \left(\frac{7680}{2500/1} + \frac{7680}{2500/1} \right) \times 105\% \\
 &= 6,4512 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|-1,8924|, |6,4512|) \\
 &= 6,4512 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_p - I_s|
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= |-1,8924 - 6,4512| \\
 &= 8,3436 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{8,3436}{6,4512} \times 100 \\
 &= 129,33\%
 \end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial *Bus* Rencana PLN ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

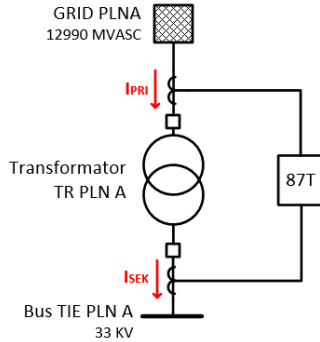


Gambar 4.85 Kurva karakteristik rele diferensial *Bus* Rencana PLN

Berdasarkan Gambar 4.85, *plot* gangguan internal *Bus* Rencana PLN berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

4.5.7 Perhitungan *Setting* Rele Diferensial Trafo PLN

Transformator TR PLN A dan TR PLN B merupakan transformator yang identik sehingga *setting* rele diferensial dapat disamakan. Transformator TR PLN A memiliki sisi primer dan sisi sekunder yang terhubung dengan CT sebagai *input* rele diferensial transformator. Skema rele diferensial pada Transformator TR PLN A ditunjukkan pada gambar berikut.

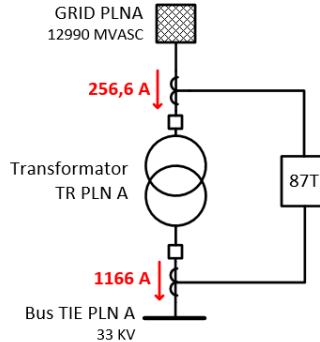


Gambar 4.86 Skema rele diferensial Transformator TR PLN A

Berdasarkan gambar diatas, arus sekunder CT_1 yang terbaca oleh rele diferensial (I_P) merupakan arus di sisi primer TR PLN A, sedangkan arus sekunder CT_2 yang terbaca oleh rele diferensial (I_S) merupakan arus di sisi sekunder TR PLN A. Berikut merupakan perhitungan parameter rele diferensial pada kondisi normal dan saat terjadi gangguan di luar area proteksi rele diferensial.

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, arah aliran arus yang melewati transformator TR PLN A ditunjukkan pada gambar berikut.

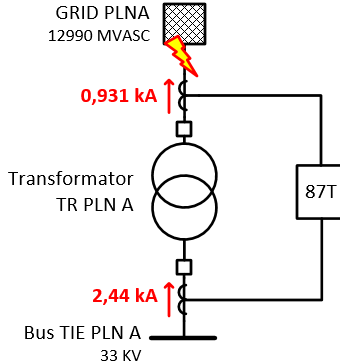


Gambar 4.87 Skema relé diferensial TR PLN A saat kondisi normal

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{256,6}{300/1} \times 95\% \\ &= 0,8125 \text{ A} \\ I_s &= \frac{1166}{1250/1} \times 105\% \\ &= 0,9794 \text{ A} \\ I_{\text{Restraint}} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\ &= \text{maks}(|0,8125|, |0,9794|) \\ &= 0,9794 \text{ A} \\ I_{\text{Diff}} &= |I_p - I_s| \\ &= |0,8125 - 0,9794| \\ &= 0,1668 \text{ A} \\ \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{Diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100 \\ &= \frac{0,1668}{0,9794} \times 100 \\ &= 17,03\% \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal L-L di Sisi Primer TR PLN A

Saat terjadi gangguan hubung singkat L-L di sisi primer TR PLN A, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

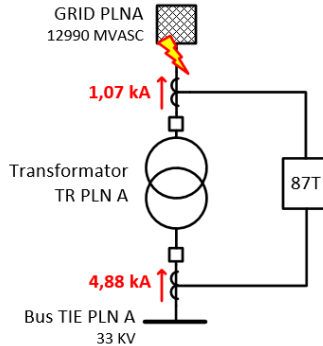


Gambar 4.88 Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal L-L di sisi primer TR PLN A

$$\begin{aligned}
 I_P &= \frac{-931}{300/1} \times 95\% \\
 &= -2,948 \text{ A} \\
 I_S &= \frac{-2440}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -2,0496 \text{ A} \\
 I_{Restrained} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-2,948|, |-2,0496|) \\
 &= 2,948 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-2,948 - (-2,0496)| \\
 &= 0,8985 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restrained}} \times 100 \\
 &= \frac{0,8985}{2,948} \times 100 \\
 &= 30,47\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Sisi Primer TR PLN A

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di sisi primer TR PLN A, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

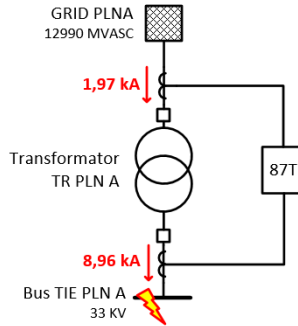


Gambar 4.90 Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi primer TR PLN A

$$\begin{aligned}
 I_P &= \frac{-1070}{300/1} \times 95\% \\
 &= -3,3883 \text{ A} \\
 I_S &= \frac{-4880}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -4,0992 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_P|, |I_S|) \\
 &= \text{maks}(|-3,3883|, |-4,0992|) \\
 &= 4,0992 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_P - I_S| \\
 &= |-3,3883 - (-4,0992)| \\
 &= 0,7108 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{0,7108}{4,0992} \times 100 \\
 &= 17,34\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 3 Fasa di Sisi Sekunder TR PLN A

Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa di sisi sekunder TR PLN A, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.91 Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan eksternal 3 fasa di sisi sekunder TR PLN A

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1970}{300/1} \times 95\% \\
 &= 6,2383 \text{ A} \\
 I_s &= \frac{8960}{1250/1} \times 105\% \\
 &= 7,5264 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|6,2383|, |7,5264|) \\
 &= 7,5264 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\
 &= |6,2383 - 7,5264| \\
 &= 1,288 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{1,288}{7,5264} \times 100 \\
 &= 17,11\%
 \end{aligned}$$

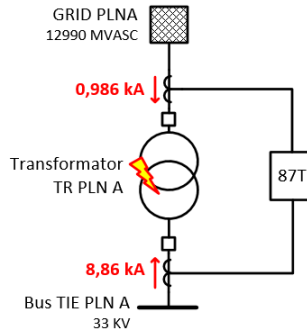
Penentuan *setting* arus *pickup* dan *slope* rele differensial dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Penentuan *setting* arus *pickup* ditentukan dengan mengacu pada i_{diff} kondisi normal dengan nilai 0,166 A sehingga *setting* arus *pickup* dipilih lebih besar dari i_{diff} hasil perhitungan. Pada rele differensial TR PLN A dipilih arus *pickup* sebesar 0,22 A.
2. Penentuan *setting slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar pada kondisi normal maupun saat gangguan eksternal. *Slope* terbesar berdasarkan hasil perhitungan yaitu 52,09% sehingga *setting slope* ditentukan lebih besar dari *slope* hasil perhitungan. Pada rele differensial TR PLN A dipilih *slope* sebesar 75%.

Untuk menguji hasil *setting* rele differensial TR PLN A, maka dilakukan perhitungan parameter I_{diff} dan *slope* saat terjadi gangguan di dalam daerah pengaman rele (gangguan internal) sebagai acuan.

Gangguan Internal L-L di TR PLN A

Saat terjadi gangguan hubung singkat internal L-L di TR PLN A, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.92 Skema rele differensial TR PLN A saat gangguan internal L-L di TR PLN A

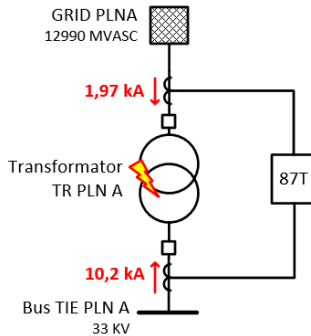
$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{986}{300/1} \times 95\% \\
 &= 3,1223 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_s &= \frac{-8860}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -7,4424 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|) \\
 &= \text{maks}(|3,1223|, |-7,4424|) \\
 &= 7,4424 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\
 &= |3,1223 - (-7,4424)| \\
 &= 10,564 \text{ A} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100 \\
 &= \frac{10,564}{7,4424} \times 100 \\
 &= 141,95\%
 \end{aligned}$$

Gangguan Internal 3 Fasa di TR PLN A

Saat terjadi gangguan hubung singkat internal 3 fasa di TR PLN A, aliran arus akan menuju titik gangguan seperti yang ditunjukkan gambar berikut.

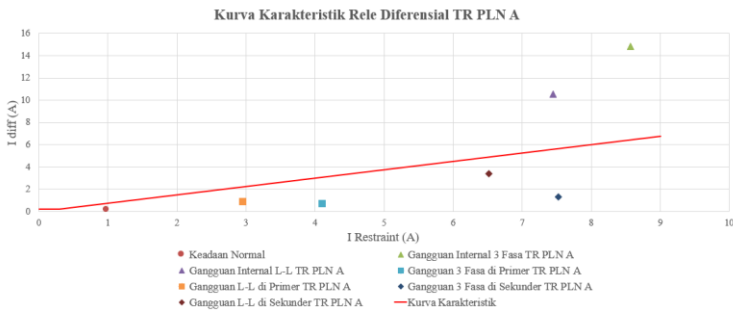


Gambar 4.93 Skema rele diferensial TR PLN A saat gangguan internal 3 fasa di TR PLN A

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1970}{300/1} \times 95\% \\
 &= 6,238 \text{ A} \\
 I_s &= \frac{-10200}{1250/1} \times 105\% \\
 &= -8,568 \text{ A} \\
 I_{Restraint} &= \text{maks}(|I_p|, |I_s|)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{maks}(|6,238|, |-8,568|) \\
 &= 8,568 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_p - I_s| \\
 &= |6,238 - (-8,568)| \\
 &= 14,806 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{Diff}}{I_{Restraint}} \times 100\% \\
 &= \frac{14,806}{8,568} \times 100\% \\
 &= 172,8\%
 \end{aligned}$$

Hasil *setting* rele diferensial TR PLN A ini kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 4.94 Kurva karakteristik rele diferensial TR PLN A

Berdasarkan Gambar 4.94, *plot* gangguan internal TR PLN A berada di atas kurva karakteristik sehingga rele diferensial akan bekerja ketika terjadi gangguan internal. Selain itu, *plot* kondisi normal dan gangguan eksternal berada di bawah kurva karakteristik sehingga rele diferensial tidak bekerja saat kondisi normal dan saat terjadi gangguan eksternal.

4.6 Rangkuman *Setting* Koordinasi Rele Arus Lebih

Hasil *setting* rele arus lebih yang telah dihitung pada subbab sebelumnya dirangkum pada Tabel 4.4, sedangkan hasil *setting* rele diferensial dirangkum pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Rangkuman *Setting* Rele Arus Lebih di PT. Pertamina RU V Balikpapan

ID Rele	Tipe Rele	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode ANSI	Parameter	Existing	Resetting
RGM-32-05B	ALSTOM P220	200/5	51	Jenis Kurva		UK-LTI
				<i>Pickup</i>		0,9
				<i>Iset</i>		180 A
				<i>Time Dial</i>		0,25
			50	<i>Pickup</i>	8	
				<i>Iset</i>	1600 A	
				<i>Time Delay</i>	0,1 s	
			51G	Jenis Kurva	DT	DT
				<i>Pickup</i>	0,5	2,25
				<i>Iset</i>	100 A	450 A
				<i>Time Dial</i>	0,5	0,1
			R70MB	ALSTOM P142	600/5	51
<i>Pickup</i>	1,05	1				
<i>Iset</i>	630 A	600 A				
<i>Time Dial</i>	1,2	0,7				
50	<i>Pickup</i>	13,33				3,5
	<i>Iset</i>	8000 A				2100 A
	<i>Time Delay</i>	0,3 s				0,3 s
51G	Jenis Kurva	DT				
	<i>Pickup</i>	0,3				
	<i>Iset</i>	180 A				
	<i>Time Dial</i>	1				
50G	<i>Pickup</i>	0,3				0,75
	<i>Iset</i>	180 A				450 A
	<i>Time Delay</i>	1,5 s				0,3 s
R2AL09	ALSTOM P142	1250/5				51
			<i>Pickup</i>	0,504	0,48	
			<i>Iset</i>	630 A	600 A	
			<i>Time Dial</i>	1,2	0,7	
			50	<i>Pickup</i>	6,4	1,68
				<i>Iset</i>	8000 A	2100 A
				<i>Time Delay</i>	0,3 s	0,3 s
			51G	Jenis Kurva	DT	
				<i>Pickup</i>	0,3	
				<i>Iset</i>	375 A	
<i>Time Dial</i>	1					

ID Rele	Tipe Rele	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode ANSI	Parameter	Existing	Resetting
			50G	Pickup	0,3	0,36
				Iset	375 A	450 A
				Time Delay	1,5 s	0,3 s
R2AL05	ALSTOM P343	1500/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
				Pickup	0,98	1,03
				Iset	1470 A	1545 A
				Time Dial	0,475	0,3
			50	Pickup	3,2	2
				Iset	4800 A	3000 A
				Time Delay	0,7 s	0,7 s
			51G	Jenis Kurva	DT	DT
				Pickup	0,33	0,3
				Iset	495 A	450 A
				Time Dial	1,5	0,5
			R2AL01	ALSTOM P122	1000/5	51
Pickup	0,735	0,77				
Iset	735 A	770 A				
Time Dial	0,75	0,6				
50	Pickup	4,8				2,5
	Iset	4800 A				2500 A
	Time Delay	0,5 s				0,5 s
51G	Jenis Kurva	DT				DT
	Pickup	0,4				0,45
	Iset	400 A				450 A
	Time Dial	2				0,1
RQ232	ALSTOM P142	500/1				51
			Pickup	0,7	0,62	
			Iset	350	310	
			Time Dial	0,7	0,3	
			50	Pickup	5	6
				Iset	2500 A	3000 A
				Time Delay	0,2 s	0,1 s
			51G	Jenis Kurva	DT	
				Pickup	0,2	
				Iset	100 A	
				Time Dial	1	

ID Rele	Tipe Rele	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode ANSI	Parameter	Existing	Resetting
			50G	Pickup	0,2	0,08
				Iset	100 A	40 A
				Time Delay	2 s	0,1 s
RCB W1	ALSTOM P142	2500/1	51	Jenis Kurva		IEC-SI
				Pickup		1,03
				Iset		2575 A
			Time Dial		0,1	
			50	Pickup		2,4
				Iset		3800 A
				Time Delay		0,3 s
			Direction		Forward	
			50	Pickup		0,4
		Iset			1000 A	
		Time Delay			0,3 s	
		Direction		Reverse		
		50/1	50G	Pickup		0,8
				Iset		40 A
				Time Delay		0,3 s
RCB TIE PLN-A	ALSTOM P142	2500/1	51	Jenis Kurva		IEC-EI
				Pickup		1,04
				Iset		1300 A
			Time Dial		0,25	
			50	Pickup		3,2
				Iset		4000 A
				Time Delay		0,5 s
			Direction		Forward	
			50	Pickup		0,4
		Iset			1000 A	
		Time Delay			0,1 s	
		Direction		Reverse		
		50/1	50G	Pickup		0,8
				Iset		40 A
				Time Delay		0,3 s
RCB PLN-A SEC	ALSTOM P142	1250/1	51	Jenis Kurva		IEC-EI
				Pickup		1,04
				Iset		1300 A
				Time Dial		0,25

ID Rele	Tipe Rele	Rasio CT	Setting Rele			
			Kode ANSI	Parameter	Existing	Resetting
			50	Pickup		3,2
				Iset		4000 A
				Time Delay		0,5 s
		50/1	50G	Pickup		0,8
				Iset		40 A
				Time Delay		0,3 s
RCB PLN-A PRI	ALSTOM P142	300/1	51	Jenis Kurva	IEC-EI	
				Pickup	0,95	
				Iset	285 A	
				Time Dial	0,5	
			50	Pickup	10	
				Iset	3000 A	
				Time Delay	0,1 s	

Tabel 4.5 Rangkuman *Setting Rele* Diferensial di PT. Pertamina RU V Balikpapan

ID Rele	Peralatan yang Dilindungi	Setting Rele		
		Parameter	Existing	Resetting
RDIF W1	Bus W1	Pickup		1,27 pu
		Slope		70%
RDIF W2	Bus W2	Pickup		0,74 pu
		Slope		90%
RDIF W3	Bus W3	Pickup		0,74 pu
		Slope		90%
RDIF W4	Bus W4	Pickup		1,62 pu
		Slope		90%
RDIF W5	Bus W5	Pickup		0,74 pu
		Slope		90%
RDIF Bus Rencana PLN	Bus Rencana PLN	Pickup		0,15 pu
		Slope		30%
RDIF TR PLN A	TR PLN A	Pickup		0,22 pu
		Slope		75%

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil *setting* evaluasi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan integrasi dengan PLN, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada koordinasi proteksi tipikal 1 gangguan fasa, Rele RGM-32-05B bekerja pada waktu 0,1 detik sebagai rele utama motor kemudian Rele R70MB dan R2AL09 bekerja pada waktu 0,3 detik sebagai *backup* sehingga gangguan pada sisi beban dapat terisolasi.
2. Pada koordinasi proteksi tipikal 2 gangguan fasa, Rele R2AL01 bekerja pada waktu 0,5 detik dan Rele R2AL05 bekerja pada waktu 0,7 detik sebagai rele pengaman generator sehingga gangguan pada sisi Bus 2AL-A dapat terisolasi. Rele RQ232 bekerja pada waktu 1,3 detik sebagai *backup* dari rele R2AL01.
3. Pada koordinasi proteksi tipikal 3 gangguan fasa, Rele RCB W1 bekerja pada waktu 0,3 detik. Rele RTIE PLN-A dan RPLN-A SEC bekerja pada waktu 0,5 detik. Rele PLN A PRI sebagai *backup* dari RPLN-A SEC akan bekerja pada waktu 1,49 sehingga titik gangguan akan terisolasi dari sumber PLN. Selain itu, pada tipikal 3 juga dilengkapi rele arus lebih arah pada RTIE PLN-A dan RCB W1 yang bekerja pada waktu 0,1 detik dan 0,3 detik ketika terjadi gangguan di sisi PLN.
4. Pada koordinasi proteksi tipikal 4 gangguan tanah, rele akan mendeteksi arus NGR sebesar 1000 A. Rele RGM-32-05B dan R2AL01 bekerja pada waktu 0,1 detik. Rele R70MB dan R2AL09 bekerja pada waktu 0,3 detik sebagai *backup* dari RGM-32-05B. Rele R2AL05 bekerja pada waktu 0,5 detik sebagai pengaman generator.
5. Pada koordinasi proteksi tipikal 5 gangguan tanah, rele akan mendeteksi arus NGR sehingga PLN akan terlepas dari sistem. Rele RQ232 akan bekerja pada waktu 0,1 detik. Rele RCB W1, Rele RCB TIE PLN-A dan RCB PLN-A SEC akan bekerja pada waktu 0,3 detik sebagai *backup*.
6. Penentuan *setting* rele diferensial bus telah mempertimbangkan kondisi normal, kondisi gangguan di luar daerah proteksi rele

dan kondisi gangguan di dalam daerah proteksi rele. Pada salah satu bus (Bus W1), nilai *setting* arus *pickup* sebesar 1,27 A dan *slope* sebesar 70%. Ketika terjadi gangguan internal, didapatkan I_{diff} sebesar 10,016 A (3 Fasa) dan 8,699 A (L-L) serta *slope* sebesar 171,71% (3 Fasa) dan 172,13% (L-L) sehingga rele diferensial akan bekerja karena nilai melewati *setting*.

7. Penentuan *setting* rele diferensial Transformator PLN telah mempertimbangkan kondisi normal, kondisi gangguan di luar daerah proteksi rele dan kondisi gangguan di dalam daerah proteksi rele. Pada rele diferensial TR PLN, nilai *setting* arus *pickup* sebesar 0,22 A dan *slope* sebesar 75%. Ketika terjadi gangguan internal, didapatkan I_{diff} sebesar 14,8 A (3 fasa) dan 10,56 A (L-L) serta *slope* sebesar 172,8% (3 fasa) dan 141,95% (L-L) sehingga rele diferensial akan bekerja karena nilai melewati *setting*.

5.2 Saran

Dari hasil evaluasi analisis koordinasi proteksi di PT. Pertamina RU V Balikpapan yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Pada *setting* rele arus lebih gangguan tanah, direkomendasikan untuk menggunakan kurva definit dikarenakan besar arus gangguan akan sesuai dengan arus NGR. Oleh karena itu, *setting* yang perlu diperhatikan yaitu grading waktunya saja.
2. Pada *setting* rele diferensial, direkomendasikan untuk mengaktifkan fungsi I_{diff} dan *slope* bersamaan (Logika AND) sehingga kemungkinan kesalahan kerja rele diferensial akan berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Industry Applications Society, Ed., "*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*". New York: Inst. of Electrical and Electronics Engineers, 2001.
- [2] P. M. Anderson, "*Power System Protection*". New York: IEEE Press, 1999.
- [3] T. Gonen, "*Modern Power System Analysis*", 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.
- [4] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye, "*Power System Analysis and Design*", 5th ed. Stamford: Cengage Learning, 2012.
- [5] B. D. Metz-Noblat, F. Dumas, and G. Thomasset, "*Cahier Technique no. 158 Calculation of Short-Circuit Currents*." Schneider Electric, 2000.
- [6] J. L. Blackburn and T. J. Domin, "*Protective Relaying: Principles and Applications*", 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [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.
- [12] "GE Multilin T60 Transformer Protection System." GE, 2015.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Ngurah Adi Brahmantia Putra, lahir di Jakarta pada tanggal 9 Maret 1997. Penulis merupakan lulusan dari SDK Mater Dei Pamulang, SMPN 17 Tangerang Selatan dan SMAN 2 Tangerang Selatan. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan studinya di Teknik Elektro ITS dan memilih bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan dan organisasi dalam kampus. Penulis pernah aktif menjadi Kabiro Akademik dan Finansial Departemen Prokesma Himatekro ITS selama 1 tahun dan menjadi asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) selama 2 tahun terakhir. Selama menjadi asisten laboratorium, penulis pernah menjadi trainer untuk pelatihan *software* ETAP dan juga aktif dalam berbagai proyek diantaranya yaitu proyek Evaluasi dan Studi Keandalan Operasi Sistem kelistrikan di PT. Pupuk Indonesia Energi, serta proyek Studi dan Analisis Sistem Tenaga di PT. Linde Indonesia Gresik. Penulis, dapat dihubungi melalui ngurah.adi15@mhs.ee.its.ac.id.