

**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING*  
DAN PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENGKALING  
MENGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**NANDHA PAMADYA PUTRA  
NIM. 105060307111022 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING*  
DAN PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENGKALING  
MENGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**NANDHA PAMADYA PUTRA  
NIM. 105060307111022 - 63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Hery Purnomo, M.T.  
NIP. 19550708 198212 1 001**

**Ir. Teguh Utomo, M.T.  
NIP. 19650913 199103 1 003**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING*  
DAN PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SENKALING  
MENGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**NANDHA PAMADYA PUTRA  
NIM. 105060307111022 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 21 Januari 2015

**Majelis Penguji :**

**Dosen Penguji I**

**Dosen Penguji II**

**Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.  
NIP. 19680122 199512 2 001**

**Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.  
NIP. 19600701 199002 1 001**

**Dosen Penguji III**

**Ir. Soeprapto, M.T.  
NIP. 19561020 198903 1 001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19741203 200012 1 001**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil ‘aalamiin, skripsi dengan judul “**Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pada *Incoming* dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade**” dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Elektrik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Tidak banyak yang bisa disampaikan kecuali ungkapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, arahan dan dukungan sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Dengan rasa hormat, disampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak M. Azis Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi dan Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
4. Bapak Ir. Soemarwanto, M.T. selaku dosen pembimbing akademik dan Bapak/Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
5. Seluruh staf PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali Area Pelaksana Pemeliharaan Malang, PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang Rayon Malang Kota dan pihak Gardu Induk Sengkaling Malang yang telah banyak memberi bantuan pada penyusunan skripsi ini.
6. M. Azharul Iman, Abdul Harits M. A., Muhammad Rosyid, teman-teman Angkatan 2010 (MAGNET ‘10), teman-teman Konsentrasi Teknik Energi Elektrik, teman-teman Laboratorium Sistem Daya Elektrik dan teman-teman Himpunan Mahasiswa Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Terima kasih atas semua bantuan dan pertolongannya, do'a, canda tawa, selalu memberikan semangat dan semua bantuannya dalam penyusunan skripsi ini, tanpa kalian skripsi ini tidak dapat terselesaikan.

7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Heru Sugiatmo dan Ibunda Rochiyati yang telah mendidik, memberi kasih sayang, perhatian, motivasi dan selalu memanjatkan do'a yang tidak pernah terputus.
8. Kakak dan adek tercinta, Wahyu Punjung Pesonagrata dan Ludita Woro Indrio, terima kasih atas kasih sayang, do'a, dan selalu memberikan semangat serta dukungan. Skripsi ini buat Bapak, Ibunda, Kakak dan Adek saya yang paling saya sayangi dan cintai.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu persatu secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini banyak kekurangan dan kelemahan karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini, oleh karena itu diperlukan saran dan kritik dari semua pihak untuk perbaikan dan kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 21 Januari 2015

Penulis

## ABSTRAK

**Nandha Pamadya Putra**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Incoming dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade*.

Dosen Pembimbing: Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Ir. Teguh Utomo, M.T.

Sistem pola pengaman yang umum digunakan saat ini adalah sistem pola pengaman kaskade, namun pola ini ada kalanya tidak memberikan pegamanan yang optimal, terutama dalam selektifitas dan waktu pemutusan gangguan, dikarenakan rele instan di sisi masukan 20 kV tidak diterapkan. Hal ini akan menyebabkan waktu pemutusan gangguan di busbar 20 kV relatif lama. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu sistem proteksi yang mampu meningkatkan keamanan peralatan sekaligus meningkatkan keandalan pasokan daya ke sistem 20 kV, cepat dalam memberikan reaksi jika terjadi gangguan dan tepat dalam mengambil keputusan untuk mengamankan. Pola yang dapat direkomendasikan adalah pola pengaman non kaskade. Pada pola non kaskade, rele-rele disisi penyulang dapat dikomunikasikan dengan rele sisi hulunya, dimana meskipun rele instan disisi masukan dan penyulang 20 kV diterapkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis penyetelan dan penerapan koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.

Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah, menghitung arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada berbagai titik lokasi gangguan yang diasumsikan, yaitu di busbar 20 kV dan 1%,2% sampai dengan 100% panjang penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang, lalu dilakukan penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, kemudian menganalisis koordinasi waktu kerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade dan yang terakhir menganalisis perbandingan hasil perhitungan dan data yang diperoleh di lapangan.

Dari hasil perhitungan dan analisis, didapatkan besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terbesar, yaitu terjadi di busbar 20 kV sebesar 6327.84 A dan 3163.92 A sedangkan besar gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terkecil terjadi diujung penyulang, yaitu sebesar 1080.08 A dan 540.04 A. Dengan setelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yaitu pada rele arus lebih di sisi masukan 20 kV, penyetelan arus primer: 909,3315 A dan sekunder: 2,27 A, untuk penyetelan arus instan sekunder: 3,85 A dan primer: 3500,93 A dengan waktu 80 ms dan TMS 0,1978, sedangkan untuk rele arus lebih disisi penyulang, penyetelan arus primer: 106,05 A dan sekunder: 1,33 A, penyetelan arus instan sekunder: 19,65 A dan primer: 2084 A dengan waktu 40 ms dan TMS 0,1826, dapat meningkatkan tingkat kinerja rele arus lebih yaitu mencapai 93,5%.

*Kata kunci:* pola pengaman kaskade dan non kaskade, gangguan hubung singkat, sistem proteksi, koordinasi proteksi, rele arus lebih.

## **ABSTRACT**

**Nandha Pamadya Putra**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, January 2015, *Analysis Coordination Over Current Relay at Incoming and 20 kV Sengkaling's Sub Station Feeder by Non Cascade Pattern.*

Academic Supervisor: Ir. Hery Purnomo, M.T. and Ir. Teguh Utomo, M.T.

*The general pattern of security system that been used by now is cascade security pattern, but this sometimes doesn't give optimal security, especially in selectivity and trip time fault, because instant relay at 20 kV input hasn't been implemented. This thing will cause longer trip time fault in bus bar 20 kV. In order to prevent it, need a reliable protection system which capable to increase security of devices and increase reliable power to 20 kV system. If there is a fault happened it can give fast response and decide a decision to secure. The pattern that recommend was non cascade security pattern. In this pattern, relays at feeder side can communicate with relay at main side where instant relay at input side and 20 kV feeder be implemented, but still obtained a good selectivity.*

*The goal of this research to compute and analyze setting and implement coordination over current relay using non cascade at input and 20kV feeder Sekaling Malang's bus station.*

*There are some steps that been used in this research. First, compute fault current according to the node which the fault happened that assumed 1%, 2%, until 100% from feeder's distance of Sengkaling Malang's bus station, then analyze working time coordination of over current relay using non cascade and the last compute and compare the result of computation and data that been obtained.*

*From the computing result and analysis that been obtained, can be obtained the biggest value of three phase and phase to phase fault current that happened in 20 kV bus bar is 6327.84 A, and 3163.92 A. The smallest values of three phase and phase to phase fault current that happened in the edge of feeder, it is 1080.08 A and 540.04 A. by set over current relay using non cascade pattern in over current relay at 20 kV input, setting of main current 909,3315 A and secondary is 2.27 A. for setting of secondary instant relay 3.85 A and primary 3500.93 A by the time 80 ms and TMS 0.1978. Then for over current relay at feeder side, setting of main current is 106,05 A and secondary is 1.33 A, setting secondary instant current is 19.65 A and primary is 2084 A with time 40 ms and TMS 0.1826, can increase working level of overcurrent relay that reach 93.5%.*

*Key words: cascade and non cascade security pattern, fault current, protection system, over current relay, coordination of protection.*

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN .....   | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....  | ii   |
| KATA PENGANTAR .....   | iii  |
| ABSTRAK.....   | v    |
| <i>ABSTRACT</i> .....  | vi   |
| DAFTAR ISI.....  | vii  |
| DAFTAR GAMBAR.....   | x    |
| DAFTAR TABEL.....  | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN.....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah.....   | 2    |
| 1.4 Tujuan.....  | 3    |
| 1.5 Manfaat.....   | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                                   | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                    | 5    |
| 2.1 Sistem Proteksi Tenaga Listrik.....                          | 5    |
| 2.2 Rele Pengaman .....  | 6    |
| 2.3 Syarat-syarat Rele Pengaman .....                            | 6    |
| 2.3.1 Kecepatan Bereaksi .....                                   | 6    |
| 2.3.2 Kepekaan .....   | 7    |
| 2.3.3 Selektivitas .....   | 7    |
| 2.3.4 Keandalan .....  | 8    |
| 2.3.5 Ekonomis .....   | 8    |
| 2.4 Rele Arus Lebih.....   | 8    |
| 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih.....                           | 9    |
| 2.5.1 Rele Arus lebih Waktu Seketika (Instan) .....              | 9    |
| 2.5.1.1 Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Seketika (Instan) .....  | 10   |
| 2.5.1.2 Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Seketika (Instan) ..... | 12   |
| 2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite).....             | 12   |
| 2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers).....               | 14   |



|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 2.5.3.1   | Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Terbalik (Invers) .....  | 15        |
| 2.5.3.2   | Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Terbalik (Invers) ..... | 16        |
| 2.6   | Dasar Penyetelan Rele Arus Lebih.....                    | 17        |
| 2.6.1   | Dasar Penyetelan Arus.....                               | 17        |
| 2.6.1.1   | Batas Minimum .....                                      | 17        |
| 2.6.1.2   | Batas Maksimum .....                                     | 17        |
| 2.6.2   | Dasar Penyetelan Waktu Kerja.....                        | 18        |
| 2.6.2.1   | Rele Paling Hilir .....                                  | 18        |
| 2.6.2.1   | Rele Satu Seksi di Hulunya .....                         | 18        |
| 2.7   | Daerah Pengaman.....                                     | 18        |
| 2.8   | Koordinasi Pengaman.....                                 | 19        |
| 2.9   | Perhitungan Impedansi .....                              | 20        |
| 2.9.1   | Sistem Per Unit (pu) .....                               | 20        |
| 2.9.2   | Impedansi Sumber .....                                   | 21        |
| 2.9.3   | Impedansi Urutan Komponen.....                           | 22        |
| 2.9.3.1   | Impedansi Urutan Transformator Daya .....                | 22        |
| 2.9.3.2   | Impedansi Urutan Penyulang.....                          | 23        |
| 2.9.4   | Impedansi Total .....                                    | 24        |
| 2.10  | Arus Gangguan.....                                       | 24        |
| 2.10.1  | Komponen Simetris .....                                  | 24        |
| 2.10.2  | Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....                  | 26        |
| 2.10.3  | Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa .....                 | 27        |
| 2.11  | Sistem Proteksi Pola Non Kaskade .....                   | 29        |
| 2.12  | Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade.....                    | 31        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>  |  | <b>33</b> |
| 3.1   | Pengambilan Data.....                                    | 34        |
| 3.2   | Prosedur Perhitungan dan Analisis.....                   | 34        |
| 3.3   | Penutup.....   | 35        |
| <b>BAB IV ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA <i>INCOMING</i> DAN<br/>PENYULANG 20 KV MENGGUNAKAN POLA NON KASKADE .....</b> |  | <b>36</b> |
| 4.1   | Gardu Induk Sengkaling.....                              | 36        |
| 4.2   | Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat .....           | 40        |
| 4.2.1   | Menghitung Impedansi Dasar.....                          | 40        |
| 4.2.2   | Menghitung Impedansi Sumber .....                        | 40        |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| 4.2.3                | Menghitung Impedansi Transformator Daya .....   | 42  |
| 4.2.4                | Menghitung Impedansi Penyulang .....  | 42  |
| 4.2.5                | Menghitung Impedansi Total .....  | 43  |
| 4.3                  | Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat .....   | 44  |
| 4.3.1                | Arus Dasar .....  | 44  |
| 4.3.2                | Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....  | 45  |
| 4.3.3                | Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa .....   | 46  |
| 4.4                  | Perhitungan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade .....   | 47  |
| 4.4.1                | Penyetelan di Sisi Penyulang .....  | 48  |
| 4.4.1.1              | Penyetelan Arus .....   | 48  |
| 4.4.1.2              | Penyetelan Arus Instan .....  | 49  |
| 4.4.1.3              | Penyetelan Waktu .....  | 50  |
| 4.4.2                | Penyetelan di Sisi Masukan 20 kV .....  | 51  |
| 4.4.2.1              | Penyetelan Arus .....   | 51  |
| 4.4.2.2              | Penyetelan Arus Instan .....  | 52  |
| 4.4.2.3              | Penyetelan Waktu .....  | 53  |
| 4.5                  | Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade .....   | 54  |
| 4.6                  | Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data di Lapangan .....   | 56  |
| 4.6.1                | Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dengan Data di Lapangan .....  | 56  |
| 4.6.2                | Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan ..... | 58  |
| 4.6.3                | Perbandingan Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan yang Terpasang di Lapangan .....       | 61  |
| BAB V PENUTUP .....  |   | 63  |
| 5.1                  | Kesimpulan .....  | 63  |
| 5.2                  | Saran .....   | 64  |
| DAFTAR PUSTAKA ..... |   | 65  |
| LAMPIRAN I .....     |   | 67  |
| LAMPIRAN II .....    |   | 113 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1  | Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika .....  | 9  |
| Gambar 2.2  | Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Seketika .....  | 10 |
| Gambar 2.3  | Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....  | 12 |
| Gambar 2.4  | Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....   | 13 |
| Gambar 2.5  | Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik .....   | 14 |
| Gambar 2.6  | Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik.....   | 15 |
| Gambar 2.7  | Daerah Pengaman Distribusi .....  | 19 |
| Gambar 2.8  | Tiga Himpunan Fasor Seimbang yang Merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tidak Seimbang .....                      | 25 |
| Gambar 2.9  | Penjumlahan Secara Grafis Komponen-komponen Untuk Mendapatkan Fasor-fasor Tak Seimbang.....                             | 26 |
| Gambar 2.10 | Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....   | 26 |
| Gambar 2.11 | Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa .....  | 27 |
| Gambar 2.12 | Skema Pola Non Kaskade .....  | 30 |
| Gambar 2.14 | Pemutusan Balik Pengisolasian Gangguan .....  | 32 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Metode Penelitian .....  | 33 |
| Gambar 4.1  | Diagram Satu Garis Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.....  | 37 |
| Gambar 4.2  | Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo.....   | 38 |
| Gambar 4.3  | Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo Dengan Berbagai Titik Lokasi Gangguan.....   | 40 |
| Gambar 4.4  | Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa. .   | 47 |
| Gambar 4.5  | Grafik Koodinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....  | 54 |
| Gambar 4.6  | Grafik Koodinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa..... | 55 |
| Gambar 4.7  | Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan .....              | 57 |
| Gambar 4.8  | Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan .....             | 57 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.9  | Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan. ....  | 59 |
| Gambar 4.10 | Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan. .... | 60 |

## DAFTAR TABEL

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Koefisien <i>Time Dial</i> .....  | 17 |
| Tabel 2.2 | Prosentase Kejadian Gangguan Hubung Singkat .....   | 27 |
| Tabel 4.1 | Data Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang. ....   | 39 |
| Tabel 4.2 | Data Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV.....  | 39 |
| Tabel 4.3 | Data Rele Arus Lebih Penyulang. ....  | 39 |
| Tabel 4.4 | Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan. .... | 58 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|               |  |
|---------------|--|
| Lampiran I.1  | 68Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Penyulang Urutan Positif, Negatif dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan ..... 68  |
| Lampiran I.2  | 71Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Total Urutan Positif, Negatif, dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 71  |
| Lampiran I.3  | 74Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 74  |
| Lampiran I.4  | 77Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 77   |
| Lampiran I.5  | 80Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan..... 80  |
| Lampiran I.6  | 83Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Penyulang. .... 83  |
| Lampiran I.7  | 86Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Masukan 20 kV..... 86   |
| Lampiran I.8  | 89Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV. .... 89   |
| Lampiran I.9  | 95Tabel Perbandingan Koordinasi Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan dan di Lapangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat95_Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV. .... 95   |
| Lampiran I.10 | 101Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih di Lapangan Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV ..... 101                 |
| Lampiran I.11 | 107Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV..... 107 |
| Lampiran II.1 | 114Tabel Perhitungan Arus Gangguan Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling Trafo III 150/20 kV 30 MVA..... 114  |
| Lampiran II.2 | 116Arus Hubung Singkat GI/GITET P3B Jawa Bali Semester 2 TH 2012 Untuk Perhitungan Sistem Proteksi..... 116  |

|                |  |     |
|----------------|--|-----|
| Lampiran II.3  | 117Tabel Tahanan dan Reaktansi Penghantar AAAC Teganga 20 kV .....   | 117 |
| Lampiran II.4  | 118Daftar Trafo .....  | 118 |
| Lampiran II.5  | Beban Trafo dan Penyulang Gardu Induk Sengkaling .....   | 119 |
| Lampiran II.6  | 120Penerepan <i>Setting</i> OCR Trafo Distribusi UPT Malang 2010.....                                      | 120 |
| Lampiran II.7  | 121 <i>Setting</i> Relay Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang 2014 .....                                | 121 |
| Lampiran II.8  | 122Kawat Penghantar.....   | 122 |
| Lampiran II.9  | 123Laporan Harian Gangguan Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang Periode 1 Januari-31 Desember 2013..... | 123 |
| Lampiran II.10 | 125Rekapitulasi Gangguan Penyulang Bulanan Periode: Bulan Desember 2013 .....                              | 125 |
| Lampiran II.11 | Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo.....  | 126 |
| Lampiran II.12 | Diagram Satu Garis Proteksi Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang.....                                   | 127 |
| Lampiran II.13 | Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.....           | 128 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tenaga listrik sangat berguna baik dalam pemenuhan kebutuhan rumah tangga ataupun kebutuhan dunia industri. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke beban, diperlukan kontinuitas pelayanan yang baik kepada konsumen. Hal ini akan mempengaruhi keandalan sistem penyalurannya.

Jumlah gangguan merupakan indikator untuk mengetahui keandalan suatu sistem tenaga listrik. Semakin besar jumlah gangguan berarti keandalan sistem semakin rendah, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya.

Untuk memperoleh keandalan sistem yang tinggi perlu dipasang peralatan proteksi yang handal untuk meminimalisir gangguan yang terjadi. Agar dapat dikatakan bahwa sistem proteksi yang terpasang itu benar-benar handal, proteksi haruslah memiliki tingkat selektifitas, ekonomis, kecepatan bereaksi dan tingkat kepekaan yang tinggi (Hewitson, L.G., 2004).

Kebutuhan tenaga listrik di Malang Raya disuplai oleh beberapa Gardu Induk (GI) yakni GI Blimbing, GI Kebon Agung, GI Sengkaling, dan sebagainya. Gardu Induk Sengkaling menyalurkan tegangan menengah 20 kV melalui 2 transformator daya yang dimiliki. Salah satunya transformator daya III melayani penyulang Junrejo, Pujon, Wastra Indah dan Karang Ploso.

Permasalahan yang ada di Gardu Induk Sengkaling Malang, yaitu pada salah satu penyulang dari transformator daya III dalam tiga tahun terakhir ini sering terjadi gangguan hubung singkat. Bahkan pernah terjadi gangguan pada penyulang yang berdampak pada beroperasinya rele masukan 20 kV akibat kegagalan atau keterlambatan sistem proteksi pada penyulang. Beroperasinya rele masukan 20 kV mengakibatkan padamnya penyulang-penyulang lain yang mendapat suplai tegangan dari masukan 20 kV tersebut. Untuk menghindari kejadian tersebut maka perlu dilakukan penelitian penyebab kurang baiknya koordinasi proteksi, baik pada sisi masukan dan penyulang 20 kV.

Sistem pola pengaman yang umum digunakan saat ini adalah sistem pola pengaman kaskade, namun pola ini ada kalanya tidak memberikan pengamanan yang optimal, terutama dalam selektifitas dan waktu pemutusan gangguan, dikarenakan rele



instan di sisi masukan 20 kV tidak diterapkan. Hal ini akan menyebabkan waktu pemutusan gangguan di busbar 20 kV relatif lama.

Oleh karena itu perlu dilakukan suatu sistem proteksi yang mampu meningkatkan keamanan peralatan sekaligus meningkatkan keandalan pasokan daya ke sistem 20 kV, cepat dalam memberikan reaksi jika terjadi gangguan dan tepat dalam mengambil keputusan untuk mengamankan. Pola yang dapat direkomendasikan adalah pola pengaman non kaskade. Pada pola non kaskade, rele-rele disisi penyulang dapat dikomunikasikan dengan rele sisi hulunya, dimana meskipun rele instan disisi masukan dan penyulang 20 kV diterapkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan pada latar belakang, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa pada busbar dan penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.
2. Bagaimana penyetelan arus dan waktu rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang diterapkan pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.
3. Bagaimana tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan pada rele arus lebih pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.
2. Jenis gangguan yang dibahas adalah gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang terjadi pada busbar dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.
3. Tidak membahas komponen elektronika dan kontruksi rele.
4. Sistem yang dianalisis dianggap mendekati sistem seimbang.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menghitung dan menganalisis penyetelan dan penerapan koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang.

#### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan manfaat bagi PT. PLN (Persero) dapat mengetahui pola sistem pengaman mana yang lebih handal dan semestinya harus diterapkan dalam pengamanan sisi masukan dan penyulang 20 kV.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### **BAB I : PENDAHULUAN**

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

##### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang ingin diteliti yang berkaitan dengan teori tentang sistem proteksi tenaga listrik, rele pengaman, rele arus lebih, daerah pengaman, koordinasi pengaman, perhitungan impedansi, arus gangguan dan penjelasan metode pengaman menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV.

##### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Memberikan penjelasan tentang tahapan penyelesaian penelitian yang meliputi pengambilan data, prosedur perhitungan dan analisis, serta penutup berisi tentang pengambilan kesimpulan dan saran.

**BAB IV : ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA  
*INCOMING* DAN PENYULANG 20 KV MENGGUNAKAN  
POLA NON KASKADE**

Berisi pengolahan data, perhitungan dan analisis. Menjelaskan tentang langkah-langkah perhitungan serta analisis terhadap hasil perhitungan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV di Gardu Induk Sengkaling Malang.

**BAB V : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan apa yang telah dicapai dalam penyelesaian penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Proteksi Tenaga Listrik**

Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi proteksi terhadap kondisi-kondisi abnormal (Pandjaitan, B., 2012). Kondisi abnormal tersebut biasa disebabkan oleh gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi (Gonen, T., 1988) :

1. Gangguan yang bersifat temporer (sementara), yaitu gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan yang bersifat temporer jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman, maka akan dapat berubah menjadi gangguan permanen dan menyebabkan pemutusan tetap.
2. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu gangguan yang untuk membebaskan diperlukan tindakan perbaikan untuk menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Sedangkan sistem tenaga listrik sendiri adalah untuk menghasilkan dan menyalurkan energi listrik ke beban. Sistem tersebut harus dirancang dan dikendalikan untuk pengiriman energinya ke pengguna secara handal dan ekonomis.

Fungsi utama dari sistem proteksi adalah (Hutauruk, 1991) :

1. Menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik. Semakin cepat sistem proteksi bekerja maka pengaruh gangguan akan semakin kecil.
2. Mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
3. Memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi.
4. Mengamankan manusia dari bahaya listrik.

Peralatan utama yang digunakan untuk mendeteksi dan memerintahkan peralatan proteksi adalah rele.

## 2.2 Rele Pengaman

Rele adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengontrol suatu rangkaian listrik secara tidak langsung dengan memakai perubahan yang terjadi pada rangkaian tersebut atau rangkaian yang lain.

Rele pengaman adalah suatu rele yang dipakai untuk memperoleh penghubungan dan/atau pemutusan secara otomatis suatu peralatan atau bagian sistem listrik dari sumber daya pada suatu kondisi tertentu yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahaya pada peralatan atau sistem tersebut (B.S. 142, 1966).

Fungsi dari rele pengaman pada sistem tenaga listrik sebagai berikut (Samaulah, Hazairin, 2004) :

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secara cepat sehingga sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut.
4. Memperkecil bahaya bagi manusia.

## 2.3 Syarat-syarat Rele Pengaman

Karena rele pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari sistem tenaga listrik maka untuk menjamin keandalan dari sistem tersebut diperlukan rele pengaman yang memenuhi syarat sebagai berikut (Hewitson, L.G., 2004) :

### 2.3.1 Kecepatan Bereaksi

Kecepatan kerja suatu rele pengaman adalah kemampuan rele untuk bekerja sesuai dengan waktu yang dibutuhkan. Kemampuan sistem proteksi untuk memisahkan gangguan secepat mungkin dari sistem akan mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut. Maka kecepatan kerja rele pengaman merupakan faktor yang sangat penting. Rumus waktu kerja total rele (Gonen, T., 1987) :

$$t_{op} = t_p + t_{ob} \quad (2.1)$$

dengan :

$t_{op}$  : Waktu total yang digunakan untuk memutuskan hubungan.

$t_p$  : Waktu bereaksi dari rele unit.

$t_{ob}$  : Waktu yang digunakan untuk pelepasan CB.

Pada umumnya untuk  $t_{op}$  sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

### 2.3.2 Kepekaan

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Kepekaan rele diartikan sebagai kemampuan merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi normal. Bila suatu kondisi kerja normal tiba-tiba mengalami gangguan, maka sistem pengaman harus cepat tanggap (peka). Sensitifitas dapat dituliskan dengan persamaan faktor sensitif  $K_s$ , yang merupakan perbandingan antara arus hubung singkat minimum dan *pick up* (Sunil, S. Rao, 1980).

$$K_s = \frac{I_{sc \min}}{I_{pp}} \quad (2.2)$$

dengan :

$I_{sc \min}$  : Arus hubung singkat minimum.

$I_{pp}$  : Arus *pick up* (arus kerja) primer dari pengaman.

$K_s$  : Faktor sensitif rele.

Dari beberapa referensi buku proteksi diperoleh nilai konstanta  $K_s$  adalah 0.8 (Prévé, C., 2006).

### 2.3.3 Selektivitas

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi pengamanan yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya di luar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

### 2.3.4 Keandalan

Keandalan adalah kemampuan rele untuk dapat bekerja dengan baik setiap saat dan kemampuan untuk menghindari operasi yang tidak diperlukan atau salah kerja. Salah kerja bisa mengakibatkan kerusakan yang lebih luas. Keandalan rele dihitung dengan jumlah rele yang bekerja di daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga sekitar 90-99% (Gonen, T., 1987).

### 2.3.5 Ekonomis

Sistem pengaman peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap karena harga peralatan pengamanan juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

## 2.4 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Gangguan beban lebih dan hubung singkat fasa ke tanah atau fasa-fasa menimbulkan arus lebih memicu pemutus tenaga bekerja sesuai dengan penyetelan waktu yang diterapkan, sehingga resiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindari (Hewitson, L.G., 2004). Rele arus lebih digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik.

Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

|             |               |                  |
|-------------|---------------|------------------|
| $I_f > I_p$ | rele bekerja  | ( <i>trip</i> )  |
| $I_f < I_p$ | tidak bekerja | ( <i>block</i> ) |

Dimana  $I_f$  merupakan besarnya arus saat gangguan terjadi dan arus ini telah diukur menurut belitan sekunder dari transformator arus (CT). Sedangkan  $I_{pick\ up}$  ( $I_p$ ) merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder dari transformator arus (Prévé, C., 2006).

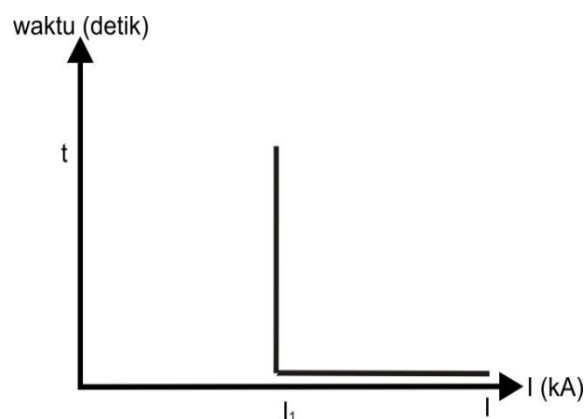
Pengaman dengan menggunakan rele arus lebih mempunyai beberapa keuntungan yaitu (Soekarto,1994) :

- Dapat mengamankan arus lebih, yang terjadi karena hubung singkat atau beban lebih.
- Dapat berfungsi sebagai pengaman utama juga merupakan pengaman cadangan.
- Penyetelan mudah.
- Harga relatif murah.

## 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih

### 2.5.1 Rele Arus lebih Waktu Seketika (Instan)

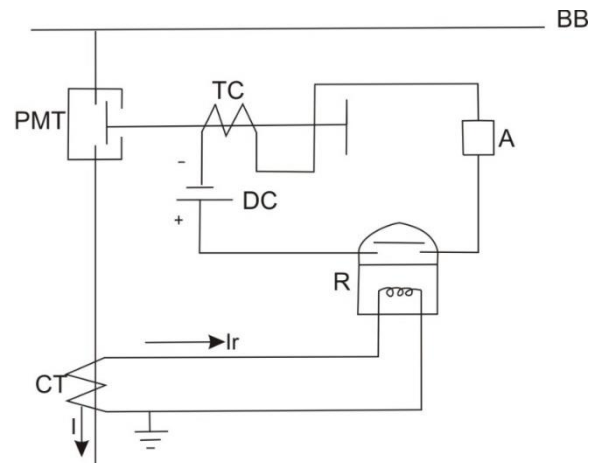
Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele yaitu mulai saat rele mengalami *pick up* sampai selesainya kerja rele sangat singkat yakni sekitar 20-100 milidetik tanpa adanya penundaan waktu (Ravindranath, 1976:51). Rele ini memiliki waktu kerja yang sangat cepat dibandingkan dengan rele lainnya. Pada setelan koordinasi proteksi di sistem distribusi tegangan menengah disebut setelan momen/instan/cepat (Sarimun W, 2012). Karakteristik rele arus lebih seketika, bekerjanya didasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih, ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:28





Gambar 2.2 Rangkaian Relé Arus Lebih Waktu Seketika  
Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:27

Rangkaian relé arus lebih waktu seketika ditunjukkan pada gambar 2.2, bila karena suatu hal sehingga harga arus beban  $I$  naik melebihi harga yang diijinkan, maka harga  $I_r$  juga akan naik. Bila naiknya harga arus ini melebihi harga operasi dari relé, maka relé arus lebih seketika akan bekerja. Kerja dari relé ini di tandai dengan Bergeraknya kontak gerak relé untuk menutup kontak. Dengan demikian, rangkaian pemutus akan tertutup.

Mengingat pada rangkaian ini terdapat sumber arus searah, maka pada kumparan pemutus akan dialiri arus searah yang selanjutnya akan mengerjakan kontak pemutus, sehingga bagian sistem yang harus diamankan terbuka. Untuk mengetahui bahwa relé harus bekerja, maka perlu dipasang suatu *alarm*.

#### 2.5.1.1 Penyetelan Arus Relé Arus Lebih Seketika (Instan)

Pada penerapannya, relé arus lebih waktu invers kurang efektif dalam mengamankan gangguan. Hal ini karena semakin dekat gangguan yang terjadi dengan sumber, maka arus gangguan yang mengalir akan semakin besar, namun waktu pemutusan gangguan tersebut terlalu lama. Sedangkan tingkat keamanan sistem proteksi dinilai dari seberapa cepat sistem proteksi dapat memutus gangguan. Oleh sebab itu, perlu ditambahkan bantuan relé arus lebih instan sehingga menghasilkan sistem proteksi yang lebih baik, karena relé arus lebih instan tanpa perlambatan waktu. Dalam aplikasinya di sistem pengamanan suatu jaringan tenaga listrik biasanya relé arus lebih waktu instan dikombinasikan dengan relé arus lebih invers (Horowitz, S. dan Phadke, Arum G, 2008). Maka koordinasi antara satu dan seksi lainnya untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus (*current grading*). Penyetelan relé ini adalah :

a. Arus Setelan Pada Bagian Sekunder

Besarnya arus setelan pada bagian sekunder sebesar :

$$I_{\text{instan sekunder}} = \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \quad (2.3)$$

dengan :

$I_{\text{instan sekunder}}$  : Setelan arus instan pada bagian sekunder (Ampere).

$I_{\text{set primer}}$  : Setelan arus pada bagian primer (Ampere).

$I_{\text{instan}}$  : Setelan arus instan (Ampere).

Dengan setelan arus instan sebagai berikut :

1) Untuk setelan disisi penyulang, dengan arus maksimum adalah :

- Trafo kapasitas 60 MVA maksimum  $2,0 \times I_{n \text{ trafo}}$
  - Trafo kapasitas 50 MVA maksimum  $2,2 \times I_{n \text{ trafo}}$
  - Trafo kapasitas 30 MVA maksimum  $2,4 \times I_{n \text{ trafo}}$
  - Trafo kapasitas 20 MVA maksimum  $2,6 \times I_{n \text{ trafo}}$
  - Trafo kapasitas 16 MVA maksimum  $3,0 \times I_{n \text{ trafo}}$
  - Trafo kapasitas 10 MVA maksimum  $3,2 \times I_{n \text{ trafo}}$
- (2.4)

2) Untuk setelan disisi masukan 20 kV, disetelan sebesar :

$$I_{\text{instan}} = 4 \times I_{n \text{ trafo}} \quad (2.5)$$

dengan :

$I_{n \text{ trafo}}$  : Arus nominal transformator daya (Ampere).

Untuk menghitung arus nominal transformator daya menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{n \text{ trafo}} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{L-L}} \quad (2.6)$$

b. Arus Setelan Pada Bagian Primer

Besarnya arus setelan pada bagian primer sebesar :

$$I_{\text{instan primer}} = I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \quad (2.7)$$

dengan :

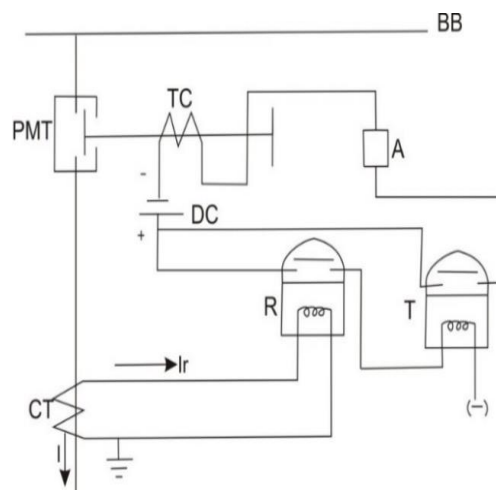
$I_{\text{instan primer}}$  : Setelan arus instan pada bagian primer (Ampere).

### 2.5.1.2 Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Seketika (Instan)

Untuk penyetelan waktu rele arus lebih seketika disisi penyulang berkisar antara 40 sampai dengan 100 milidetik, sedangkan untuk sisi masukan 20 kV penyetelan waktunya lebih besar dari penyetelan waktu sisi penyulang (Sarimun,W., 2012).

### 2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite)

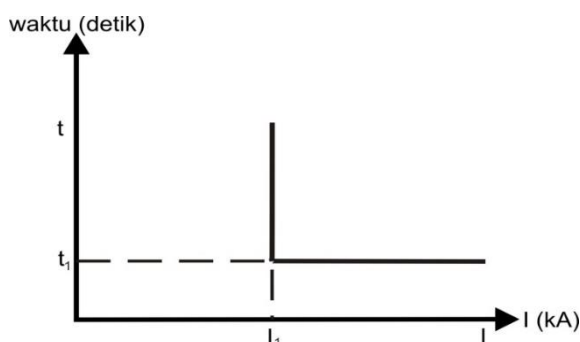
Rele arus lebih waktu tertentu adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick up* sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus penyetelan, melebihi arus penyetelan maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu penyetelannya). Rangkaian dari rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada gambar 2.3 dan karakteristiknya di gambar 2.4.



Gambar 2.3 Rangkaian Rele Arus Lebih Waktu Tertentu  
Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:29

keterangan gambar 2.3 :

- BB : Busbar.
- PMT : Pemutus (*circuit breaker*).
- TC : Kumaran pemutus (*tripping coil*).
- DC : Sumber arus searah.
- A : Tanda bahaya (*alarm*).
- R : Rele arus lebih waktu seketika (instan).
- T : Rele arus lebih waktu tertentu (definite).
- CT : Transformator arus (*current transformer*).
- $I_r$  : Arus yang melewati kumaran rele.
- I : Arus beban.



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu  
Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:29

Dengan memasang rele kelambatan waktu T (*time lag relay*) ditunjukkan seperti gambar 2.3, maka beroperasinya rangkaian rele akan tergantung pada penyetelan waktu pada rele kelambatan waktunya. Sedangkan karakteristik kerjanya ditunjukkan pada gambar 2.4, dimana waktu kerjanya, lebih lama dari waktu setelan rele arus lebih waktu seketika dan setelan rele didasarkan pada setelan arus beban . Dengan pemasangan rele kelambatan waktu, maka pengaman akan bekerja bila dipenuhi kondisi sebagai berikut :

$$t_{tr} = t_{mg} + t_{pr} + t_{pp} \quad (2.8)$$

dengan :

- $t_{tr}$  : Waktu total rele mulai terjadinya gangguan sampai dengan pemutus bekerja (detik).
- $t_{mg}$  : Waktu mulai terjadinya gangguan sampai dengan rele *pick up* (detik).
- $t_{pr}$  : Waktu penundaan kerja rele (detik).
- $t_{pp}$  : Waktu yang dibutuhkan pemutus bekerja (detik).

Keuntungan dari rele arus lebih waktu tertentu adalah (Sarimun 2008) :

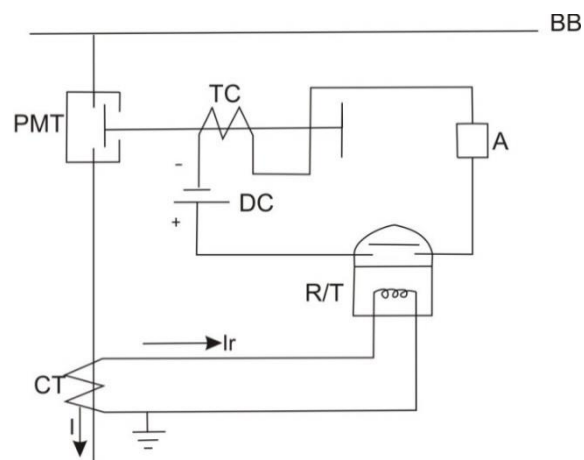
- Koordinasinya mudah.
- Waktu kerjanya tidak tergantung oleh perubahan kapasitas pembangkit.

Kelemahannya adalah :

- Terjadi komulasi waktu pada rele di hulu, untuk sistem besar, akumulasi waktu tidak diinginkan.
- Bila diterapkan pada pengaman gangguan tanah jaringan distribusi radial, bisa menimbulkan masalah *simpatetik tripping*.

### 2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (Invers)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu arus berbanding terbalik adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick up* sampai dengan selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya, maksudnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya. Adapun rangkaian rele arus lebih terbalik ditunjukkan pada gambar 2.5.



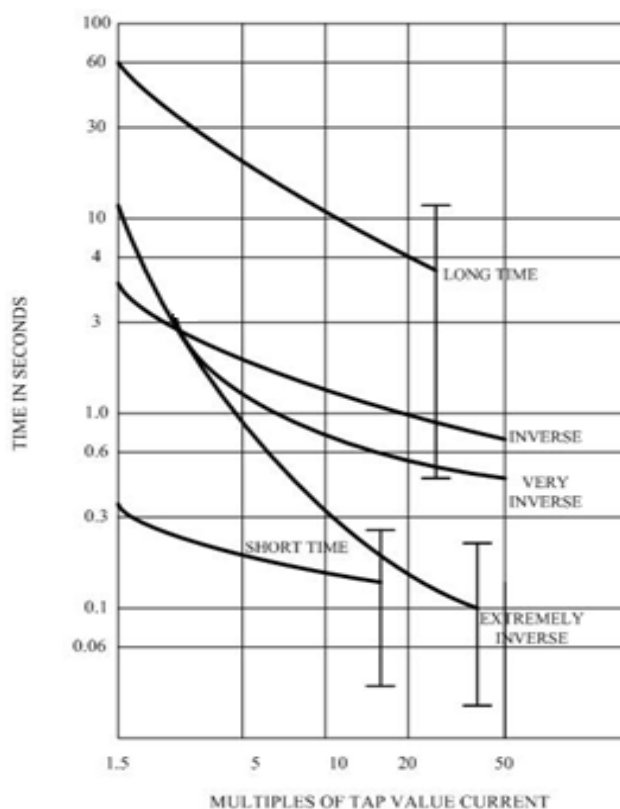
Gambar 2.5 Rangkaian Rele Arus Lebih Berbanding Terbalik

Sumber: Setiyo Saksomo, tanpa tahun:30

Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standard IEC 60255-3 dan BS 142. Standard-standard ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standart inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* (Prévé, C., 2006). Standard lain, misalnya standard IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderalety inverse*, *long time inverse* dan *short time inverse*.

Adapun karakteristik rele arus lebih terbalik berdasarkan standard IEC 60255-3 dan BS 142 dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini, dimana dalam gambar tersebut menunjukkan besarnya arus gangguan dan waktu unjuk kerja yang biasanya disebut *time dial*. Semakin besar *time dial* maka semakin lama pula waktu operasi rele ini.

Karakteristik invers ini banyak dikenal dengan sebutan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu definite minimumnya (Sleva, Anthony F., 2009).



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik  
Sumber: Network Protection & Automation Guide Alsthom

### 2.5.3.1 Penyetelan Arus Rele Arus Lebih Terbalik (Invers)

Untuk setelan arus dari rele arus lebih terbalik dihitung berdasarkan arus beban, yang mengalir di penyulang atau masukan 20 kV, artinya (Sarimun, W. 2012) :

- Rele arus lebih yang terpasang di penyulang, dihitung berdasarkan arus beban maksimum (beban puncak) yang mengalir di penyulang tersebut.
- Rele arus lebih yang terpasang di masukan 20 kV, dihitung berdasarkan arus nominal transformator daya.

a. Arus Setelan Primer Rele Arus Lebih Jenis Invers

Sesuai *British Standart* untuk rele arus lebih jenis invers biasa diset sebesar :

$$I_{\text{set primer}} = 1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{beban}} \text{ (Ampere).} \quad (2.9)$$

dengan :

$I_{\text{set primer}}$  : Arus setelan pada bagian primer (Ampere).

Nilai setelan primer rele arus lebih jenis invers akan digunakan untuk menghitung waktu bekerja rele arus lebih apabila terjadi gangguan pada saluran dan mengaktifkan CB.

b. Arus Setelan Sekunder Rele Arus Lebih Jenis Invers

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio transformator arus (CT) yang terpasang pada sisi masukan maupun sisi penyulang 20 kV. Sehingga persamaannya adalah (Ravindranath, 1976:177) :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{n_{CT}} \text{ (Ampere)} \quad (2.10)$$

dengan :

$I_{\text{set sekunder}}$  : Arus setelan pada bagian sekunder (Ampere).

$n_{CT}$  : Angka transformasi pada transformator arus.

### 2.5.3.2 Penyetelan Waktu Rele Arus Lebih Terbalik (Invers)

Setelan waktu rele arus lebih jenis invers dihitung menggunakan rumus kurva waktu dengan arus adalah seperti persamaan berikut (IEC 60255-3 dan BS 142 1966) :

$$t = \frac{\beta}{\left[ \left( \frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha \right] - 1} \times \text{TMS (detik)} \quad (2.11)$$

Nilai TMS pada rele arus lebih jenis invers dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\text{TMS} = \frac{\left[ \left( \frac{I_f}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha \right] - 1}{\beta} \times t \quad (2.12)$$

dengan :

$t$  : Waktu beroperasinya rele (detik).

$\text{TMS}$  : *Time Multiple Setting*, Nilai ini yang diset kan ke rele sebagai konstanta (tanpa satuan).

$I_f$  : Arus gangguan hubung singkat (Ampere), pada sistem distribusi tenaga listrik. Setelan rele arus lebih,  $I_f$  diambil arus gangguan 3 fasa atau 2 fasa terbesar.

$I_{\text{set}}$  : Arus penyetelan yang dimasukkan ke rele (Ampere).

Tabel 2.1 Koefisien *Time Dial*

| Jenis Kurva              | $\beta$ | $\alpha$ |
|--------------------------|---------|----------|
| <i>Standart Inverse</i>  | 0,14    | 0,02     |
| <i>Very Inverse</i>      | 13,5    | 1        |
| <i>Long Time Inverse</i> | 120     | 1        |
| <i>Extremely Inverse</i> | 80      | 2        |

Sumber: IEC 60255-3

## 2.6 Dasar Penyetelan Rele Arus Lebih

### 2.6.1 Dasar Penyetelan Arus

#### 2.6.1.1 Batas Minimum

Batas penyetelan minimum dinyatakan bahwa rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum (PLN, Dinas Proteksi:14).

#### 2.6.1.2 Batas Maksimum

Batas penyetelan maksimum rele arus lebih adalah bahwa rele harus bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rele seksi berikutnya. Dalam penyetelan maksimum rele perlu memperhitungkan arus hubung singkat maksimum yang melewati rele. Suatu gangguan hubung singkat tiga fasa pada pembangkit maksimum akan memberikan suatu arus gangguan maksimum dan gangguan hubung singkat antar fasa



akan memberikan arus gangguan minimum. Rele arus lebih harus memberikan reaksi terhadap kedua kondisi ini.

## **2.6.2 Dasar Penyetelan Waktu Kerja**

### **2.6.2.1 Rele Paling Hilir**

Penyetelan untuk rele arus lebih waktu tertentu ialah 0,2-0,3 detik, sedangkan untuk rele arus lebih waktu terbalik dipilih *time dial* yang terkecil yang didasarkan pada pembangkit maksimum.

### **2.6.2.1 Rele Satu Seksi di Hulunya**

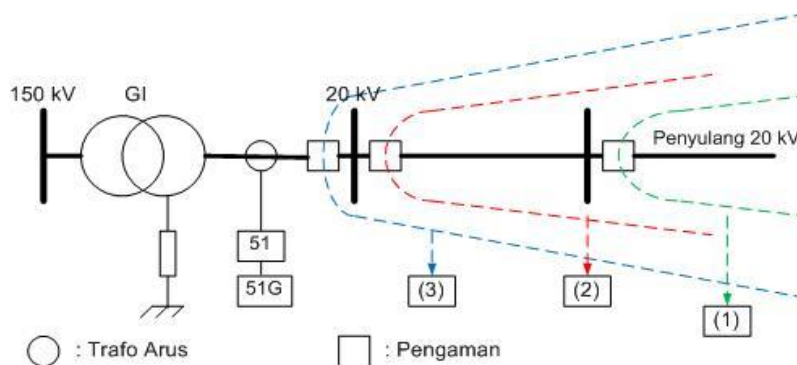
Penyetelan waktu kerja rele satu seksi di hulunya didasarkan bahwa rele yang berdekatan harus selektif.

## **2.7 Daerah Pengaman**

Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi, dimana hanya bagian sistem yang terganggu saja yang diisolasi (mengalami pemutusan), maka pada sistem proteksi dibentuk daerah-daerah pengaman. Daerah pengaman akan memberikan suatu pengertian mengenai batas daerah bagi sistem pengaman. Sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi didaerahnya dan memberikan perlindungan terhadap gangguan tersebut.

Daerah pengaman distribusi dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini, dimana dalam gambar tersebut merupakan suatu sistem tegangan menengah yang terdiri dari satu transformator, satu saluran distribusi dan tiga buah busbar yang digambarkan dalam diagram segaris. Garis terputus-putus tersebut menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam tiga daerah pengaman.

Batas setiap daerah menentukan bagian sistem tegangan menengah sehingga untuk gangguan yang terjadi di dalam daerah tersebut, sistem pengaman yang bertanggung jawab akan bertindak untuk memisahkan semua gangguan yang berada dalam daerah itu. Karena pemisahan dalam keadaan terganggu dilakukan oleh pemutus rangkaian, maka pada setiap titik hubungan antara peralatan di dalam daerah pengaman satu dengan bagian lainnya dari sistem harus menyisipkan pemutus rangkaian. Dengan kata lain, pemutus rangkaian membantu menentukan batas daerah pengaman.



Gambar 2.7 Daerah Pengaman Distribusi

Sumber: Sarimun, W., 2012

Pada gambar 2.7 pengaman distribusi tenaga listrik sistem tegangan menengah terbagi sebagai berikut :

1. Daerah pengaman listrik mempergunakan *Recloser*, *Fuse cut out* atau SSO.
2. Daerah pengaman listrik lokasi di sumber listrik Gardu Induk atau pusat listrik mempergunakan rele arus lebih dan rele gangguan tanah (keluaran penyulang).
3. Daerah pengaman listrik di sumber listrik Gardu Induk atau pusat listrik mempergunakan rele arus lebih dan rele gangguan tanah (masukan penyulang).

## 2.8 Koordinasi Pengaman

Pengertian koordinasi pengaman yaitu terdapat dua jenis atau lebih peralatan proteksi diantara titik kesalahan/gangguan. Peralatan ini harus dikoordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada di titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu. Kegagalan pada proteksi utama harus dapat diatasi, yaitu dengan proteksi cadangan (*back up protection*). Proteksi cadangan ini umumnya mempunyai perlambatan waktu (*time delay*), hal ini untuk memberikan kesempatan kepada proteksi utama beroperasi terlebih dahulu, dan jika proteksi utama gagal baru proteksi cadangan yang akan beroperasi. Hal ini disebut koordinasi selektif, dimana merupakan kemampuan untuk menentukan pada titik mana terjadinya gangguan, sehingga dapat ditentukan dengan tepat pemutus daya yang harus dibuka. Dengan demikian hanya bagian yang mengalami gangguan saja yang dipisahkan atau diisolasi dari sistem tersebut. Rele pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengaman yang cepat dan tepat akan dapat memperkecil gangguan menjadi sekecil mungkin. Syarat yang diperlukan pada peralatan proteksi harus menilai atau menentukan pada saat beroperasi harus melihat pada nilai minimal arus lebih, nilai minimal waktu dan tetap pada kondisi

selektif dari peralatan lain dalam suatu sistem sehingga setelan arus dan setelan waktu yang digunakan rele pengamanan sangat diperlukan untuk menentukan respon bekerja dengan cepat apabila terjadi gangguan agar gangguan tersebut tidak menyebar merusak peralatan yang lain dari sistem.

Dengan mengacu pada konsep daerah pengamanan, maka setelan rele arus lebih memiliki peranan yang penting dalam koordinasi rele pengamanan. Setelan rele arus lebih dapat dilakukan berdasarkan setelan waktu, setelan arus maupun kombinasi keduanya (IEEE *Standart* 242-1986).

Koordinasi ini adalah untuk menentukan *time delay* pada pengamanan antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan cadangan tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan *time delay* antara rele utama dan rele cadangan adalah 0,4-0,5 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kesalahan rele waktu pada kedua rele waktu yang berurutan 0,2-0,3 detik.
- *Overshoot* 0,05 detik.
- Waktu pembukaan pemutus tenaga maksimum 0,1 detik.
- Faktor keamanan 0,05 detik.

## 2.9 Perhitungan Impedansi

Untuk melakukan perhitungan arus hubung singkat terlebih dahulu adalah menentukan impedansi dari setiap elemen rangkaian dan mengubahnya dengan dasar sama. Dua macam cara untuk menentukan impedansi yaitu metode ohm dan per unit (pu).

### 2.9.1 Sistem Per Unit (pu)

Definisi dari nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan dari kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Perbandingan (ratio) dalam persentase adalah 100 kali nilai dalam per unit. Kedua metode perhitungan tersebut, baik dengan persentase maupun dengan per unit adalah lebih sederhana daripada menggunakan langsung nilai-nilai ampere, ohm, dan volt yang sebenarnya. Metode per unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persentase, karena hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam per unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam persentase masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persentase.

Tegangan, arus, kilovoltampere dan impedansi mempunyai hubungan sedemikian rupa sehingga pemilihan nilai-nilai dasar untuk dua saja dari kuantitas-kuantitas tersebut

sudah dengan sendirinya menentukan nilai-nilai dasar untuk kedua kuantitas yang lainnya. Jika nilai-nilai dasar dari arus dan tegangan sudah dipilih, maka nilai-nilai dasar dari impedansi dan kilovoltampere dapat ditentukan. Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangan (*voltage drop*) padanya sendiri sebesar tegangan dasar jika arus yang mengalirinya sama dengan arus dasar. Kilovoltampere dasar pada sistem-sistem berfasa tunggal adalah hasil perkalian dari tegangan dasar dalam kilovolt dan arus dasar dalam ampere.

Biasanya megavoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt adalah kuantitas-kuantitas yang dipilih untuk menentukan dasar atau referensi. Jadi untuk sistem-sistem berfasa tunggal atau sistem-sistem tiga fasa di mana istilah arus berarti arus saluran, istilah tegangan berarti tegangan ke netral, dan istilah kilovoltampere berarti kilovoltampere per fasa, berlaku rumus-rumus berikut ini untuk hubungan bermacam-macam kuantitas (Stevenson, 1996:29) :

$$\text{Arus dasar} = \frac{\text{kVA}_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, kV}_{L-L}} \quad (2.13)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{L-L})^2}{\text{MVA}_{3\phi} \text{ dasar}} \quad (2.14)$$

$$\text{Impedansi per unit} = \frac{\text{Impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{Impedansi dasar, } \Omega} \quad (2.15)$$

Untuk mengubah dari impedansi per unit (pu) menurut suatu dasar yang lama menjadi impedansi per unit (pu) menurut dasar yang baru dipakai persamaan berikut (Stevenson, 1996:29) :

$$Z_{\text{baru}} (\text{pu}) = Z_{\text{lama}} (\text{pu}) \left( \frac{\text{kV}_{\text{lama}} \text{ dasar}}{\text{kV}_{\text{baru}} \text{ dasar}} \right)^2 \times \left( \frac{\text{kVA}_{\text{baru}} \text{ dasar}}{\text{kVA}_{\text{lama}} \text{ dasar}} \right) \quad (2.16)$$

## 2.9.2 Impedansi Sumber

Jaringan distribusi yang dipasok dari tegangan tinggi dengan menggunakan transformator daya, untuk menentukan impedansi sumber maka harus diketahui MVA hubung singkat disisi tegangan tinggi. Impedansi sumber pada sisi tegangan tinggi dapat ditentukan melalui persamaan (Pusdiklat PLN:13-51/91) :

$$Z_s (\Omega) = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_{L-L})^2}{MVA_{hs}} \quad (2.17)$$

Dimana untuk mendapatkan nilai MVA hubung singkat harus diketahui terlebih dahulu nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi (busbar primer transformator daya), yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi. MVA hubung singkat dapat ditentukan melalui persamaan :

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times kV_{L-L} \times I_{hs} \quad (2.18)$$

### 2.9.3 Impedansi Urutan Komponen

Impedansi urutan komponen terdiri dari (Stevenson, 1996:274) :

a. Impedansi Urutan Positif ( $Z_1$ ).

Impedansi urutan positif adalah rangkaian impedansi tiga fasa simetris yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif dan hanya mengalir arus urutan positif saja.

b. Impedansi Urutan Negatif ( $Z_2$ ).

Impedansi urutan negatif adalah rangkaian impedansi tiga fasa simetris yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif, tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan negatif.

c. Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ ).

Impedansi urutan nol adalah rangkaian impedansi tiga fasa simetris yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan nol.

Pada sistem jaringan distribusi impedansi urutan komponen-komponen tersebut dapat terlihat pada :

#### 2.9.3.1 Impedansi Urutan Transformator Daya

a. Impedansi Urutan Positif dan Negatif ( $Z_{1T}$  dan  $Z_{2T}$ ).

Impedansi urutan positif transformator daya sama dengan impedansi urutan negatifnya, didapatkan dari papan nama transformator daya yang dinyatakan dalam satuan persen (%) atau per unit (pu), dimana  $Z_{1T} = Z_{2T}$  (2.19)

b. Impedansi Urutan Nol ( $Z_{0T}$ ).

Impedansi urutan nol, diperoleh dari data transformator daya yang digunakan, yaitu melihat adanya belitan delta sebagai belitan ketiga dalam transformator daya tersebut (Sarimun W., 2012) :

1) Untuk transformator daya dengan hubungan belitan  $\Delta Y$  dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka  $Z_{0T} = Z_{1T}$  (2.20)

2) Untuk transformator daya dengan hubungan belitan  $\Delta Y$  dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai  $Z_{0T} = 3 \times Z_{1T}$  (2.21)

3) Untuk transformator daya dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya  $Z_{0T}$  berkisar antara 9 s/d 14 x  $Z_{1T}$  (2.22)

### 2.9.3.2 Impedansi Urutan Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana nilainya ditentukan dari jenis penghantar, luas penampang dan panjang jaringan SUTM atau jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi  $Z = (R + jX) \Omega/\text{km}$ . (Sarimun, W. 2012). Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} = R_1 + jX_1 (\text{ohm/km}) \times L (\text{km}) \quad (2.23)$$

$$Z_{0\text{penyulang}} = R_0 + jX_0 (\text{ohm/km}) \times L (\text{km}) \quad (2.24)$$

dengan :

$Z_{1\text{penyulang}}$  : Impedansi penyulang urutan positif (ohm).

$Z_{2\text{penyulang}}$  : Impedansi penyulang urutan negatif (ohm).

$Z_{0\text{penyulang}}$  : Impedansi penyulang urutan nol (ohm).

L : Panjang penyulang (km).

## 2.9.4 Impedansi Total

Sistem distribusi memperoleh daya melalui jaringan transmisi berpola radial yaitu generator pada pangkalnya, sehingga besar impedansi total diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai impedansi urutan komponen yang ada dan impedansi sumbernya. Maka impedansi total untuk setiap urutan komponennya dapat dicari dengan persamaan (PLN, Dinas Proteksi:8) :

$$Z_{1total} = Z_{2total} = Z_s + Z_{1T} + Z_{1penyulang} \quad (2.25)$$

$$Z_{0total} = Z_{0T} + 3 \cdot Z_n + Z_{0penyulang} \quad (2.26)$$

dengan :

$Z_{1total}$  : Impedansi total urutan positif (pu).

$Z_{2total}$  : Impedansi total urutan negatif (pu).

$Z_{0total}$  : Impedansi total urutan nol (pu).

$Z_{1T}$  : Impedansi transformator daya urutan positif (pu).

$Z_{2T}$  : Impedansi transformator daya urutan negatif (pu).

$Z_{0T}$  : Impedansi transformator daya urutan nol (pu).

$Z_s$  : Impedansi sumber (pu).

$Z_{1penyulang}$  : Impedansi penyulang urutan positif (pu).

$Z_{2penyulang}$  : Impedansi penyulang urutan negatif (pu).

$Z_{0penyulang}$  : Impedansi penyulang urutan nol (pu).

$Z_n$  : Impedansi pengetanahan (pu).

## 2.10 Arus Gangguan

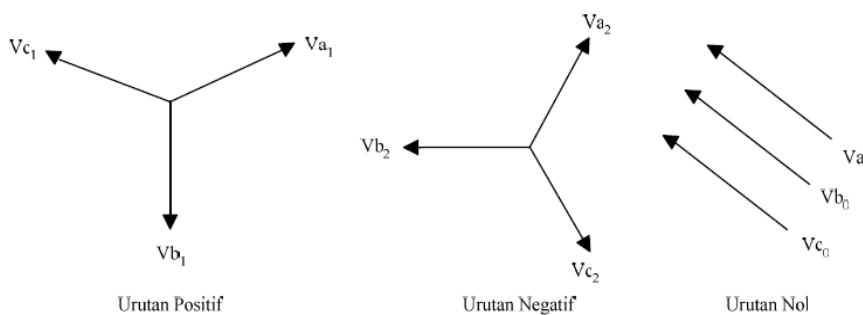
### 2.10.1 Komponen Simetris

Karya Fortescue membuktikan bahwa suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari  $n$  fasor yang berhubungan dapat diuraikan menjadi  $n$  buah sistem dengan fasor seimbang yang dinamakan komponen-komponen simetris dari fasor lainnya.  $n$  buah fasor pada setiap himpunan komponennya sama panjang dan sudut diantara fasor yang bersebelahan dalam himpunan itu sama besarnya.

Menurut toerama Fortercue, tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diturunkan menjadi tiga fasor seimbang yaitu (Stevenson, 1994:269) :

1. Komponen-komponen urutan positif (*positive sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut fasa  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negatif (*negative sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam sudut sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen-komponen urutan nol (*zero sequence components*) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara yang satu dengan yang lainnya.

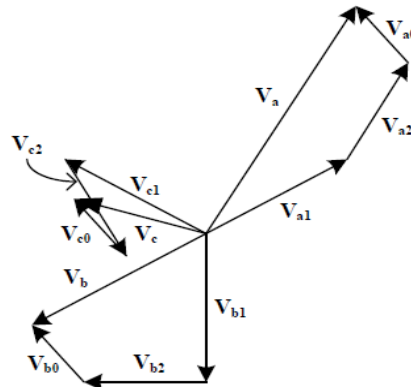
Urutan fasa komponen positif dari fasor tidak seimbang adalah a,b,c sedangkan urutan negatif adalah a,c,b. Jika fasor aslinya tersebut adalah tegangan dapat dinyatakan dengan  $V_a, V_b, V_c$ . Ketiga komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan 1 untuk urutan positif, 2 untuk urutan negatif, dan 0 untuk urutan nol. Sehingga dari fasor tegangan komponen simetris secara berurutan dapat dinyatakan dengan  $V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}, V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}, V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}$ . Fasor tegangan tiga fasa tidak seimbang dari komponen simetrisnya terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tiga Himpunan Fasor Seimbang yang Merupakan Komponen Simetris dari Tiga Fasor Tidak Seimbang  
Sumber: Stevenson, 1996:26

Suatu besaran tiga fasa yang tidak seimbang dinyatakan oleh jumlah tiga fasa komponen yang seimbang yang terdiri dari atas urutan positif, negatif, dan nol. Setiap fasor tak seimbang yang asli adalah jumlah dari komponen-komponennya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9.





Gambar 2.9 Penjumlahan Secara Grafis Komponen-komponen Untuk Mendapatkan Fasor-fasor Tak Seimbang

Sumber: Stevenson, 1996:261

Dari gambar 2.9 fasor asli dapat dinyatakan dalam suku komponennya atau persamaan senagai berikut :

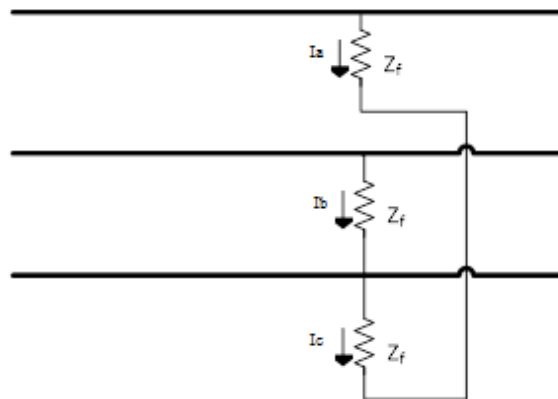
$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.27)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.28)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.29)$$

### 2.10.2 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa diperlihatkan pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

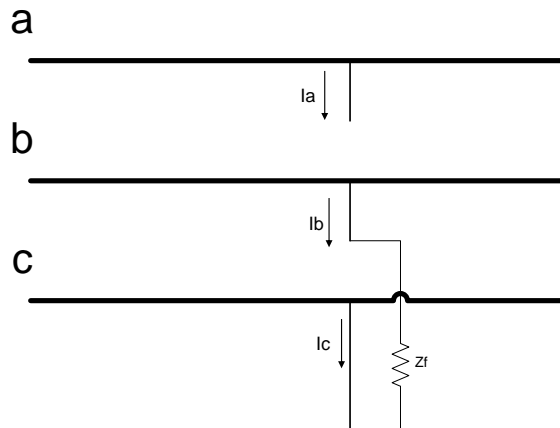
Sumber: Stevenson, 1994

Arus hubung singkat tiga fasa adalah (Gonen, T., 1988:267) :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \quad (2.30)$$

### 2.10.3 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan terjadi pada fasa b dan c. Gangguan hubung singkat antar fasa diperlihatkan pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa  
Sumber: Stevenson, 1994

Arus hubung singkat antar fasa adalah (Gonen, T., 1988:267) :

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2.31)$$

keterangan :

$I_{hs}$  : Arus hubung singkat (Ampere).

$E_a$  : Tegangan dasar (pu).

$Z_1$  : Impedansi urutan positif (pu).

$Z_2$  : Impedansi urutan negatif (pu).

$Z_f$  : Impedansi gangguan hubung singkat (pu).

Besar prosentase kejadian gangguan-gangguan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini :

Tabel 2.2 Prosentase Kejadian Gangguan Hubung Singkat

| Jenis gangguan     | % kejadian    |
|--------------------|---------------|
| Satu fasa ke tanah | 85            |
| Antar fasa         | 8             |
| Dua fasa ke tanah  | 5             |
| Tiga fasa          | 2 atau kurang |

Sumber: Ravindranath, 1976

Gangguan satu fasa ke tanah atau yang biasa disebut dengan gangguan tak simetris umumnya disebabkan oleh kecerobohan dari operator. Gangguan satu fasa ke tanah memiliki kemungkinan gangguan terbesar. Oleh karena itu perancangan sistem proteksi terhadap gangguan satu fasa ke tanah harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi.

Dari jenis gangguan hubung singkat diatas dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu (Penangsang, O., 2005) :

a. Hubung Singkat Simetris.

Merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi.

b. Hubung Singkat Tak Simetris (Asimetris).

Merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang.

Gangguan hubung singkat yang termasuk ke dalam gangguan tak simetris (asimetris) adalah hubung singkat satu fasa maupun dua fasa, sedangkan gangguan simetris adalah hubung singkat tiga fasa (NFPA 70E, 2003). Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetris. Gangguan-gangguan tak simetris akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk menganalisis gangguan yang terjadi digunakan metode komponen simetris untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu, juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu dan dapat mengakibatkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi (Stevenson, 1994) :

a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.

b. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan yang lain.

- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda, kejadian ini di kenal sebagai *cascading*.

### **2.11 Sistem Proteksi Pola Non Kaskade**

Proteksi dengan sistem pola non kaskade adalah untuk melindungi bagian-bagian vital dan sekaligus menjaga kestabilan busbar. Sistem pola non kaskade adalah semacam pengaman cadangan jika harus terjadi kegagalan di pengaman utama, maka pengaman cadangan akan beroperasi seketika untuk mendapat selektifitas dan stabilitas.

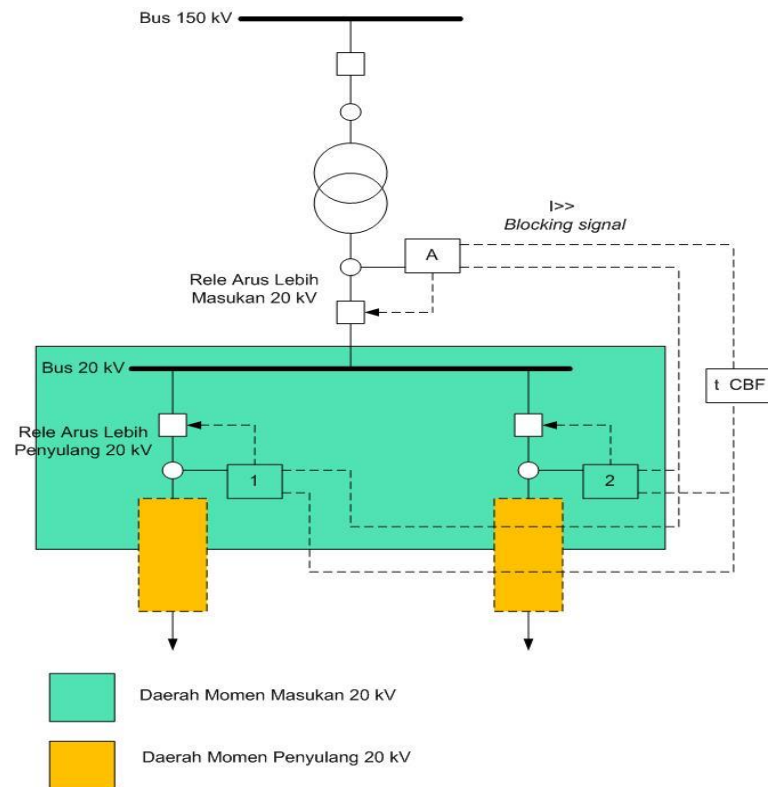
Pada gambar 2.12 dibawah ini memperlihatkan skema pola non kaskade. Pola non kaskade adalah pola tanpa pertanahan. Pada pola ini rele-rele disisi penyulang 20 kV dapat dikomunikasikan dengan rele disisi hulunya (masukan 20 kV), dimana meskipun rele-rele instan disisi masukan dan penyulang 20 kV diterapkan, namun masih tetap diperoleh selektifitas yang baik.

Pada saat gangguan didaerah kerja rele instan sisi penyulang dan rele instan masukan 20 kV maka rele instan disisi masukan 20 kV akan di blok oleh keluaran dari rele instan di penyulang selama beberapa milidetik (sesuai penyetelan waktu bloknnya) sehingga memberi kesempatan rele instan di penyulang bekerja terlebih dahulu, jika selama waktu blok tersebut PMT penyulang tidak beroperasi maka barulah rele di sisi masukan 20 kV akan memerintahkan PMT sisi masukan 20 kV untuk beroperasi.

Prinsip kerja pola non kaskade dapat dibagi menjadi beberapa kondisi sebagai berikut :

1. Pada saat gangguan busbar diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan penyetelan invers.
2. Pada saat gangguan busbar didalam daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan penyetelan instan.
3. Pada saat gangguan penyulang dan PMT penyulang bekerja normal maka rele arus lebih penyulang akan bekerja sesuai dengan penyetelan invers, dan apabila gangguan tersebut termasuk dalam daerah instan rele arus lebih penyulang maka rele arus lebih penyulang akan bekerja sesuai dengan penyetelan instan.

4. Pada saat gangguan penyulang dan PMT penyulang gagal bekerja maka tCBF akan mengirim sinyal pemutusan ke rele arus lebih masukan 20 kV untuk segera bekerja dengan waktu tunda 0,1 detik.



Gambar 2.12 Skema Pola Non Kaskade

Sumber: PT.PLN (Persero) P3B Jawa-Bali, Nov., 1998

Agar pola non kaskade berhasil maka perlu diperhatikan bahwa (ibid, hal 54) :

1. Waktu blok harus lebih besar dari waktu kerja rele instan sisi penyulang.
2. penyetelan rele instan di penyulang maksimal 80% dari penyetelan rele instan di sisi masukan 20 kV. Hal ini karena untuk arus gangguan yang mendekati penyetelan instan, waktu kerja lebih lama dan tipikal setelah 125% arus penyetelan instan, rele baru akan bekerja seketika.

Penyetelan rele pada penyulang juga turut menentukan proses kerja dari pola non kaskade sehingga terjadi koordinasi dengan baik. Rele yang disetel harus disesuaikan dengan setelan dari rele hulu (dalam hal ini pertimbangan dari segi kecepatan dan ketepatan waktu) supaya daerah pengisolasian pada rele hulu melingkupi daerah penyulang seperti pada gambar 2.12 terlihat bahwa adanya daerah irisan yang menempati daerah proteksi rele penyulang berada di dalam daerah rele di hulu.

Penyetelan rele harus dimulai dengan rele penyulang terlebih dahulu untuk mendapatkan setelan rele yang selektif dan baik. Rele juga harus disetel dengan dasar

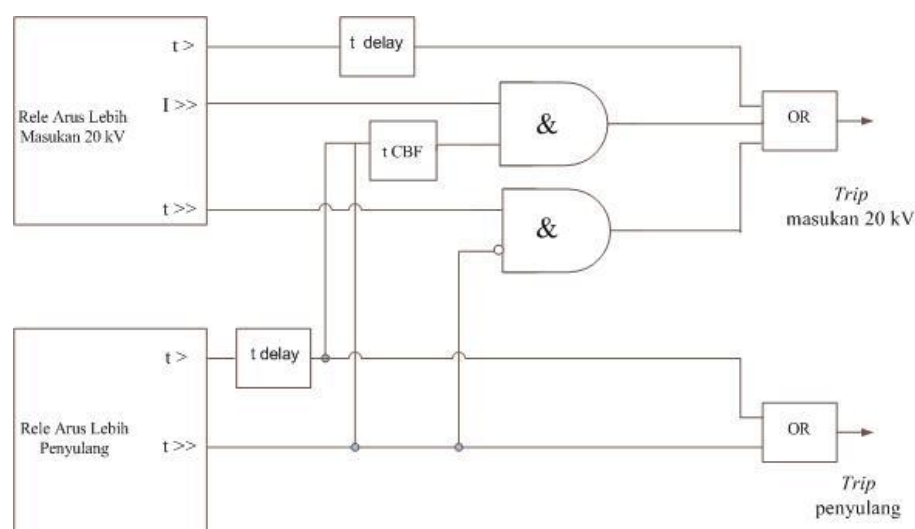
arus hubung singkat maksimum agar bekerja bila terjadi gangguan hubung singkat pada rele seksi berikutnya.

Rele disetel dengan arus hubung singkat minimum agar rele tidak bekerja pada saat beban maksimum dan rele yang berada di hilir mempunyai penyetelan arus sama atau lebih kecil dari rele yang di hulu, dengan demikian arus primer yang diperlukan untuk mengerjakan rele di hilir sama atau lebih kecil dari rele hulu.

## 2.12 Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade

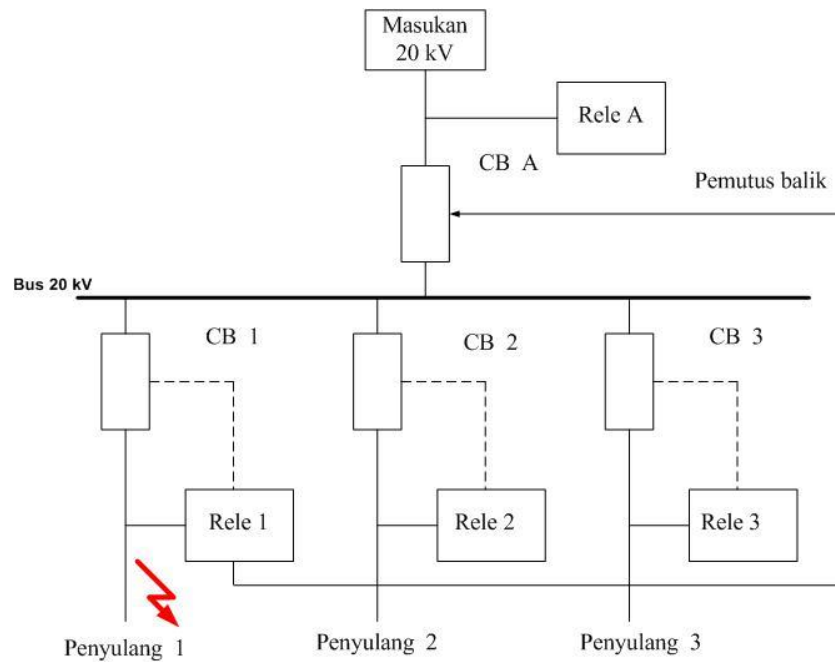
Logika pemutusan pola non kaskade ditunjukkan pada gambar 2.13 dibawah ini. Ketika rele di hilir tidak dapat merespon gangguan yang terjadi maka pada saat bersamaan pula setelan waktu rele instan pada rele arus lebih hulu sama-sama merasakan gangguan sehingga rele arus lebih hilir memberikan sinyal pemutusan menuju rele arus lebih hulu dengan komponen tCBF yang memberikan respon sinyal bersama-sama sinyal rele arus lebih hulu dengan logika gerbang AND artinya bahwa pemutusan bisa berlangsung apabila ada respon dari komponen tCBF dan adanya respon rele arus lebih hulu yang diakibatkan gangguan yang diterima oleh rele arus lebih hulu tersebut untuk memutuskan rangkaian masukan 20 kV.

Dengan waktu yang dapat diatur pada tCBF tersebut maka kerja dari pemutusan itu juga dapat di atur tergantung dari setelan waktu dari kedua rele arus lebih tersebut. Sehingga karakteristik setiap rele di penyulang harus sama dan bisa berkoordinasi dengan rele hulu.



Gambar 2.13 Logika Pemutusan Pola Non Kaskade

Sumber: PT.PLN P3B Jawa-Bali,Nov., 2012:16



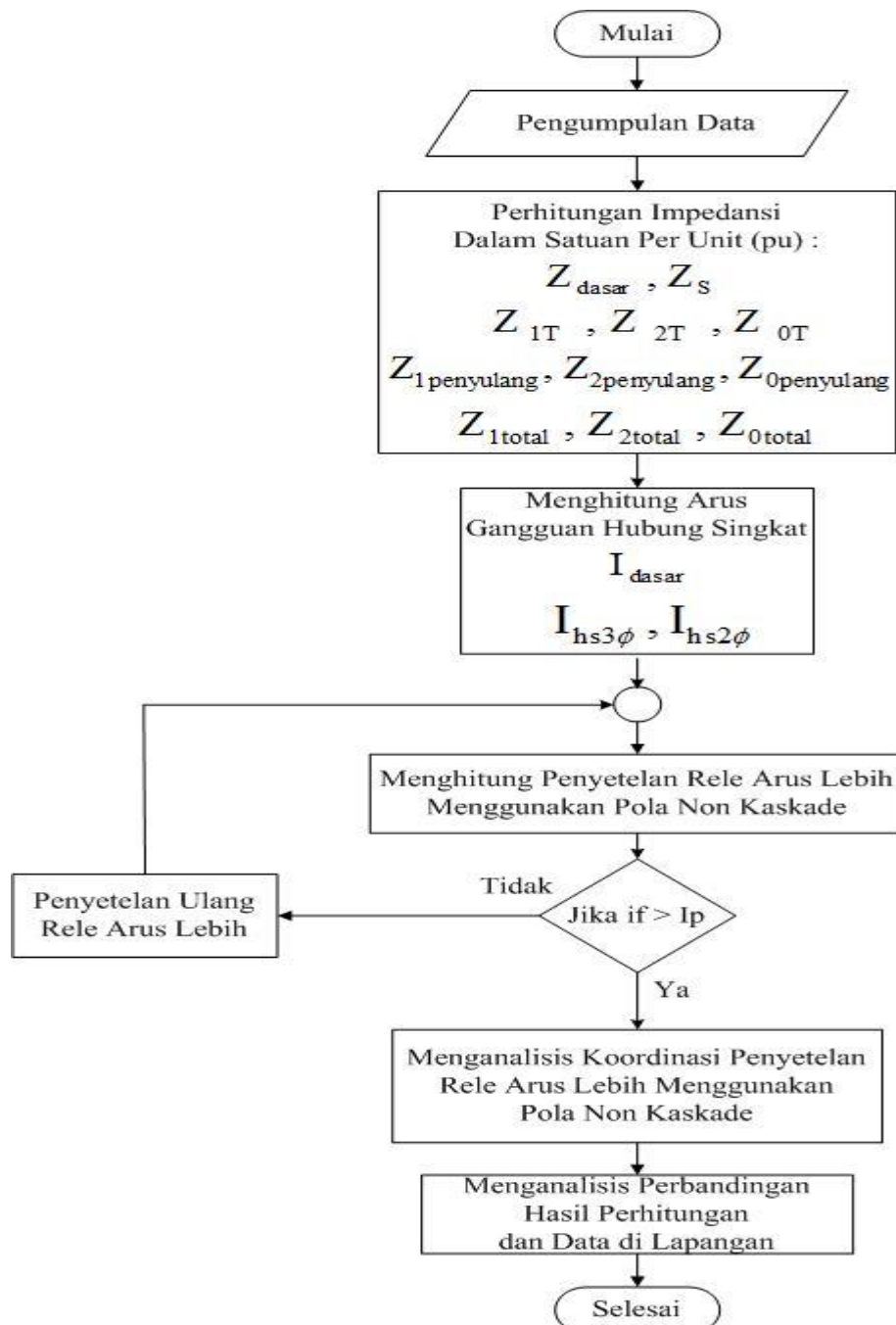
Gambar 2.14 Pemutusan Balik Pengisolasian Gangguan  
Sumber: GEC ALSTHOM, 1987

Sistem proteksi ini memberikan keutamaan pada rele untuk memutuskan *circuit breaker* yang berada di seksi sebelumnya (hulu) apabila kondisi rangkaian pemutus merasakan gangguan gagal memutuskan di daerah yang bersangkutan dan dapat diaktifkan dari kedua operasi rele atau pemutusan luar. Dari gambar 2.14 dapat ditunjukkan bahwa metode khusus pemutusan balik yang khusus untuk gangguan di penyulang 1 yang harus di isolasi oleh rele 1 dan CB 1. Apabila CB 1 gagal untuk mengisolasi gangguan, hal ini akan di isolasikan dengan cara hubungan pemutusan balik dengan rele 1 dengan pemutusan CB A.

Pada gambar 2.14, rele A mempunyai karakteristik *standart inverse* untuk  $I >$ , tetapi reaksi yang cepat  $I >>$  dasar (waktu tunda secara khusus 100 ms) yang diblok oleh rele yang berada di hilir pada gangguan penyulang. Daerah pemutusan untuk CB A juga melingkupi daerah CB 1 sehingga apabila terjadi gangguan pada daerah CB 1 namun rele 1 dan CB 1 gagal beroperasi maka CB A yang akan beroperasi melalui tCBF dengan  $I >>$  pada rele 1.

### BAB III METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan dari pembahasan dalam penelitian ini, maka diperlukan metode untuk menyelesaikan permasalahannya. Metode penelitian dalam penyusunan penelitian ini adalah metode perhitungan dimana data-data yang didapatkan akan di hitung dan kemudian di analisa, adapun langkah-langkah metode ini dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian



### 3.1 Pengambilan Data

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) P3B Jawa Bali Area Pelaksana Pemeliharaan Malang dan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan Malang Rayon Malang Kota. Pengambilan data yang dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Adapun data-data yang diperlukan merupakan data sekunder, yaitu :

- Diagram satu garis Gardu Induk Sengkaling Malang dan penyulang Junrejo.
- Data spesifikasi transformator daya III dengan kapasitas 150/20 kV dengan daya 30 MVA pada Gardu Induk Sengkaling Malang.
- Data spesifikasi rele arus lebih yang digunakan disisi masukan 20 kV dan penyulang Junrejo.
- Data spesifikasi kabel penghantar penyulang Junrejo.

### 3.2 Prosedur Perhitungan dan Analisis

Langkah-langkah perhitungan dan analisis untuk memperoleh hasil akhir dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada berbagai titik lokasi gangguan yang diasumsikan di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang dan 1%, 2%, 3% sampai dengan 100% panjang penyulang. Penentuan titik lokasi gangguan ini dapat membantu dalam menentukan jarak titik lokasi gangguan arus hubung singkat pada penyulang, sehingga dapat diketahui impedansi urutan penyulang untuk setiap titik gangguan arus hubung singkat yang akan dihitung. Adapun langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :
  - a. Menghitung impedansi dasar dengan menggunakan persamaan (2.14).
  - b. Menghitung impedansi sumber dengan menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18).
  - c. Menghitung impedansi masing-masing komponen dalam satuan per unit (pu) yaitu impedansi transformator daya menggunakan persamaan (2.16), (2.19), (2.20), (2.21), dan (2.22) kemudian untuk menghitung impedansi penyulang dengan menggunakan persamaan (2.23) dan (2.24).
  - d. Menghitung impedansi total dengan menggunakan persamaan (2.25) dan (2.26).

- e. Menghitung arus dasar dengan menggunakan persamaan (2.13).
  - f. Menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa dengan menggunakan persamaan (2.30) dan (2.31).
2. Penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, yang dianalisis adalah penyetelan arus, arus instan dan penyetelan waktu pada sisi masukan dan penyulang 20 kV. Untuk menghitung penyetelan arus pada sisi masukan dan penyulang 20 kV dapat menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10). Untuk menghitung arus instan sisi penyulang dengan persamaan (2.3), (2.4), (2.6) dan (2.7) sedangkan untuk arus instan sisi masukan 20 kV menggunakan persamaan (2.3), (2.5), (2.6) dan (2.7). Sedangkan untuk penyetelan waktunya berdasarkan karakteristik waktu kerja rele arus lebih *standart inverse* didapat dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12).
  3. Setelah dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, maka perlu dilakukan analisis koordinasi waktu kerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV untuk berbagai titik lokasi gangguan arus hubung singkat.
  4. Menganalisis perbandingan hasil perhitungan dan data yang diperoleh di lapangan. Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, penyetelan rele arus lebih, dan tingkat kinerja rele arus lebih saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa.

### **3.3 Penutup**

Pada bagian penutup akan dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang dilakukan, sehingga dapat diketahui perbandingan pola pengaman mana yang lebih baik dari segi kecepatan dan selektifitas rele arus lebih untuk pemutusan gangguan arus hubung singkat yang terjadi. Setelah kesimpulan diambil maka saran akan digunakan untuk memperbaiki penelitian dan pengembangan selanjutnya.

**BAB IV**  
**ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *INCOMING* DAN**  
**PENYULANG 20 KV MENGGUNAKAN POLA NON KASKADE**

**4.1 Gardu Induk Sengkaling**

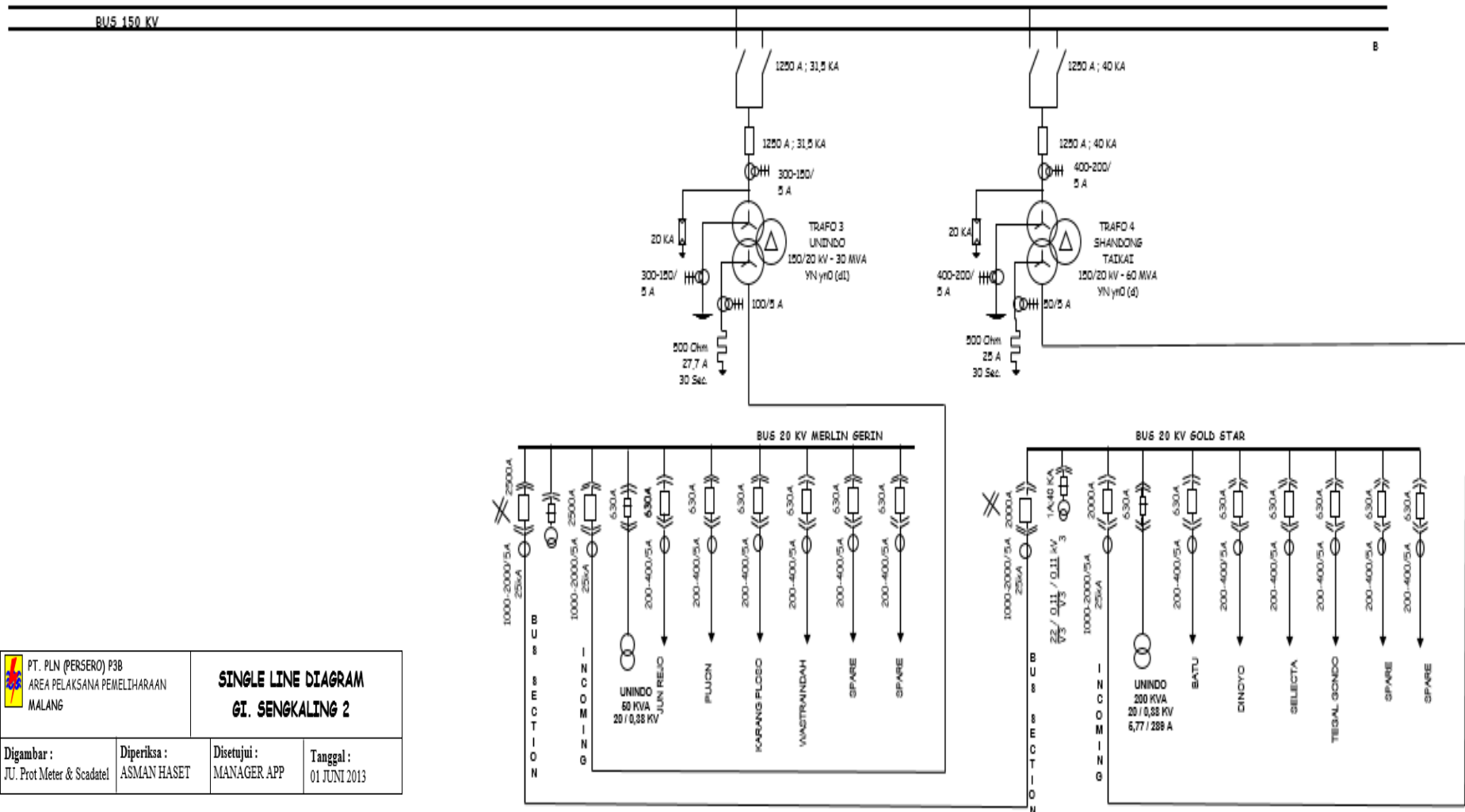
Gardu Induk (GI) Sengkaling adalah salah satu dari 16 GI yang ada di wilayah Unit Pelayanan Transmisi Malang. Gardu Induk Sengkaling memiliki 4 buah transformator yang menerima suplai tegangan 150 kV. Transformator I dan transformator II berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 70 kV, dan dua transformator lainnya yaitu transformator III dan transformator IV berfungsi untuk menurunkan tegangan 150 kV menjadi 20 kV. Dari transformator III dan IV disalurkan ke penyulang-penyulang, kemudian transformator distribusi yang ada di penyulang-penyulang tersebut menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 V sesuai dengan kebutuhan dari konsumen.

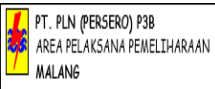
Pengaturan beban dan energi Gardu Induk Sengkaling adalah sebagai berikut :

- a. Transformator III dengan kapasitas 30 MVA menyalurkan energi ke penyulang Junrejo, Pujon, Karang Ploso dan Wastra Indah.
- b. Transformator IV dengan kapasitas 60 MVA menyalurkan energi ke penyulang Batu, Dinoyo, Selecta dan Tegal Gondo.

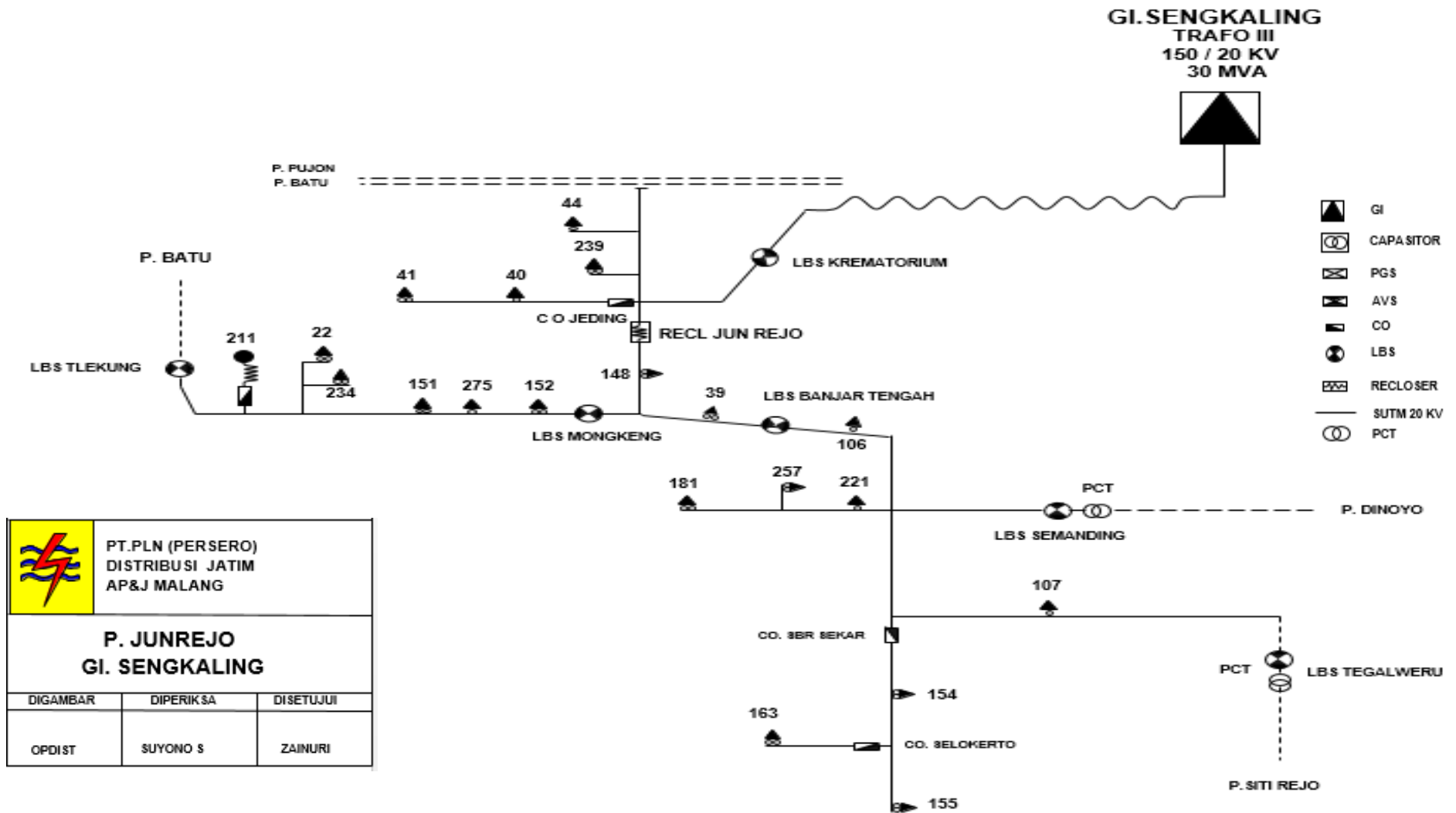
Berdasarkan data Gardu Induk Sengkaling, dapat diketahui bahwa sistem jaringan distribusi yang memiliki gangguan paling banyak pada tahun 2013 adalah penyulang Junrejo. Dengan total jumlah gangguan sebanyak 14 kali, dan pernah terjadi gangguan pada penyulang Junrejo yang berdampak pada beroperasinya rele masukan 20 kV akibat kegagalan atau keterlambatan sistem proteksi pada penyulang Junrejo. Beroperasinya rele masukan 20 kV mengakibatkan padamnya penyulang-penyulang lain yang mendapat suplai tegangan dari masukan 20 kV tersebut.

Hal ini berarti penyulang Junrejo merupakan penyulang yang cukup bermasalah dari sisi keandalan dan koordinasi sistem proteksinya. Dengan alasan-alasan yang telah diuraikan di atas maka penulis hendak melakukan koordinasi proteksi pada masukan 20 kV dan penyulang Junrejo dan mencari solusi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksinya. Adapun diagram satu garis transformator III di Gardu Induk Sengkaling Malang ditunjukkan pada gambar 4.1 dan diagram satu garis penyulang Junrejo ditunjukkan pada gambar 4.2.



|   |                            |   |                           |
|---|----------------------------|---|---------------------------|
|  |                            | <b>SINGLE LINE DIAGRAM<br/>GI. SENGKALING 2</b> |                           |
| Digambar :<br>JU. Prot Meter & Scadatel   | Diperiksa :<br>ASMAN HASET | Disetujui :<br>MANAGER APP                      | Tanggal :<br>01 JUNI 2013 |

Gambar 4.1 Diagram Satu Garis Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang  
Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang, 2006



|  |           |           |
|--|-----------|-----------|
|  |           |           |
| <b>P. JUNREJO</b><br><b>GI. SENKALING</b>  |           |           |
| DIGAMBAR   | DIPERIKSA | DISETUJUI |
| OPDIST   | SUYONO S  | ZAINURI   |

Gambar 4.2 Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo  
 Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang, 2014

Tabel 4.1 Data Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang.

|                           |                |
|---------------------------|----------------|
| <b>Merk</b>               | UNINDO         |
| <b>Tipe</b>               | TTUB 150/30000 |
| <b>Daya</b>               | 30 MVA         |
| <b>Impedansi</b>          | 12,5%          |
| <b>Tegangan</b>           | 150/20 kV      |
| <b>Tahanan Pentanahan</b> | 500 ohm        |
| <b>Hub. Belitan</b>       | YNyn0 (d1)     |

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Tabel 4.2 Data Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV.

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Merk</b>                   | GEC                     |
| <b>Tipe</b>                   | MCGG 82                 |
| <b>Nomer Serie</b>            | 793468 D                |
| <b>Setelan Arus ( I&gt; )</b> | 1000 A                  |
| <b>Time Dial &gt;</b>         | 0,2 (SI)                |
| <b>Rasio CT</b>               | 2000/5                  |
| <b>Karakteristik</b>          | <i>Standart Inverse</i> |
| <b>Arus Nominal ( In )</b>    | 5 A                     |

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

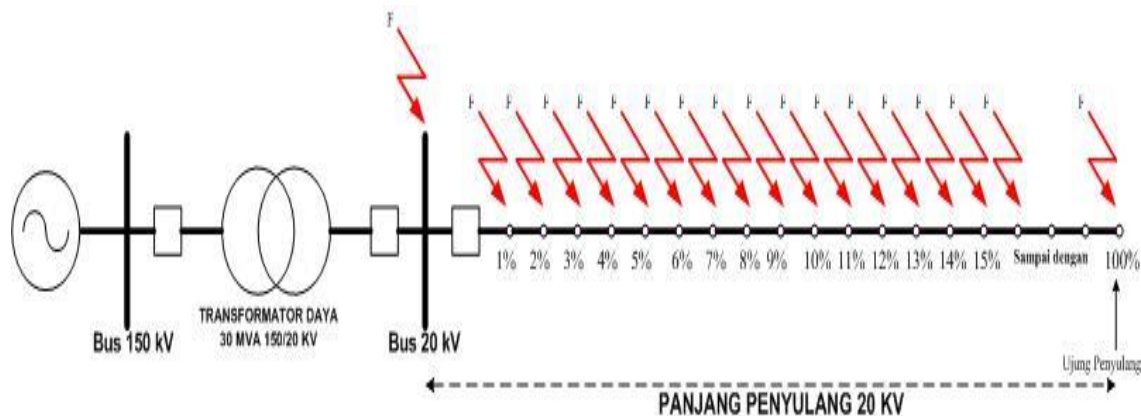
Tabel 4.3 Data Rele Arus Lebih Penyulang.

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Merk</b>                            | MICOM                   |
| <b>Tipe</b>                            | P127                    |
| <b>Nomer Serie</b>                     | 36007937                |
| <b>Setelan Arus ( I&gt; )</b>          | 320 A                   |
| <b>Time Dial &gt;</b>                  | 0,05 (SI)               |
| <b>Setelan Arus Inst ( I&gt;&gt; )</b> | 2000 A                  |
| <b>Time Dial &gt;&gt;</b>              | <i>Instan</i>           |
| <b>Rasio CT</b>                        | 400/5                   |
| <b>Karakteristik</b>                   | <i>Standart Inverse</i> |
| <b>Arus Nominal ( In )</b>             | 5 A                     |

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang

## 4.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk perhitungan gangguan hubung singkat ini dihitung berdasarkan panjang penyulang, seperti ditunjukkan pada gambar (4.3), yaitu gangguan hubung singkat diasumsikan terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang dan 1%, 2%, 3%, sampai dengan 100% panjang penyulang.



Gambar 4.3 Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo Dengan Berbagai Titik Lokasi Gangguan.

### 4.2.1 Menghitung Impedansi Dasar

Perhitungan impedansi dasar mengacu dari transformator daya pada sisi tegangan sekundernya. Impedansi dasar diperoleh dari hasil perbandingan antara tegangan dan daya transformator tersebut. Berdasarkan tabel (4.1), nilai tegangan sekunder dijadikan sebagai tegangan dasar dan besarnya adalah 20 kV, dan daya transformator yang digunakan sebagai daya dasar adalah 30 MVA. Dengan menggunakan nilai dasar tersebut dan persamaan (2.14) didapat impedansi dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{\text{dasar}} (\Omega) &= \frac{(kV_{L-L})^2}{MVA_{3\phi}} \\ &= \frac{(20)^2}{30} \\ &= 13,33 \Omega \end{aligned}$$

### 4.2.2 Menghitung Impedansi Sumber

Impedansi sumber diperoleh dengan membandingkan antara tegangan dasar dan MVA hubung singkat. Tegangan dasar merupakan tegangan sisi sekunder transformator daya, sedangkan MVA hubung singkat diperoleh dari jaringan distribusi yang dipasang dari tegangan tinggi dengan menggunakan transformator daya. Pada tabel (4.1), diketahui

besar tegangan dasar yaitu 20 kV, dan sedangkan untuk MVA hubung singkat terlebih dahulu harus diketahui nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi, yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi, menurut data sekunder yang didapat dari APJ Malang yang ditunjukkan pada tabel di lampiran II.2, nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi 150 kV yang menjadi suplai Gardu Induk Sengkaling Malang sebesar 9,73581 kA. Dengan menggunakan persamaan (2.18) didapat nilai MVA hubung singkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} MVA_{hs} &= \sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 9,73581 \text{ kA} \\ &= 2529,44 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan MVA hubung singkat diatas, dapat dihitung impedansi sumber dengan menggunakan persamaan (2.17) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_s (\Omega) &= \frac{(kV_{L-L})^2}{MVA_{hs}} \\ &= \frac{(20)^2}{2529,44} \\ &= 0,1581 \Omega \end{aligned}$$

Impedansi sumber mempengaruhi nilai impedansi total suatu jaringan yang dilakukan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah perhitungan arus gangguan hubung singkat maka impedansi sumber dibuat dalam satuan per unit (pu) dengan menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_s (\text{pu}) &= \frac{Z_s (\Omega)}{Z_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{0,1581\Omega}{13,33\Omega} \\ &= j 0,0119 \text{ pu} \end{aligned}$$



### 4.2.3 Menghitung Impedansi Transformator Daya

Data sekunder impedansi transformator yang terlihat pada tabel (4.1) diketahui masih dalam bentuk persentase yaitu sebesar 12,5%. Maka impedansi transformator dengan menggunakan dasar baru dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.16) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{1T} \text{ (pu)} = Z_{2T} \text{ (pu)} &= j 0,125 \left( \frac{20}{20} \right)^2 \times \left( \frac{30}{30} \right) \\ &= j 0,125 \text{ pu} \end{aligned}$$

Karena transformator daya III Gardu Induk Sengkaling Malang yang terpasang mempunyai hubungan belitan YNyn0 (d1) yang mempunyai belitan delta di dalamnya dan ditanahkan dengan tahanan tinggi sebesar 500  $\Omega$ , maka nilai impedansi urutan nol transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.21) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{0T} \text{ (pu)} &= 3 \times Z_{1T} \\ &= 3 \times j 0,125 \text{ pu} \\ &= j 0,375 \text{ pu} \end{aligned}$$

### 4.2.4 Menghitung Impedansi Penyulang

Untuk mengetahui besar impedansi penyulang pada suatu titik gangguan tertentu dapat diasumsikan pada lokasi gangguan di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang dan 1%, 2%, 3% sampai dengan 100% panjang penyulang, dengan memasukan data sekunder dari APJ Malang yaitu, jenis penghantar yang digunakan pada penyulang Junrejo adalah tipe AAAC dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup> dan panjang penyulang Junrejo 23,085 km dan nilai impedansi dari kabel penghantar AAAC dengan luas 150 mm<sup>2</sup> dapat dilihat pada tabel di lampiran II.3. Sehingga dapat dihitung impedansi penyulang urutan positif dan negatif dengan menggunakan persamaan (2.23) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} &= (0,2162 + j 0,3305 \Omega/\text{km}) \times 23,085 \text{ km} \\ &= 9,1170 \angle 56,81^\circ \Omega \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan satuan per unit (pu) dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
Z_{1\text{penyulang}} \text{ (pu)} &= \frac{Z_{1\text{penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}} \\
&= \frac{9,1170 \angle 56,81^\circ \Omega}{13,33 \Omega} \\
&= 0,3743 + j 0,5722 \text{ pu}
\end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan impedansi nol, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.24) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
Z_{0\text{penyulang}} &= (0,3631 + j1,618 \Omega/\text{km}) \times 23,085 \text{ km} \\
&= 38,2805 \angle 77,35^\circ \Omega
\end{aligned}$$

Untuk mendapatkan satuan per unit (pu) dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
Z_{0\text{penyulang}} \text{ (pu)} &= \frac{Z_{0\text{penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}} \\
&= \frac{38,2805 \angle 77,35^\circ \Omega}{13,33 \Omega} \\
&= 0,6287 + j 2,8014 \text{ pu}
\end{aligned}$$

Besar nilai impedansi penyulang urutan positif, urutan negatif dan urutan nol untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan dapat dilihat pada tabel di lampiran I.1.

#### 4.2.5 Menghitung Impedansi Total

Dalam perhitungan ini dicari impedansi total urutan positif, urutan negatif dan urutan nol menurut titik lokasi terjadinya gangguan. Dengan memanfaatkan hasil perhitungan diatas yang terdiri dari impedansi sumber, impedansi transformator daya dan impedansi penyulang. Dapat dihitung impedansi total urutan positif dan negatif menggunakan persamaan (2.25) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
Z_{1\text{total}} = Z_{2\text{total}} &= Z_S + Z_{1T} + Z_{1\text{penyulang}} \\
Z_{1\text{total}} \text{ 100\%} &= (j 0,0119) + (j 0,125) + (0,3743 + j 0,5722) \\
&= 0,8018 \angle 62,17^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan impedansi total urutan nol, karena transformator daya III titik netralnya ditanahkan dengan tahanan tinggi sebesar  $500 \Omega$ . Tahanan pentanahan diikut sertakan dalam perhitungan impedansi total urutan nol. Perhitungan impedansi pentanahan dalam satuan per unit (pu) menggunakan persamaan (2.15) yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_n(\text{pu}) &= \frac{R_n}{Z_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{500 \Omega}{13,33 \Omega} \\ &= 37,5 \text{ pu} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan impedansi pentanahan dalam per unit (pu) diatas, dapat dihitung impedansi total urutan nol dengan menggunakan persamaan (2.26) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{0\text{total}} &= Z_{0T} + 3.Z_N + Z_{0\text{penyulang}} \\ Z_{0\text{total}} 100\% &= j 0,375 + 3 (37,5) + (0,6287 + j 2,8014) \\ &= 113,1732 \angle 1,61^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka dengan cara yang sama untuk perhitungan impedansi total urutan positif, urutan negatif dan urutan nol menurut titik lokasi terjadinya gangguan dapat dilihat pada lampiran I.2.

### 4.3 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi total sesuai titik lokasi terjadinya gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung. Hanya saja impedansi total yang dimaksud adalah yang tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat nilai gangguan impedansi  $Z_f$  dianggap nol dan  $E_a$  adalah tegangan sebesar  $1 \angle 0^\circ$  karena dalam bentuk per unit (pu).

#### 4.3.1 Arus Dasar

Perhitungan arus dasar diperoleh dari hasil perbandingan antara daya dan tegangan transformator daya sisi sekunder. Berdasarkan tabel (4.1), nilai daya dasar dalam satuan kilovoltampere sebesar 30.000 kVA, sedangkan untuk tegangan dasar

sebesar 20 kV. Dengan menggunakan persamaan (2.13) didapat nilai arus dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{dasar}} &= \frac{\text{kVA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{\text{L-L}}} \\ &= \frac{30.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} \\ &= 866,03 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.3.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dengan menggunakan tabel pada lampiran I.2 kedalam persamaan (2.30) sehingga didapat hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa sebagai berikut :

Untuk gangguan hubung singkat pada titik gangguan 100% panjang penyulang.

$$\begin{aligned} I_{\text{hs}3\phi} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,8018 \angle 62,17^\circ + 0} \\ &= 1,2472 \angle - 62,17^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per unit (pu) maka untuk mendapatkan nilai sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Harga sebenarnya} &= \text{Harga per unit (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\ I_{\text{hs}3\phi} \text{ (A)} &= I_{\text{hs}3\phi} \text{ (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\ I_{\text{hs}3\phi} \text{ (A)} &= (1,2472 \angle - 62,17^\circ \text{ pu}) \times 866,03 \text{ A} \\ &= 1080,08 \text{ A.} \end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan tiga fasa saat gangguan terjadi di lokasi 100% panjang penyulang sebesar 1080,08 A.

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik lokasi gangguan penyulang yang lain seperti ditunjukkan pada tabel di lampiran I.3.

### 4.3.3 Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa dengan menggunakan tabel pada lampiran I.2 kedalam persamaan (2.31) sehingga didapat hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa sebagai berikut :

Untuk gangguan hubung singkat pada titik gangguan 100% panjang penyulang.

$$\begin{aligned}
 I_{hs\ 2\phi} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,8018 \angle 62,17^\circ) + (0,8018 \angle 62,17^\circ) + 0} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{1,6036 \angle 62,17^\circ} \\
 &= 0,6236 \angle -62,17^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per unit (pu) maka untuk mendapatkan nilai sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut :

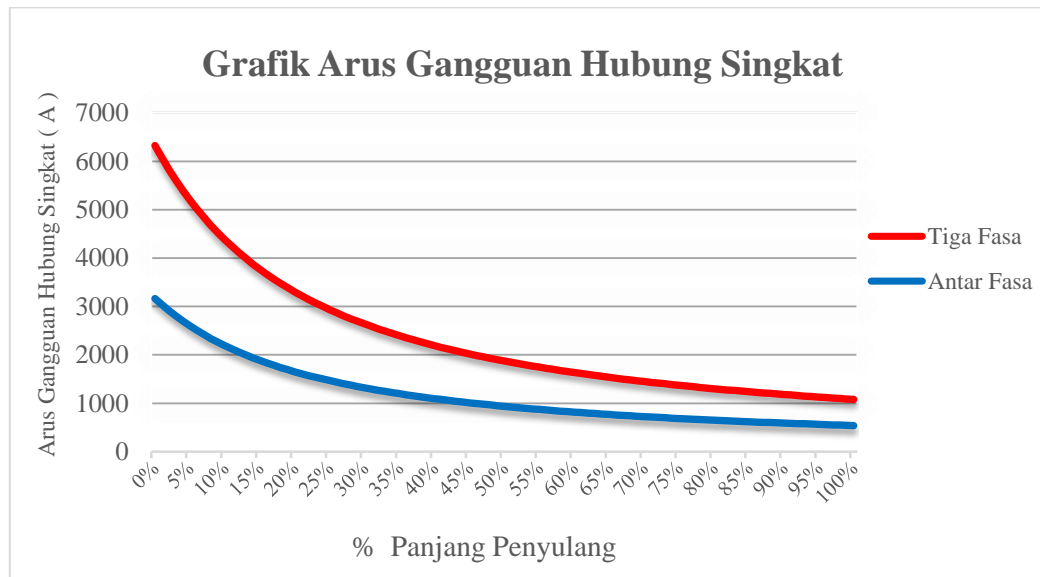
$$\begin{aligned}
 \text{Harga sebenarnya} &= \text{Harga per unit (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\
 I_{hs\ 2\phi} \text{ (A)} &= I_{hs\ 2\phi} \text{ (pu)} \times I_{\text{dasar}} \text{ (A)} \\
 I_{hs\ 2\phi} \text{ (A)} &= (0,6236 \angle -62,17^\circ \text{ pu}) \times 866,03 \text{ A} \\
 &= 540,04 \text{ A.}
 \end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan antar fasa saat gangguan terjadi di lokasi 100% panjang penyulang sebesar 540,04 A.

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa pada titik lokasi gangguan penyulang yang lain seperti ditunjukkan pada lampiran I.4.

Dengan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa ini dapat digunakan untuk penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Maka dapat dibuat perbandingan besarnya arus gangguan terhadap titik lokasi terjadinya gangguan dengan menggunakan tabel pada lampiran I.5.

Dari tabel pada lampiran I.5 dapat digambarkan grafik arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa menurut titik lokasi terjadinya gangguan yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa.

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.5 dan gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar pada penyulang Junrejo adalah gangguan hubung singkat tiga fasa di busbar 20 kV Gardu Induk Sengkaling Malang, yaitu sebesar 6327.84 A apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa. Dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Arus gangguan yang besar ini memerlukan sistem proteksi yang dapat bekerja dengan waktu cepat. Kemampuan sistem proteksi untuk memisahkan gangguan secepat mungkin akan mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut, yaitu berupa kerusakan peralatan instalasi. Arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada titik lokasi yang diasumsikan mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda. Perubahan arus gangguan yang relatif kecil ini membutuhkan sistem proteksi dengan selektivitas dan sensitivitas yang tinggi.

#### 4.4 Perhitungan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Setelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade tergantung pada titik lokasi

terjadinya gangguan hubung singkat, yaitu saat gangguan busbar diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan setelan invers, akan tetapi jika gangguan terjadi didalam daerah instan maka akan menggunakan setelan instan dan saat gangguan dipenyulang diluar daerah instan maka akan menggunakan setelan invers dan jika terjadi didalam daerah instan akan bekerja dengan setelan instan.

#### 4.4.1 Penyetelan di Sisi Penyulang

Untuk setelan rele arus lebih yang terpasang di penyulang menurut data sekunder pada tabel (4.3), diketahui mempunyai karakteristik *standart inverse*. Maka untuk penyetelan arus dan waktunya dapat dihitung sebagai berikut :

##### 4.4.1.1 Penyetelan Arus

Untuk menentukan nilai setelan arus rele arus lebih yang terpasang pada sisi penyulang, dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di penyulang Junrejo. Menurut data sekunder dari APJ Malang, dapat dilihat pada tabel di lampiran II.5, arus beban maksimum yang mengalir di penyulang Junrejo sebesar 101 A, sehingga dapat dihitung penyetelan arus pada bagian primer dan sekunder menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut :

- Penyetelan Arus Pada Bagian Primer

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times 101 \text{ A} \\ &= 106,05 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan arus pada bagian primer menunjukkan bahwa, jika terdapat arus gangguan hubung singkat dengan nilai sama dengan atau lebih besar dari 106,05 A, maka rele arus lebih disisi penyulang akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan PMT untuk bekerja. Akan tetapi jika terdapat arus gangguan hubung singkat kurang dari 106,05 A, maka rele arus lebih disisi penyulang tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

- Penyetelan Arus Pada Bagian Sekunder

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= 106,05 \times \frac{5}{400} \\ &= 1,33 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.4.1.2 Penyetelan Arus Instan

Penyetelan arus instan sisi penyulang tergantung pada kapasitas dan arus nominal transformator daya yang terpasang, dapat dilihat pada tabel (4.1) bahwa kapasitas trafo 30 MVA dan untuk mengetahui arus nominal transformator daya yang terpasang, dengan menggunakan persamaan (2.6) sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{n \text{ trafo}} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} \\ &= \frac{30000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= 866,03 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, dapat dihitung arus instan pada sisi penyulang dengan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan}} &= 2,4 \times I_{n \text{ trafo}} \\ &= 2,4 \times 866,03 \text{ A} \\ &= 2078,472 \text{ A} \end{aligned}$$

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Sekunder

Dengan menggunakan persamaan (2.3) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan sekunder}} &= \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \\ &= \frac{2078,472 \text{ A}}{106,05 \text{ A}} \\ &= 19,65 \text{ A.} \end{aligned}$$

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Primer

Dengan menggunakan persamaan (2.7) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan primer}} &= I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \\ &= 19,65 \text{ A} \times 106,05 \text{ A} \\ &= 2084 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan waktu: 40 milidetik.



#### 4.4.1.3 Penyetelan Waktu

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi penyulang yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Arus gangguan ini diambil sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih disisi penyulang dengan rele arus lebih disisi masukan 20 kV. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan  $t : 0,3$  detik. Keputusan ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (*inrush current*) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukan, dengan memanfaatkan persamaan (2.12), didapat perhitungan sebagai berikut :

$$\text{TMS} = \frac{\left[ \left( \frac{6327,84}{106,05} \right)^{0,02} \right]^{-1}}{0,14} \times 0,3$$

$$\text{TMS} = 0,1826$$

Sedangkan arus gangguan yang dipilih untuk menentukan waktu kerja pada gangguan tiga fasa yang terjadi dipenyulang adalah dimulai dari lokasi 44% panjang penyulang, karena lokasi tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang, sehingga mempunyai setelan invers. Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{2051,73}{106,05} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1826$$

$$= 0,4188 \text{ detik}$$

Untuk waktu kerja yang dipilih pada gangguan antar fasa pada penyulang dimulai dari lokasi 12% panjang penyulang, karena lokasi tersebut berada diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang. Dengan menggunakan persamaan (2.11) dapat dihitung sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{2058,27}{106,05} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1826$$

$$= 0,4183 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama maka untuk setelan waktu kerja rele arus lebih untuk lokasi diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang pada arus gangguan hubung singkat tiga dan antar fasa yang terjadi, dapat dilihat pada tabel dilampiran I.6.

#### 4.4.2 Penyetelan di Sisi Masukan 20 kV

Untuk setelan rele arus lebih yang terpasang di masukan 20 kV menurut data sekunder pada tabel (4.2) diketahui mempunyai karakteristik *standart inverse*. Maka untuk penyetelan arus dan waktu rele arus lebih sisi masukan 20 kV dapat dihitung sebagai berikut :

##### 4.4.2.1 Penyetelan Arus

Untuk menentukan nilai setelan arus rele arus lebih yang terpasang pada sisi masukan 20 kV harus terlebih dahulu dihitung nilai arus nominal transformator daya yang digunakan, dengan menggunakan data pada tabel (4.1) kedalam persamaan (2.6) didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{n \text{ trafo}} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} \\ &= \frac{30000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= 866,03 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, sehingga dapat dihitung penyetelan arus pada bagian primer dan sekundernya sisi masukan 20 kV dengan menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut :

- Penyetelan Arus Pada Bagian Primer

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times 866,03 \text{ A} \\ &= 909,3315 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan arus pada bagian primer menunjukkan bahwa, jika terdapat arus gangguan hubung singkat dengan nilai sama dengan atau lebih besar dari 909,3315 A, maka rele arus lebih disisi masukan 20 kV akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan PMT untuk bekerja. Akan tetapi jika terdapat arus gangguan hubung

singkat kurang dari 909,3315 A, maka rele arus lebih disisi masukan 20 kV tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

- Penyetelan Arus Pada Bagian Sekunder

$$\begin{aligned} I_{\text{set sekunder}} &= 909,3315 \times \frac{5}{2000} \\ &= 2,27 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.4.2.2 Penyetelan Arus Instan

Penyetelan arus instan pada sisi masukan 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{instan}} &= 4 \times I_{\text{n trafo}} \\ &= 4 \times 866,03 \text{ A} \\ &= 3464,12 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari perhitungan arus instan pada sisi masukan 20 kV, sehingga dapat dihitung penyetelan arus instan pada bagian sekunder dan primer dengan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.7) sebagai berikut :

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Sekunder

$$\begin{aligned} I_{\text{instansekunder}} &= \frac{I_{\text{instan}}}{I_{\text{set primer}}} \\ &= \frac{3464,12 \text{ A}}{909,3315 \text{ A}} \\ &= 3,85 \text{ A} \end{aligned}$$

- Penyetelan Arus Instan Pada Bagian Primer

$$\begin{aligned} I_{\text{instan primer}} &= I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \\ &= 3,85 \text{ A} \times 909,3315 \text{ A} \\ &= 3500,93 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan waktu: 80 milidetik.

#### 4.4.2.3 Penyetelan Waktu

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi masukan 20 kV yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja sisi masukan 20 kV didapat dengan waktu kerja rele disisi hilir +0,4 detik. Dengan menggunakan persamaan (2.12) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{TMS} = \frac{\left[ \left( \frac{6327,84}{909,3315} \right)^{0,02} \right] - 1}{0,14} \times 0,7$$

$$\text{TMS} = 0,1978$$

Sedangkan arus gangguan yang dipilih untuk menentukan waktu kerja pada gangguan tiga fasa yang terjadi dipenyulang adalah dimulai dari lokasi 18% panjang penyulang, karena lokasi tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, sehingga mempunyai setelan invers. Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{3476,03}{909,3315} \right)^{0,02} \right] - 1} \times 0,1978$$

$$= 1,0188 \text{ detik}$$

Untuk waktu kerja yang dipilih pada gangguan antar fasa pada penyulang dimulai dari lokasi 0% panjang penyulang, karena besar gangguan antar fasa yang terjadi dipenyulang tidak terdapat arus yang melebihi arus instan sisi masukan 20 kV, sehingga bisa dikatakan pada arus gangguan antar fasa dipenyulang tidak terdapat daerah instan untuk setelan rele arus lebih sisi masukan 20 kV. Dengan menggunakan persamaan (2.11) dapat dihitung sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14}{\left[ \left( \frac{3163,92}{909,3315} \right)^{0,02} \right] - 1} \times 0,1978$$

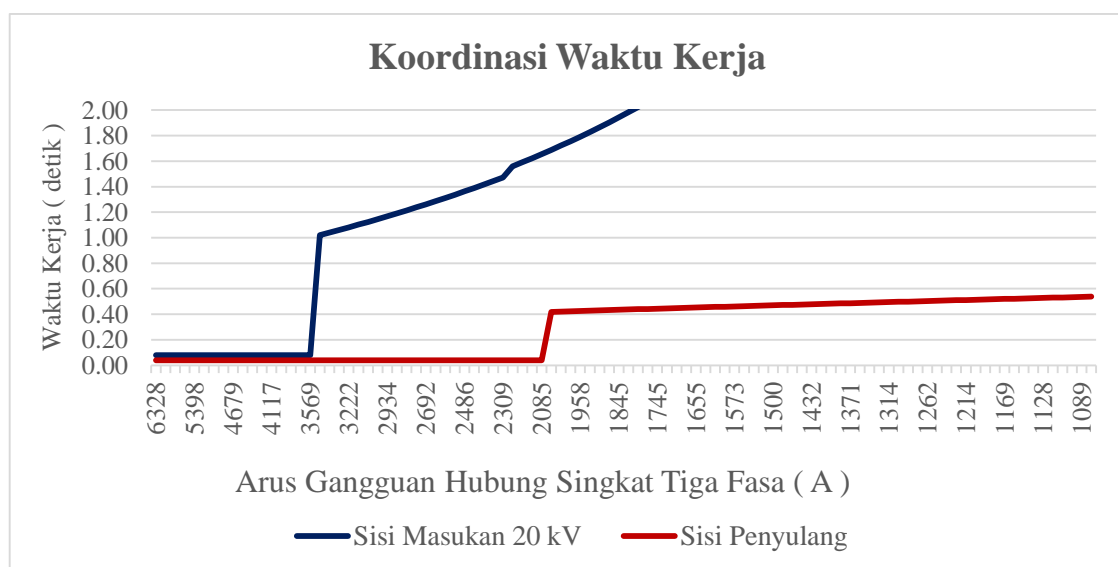
$$= 1,0968 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama maka untuk setelan waktu kerja rele arus lebih untuk lokasi diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk arus gangguan hubung singkat tiga dan antar fasa yang terjadi, dapat dilihat pada tabel dilampiran I.7.

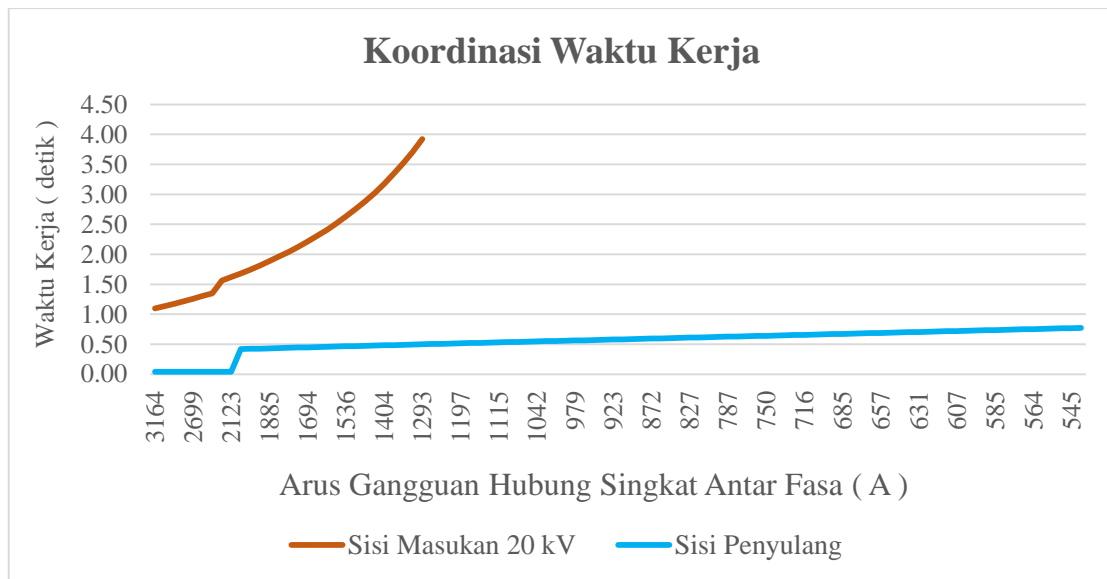
#### 4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade

Berdasarkan penyetelan waktu yang telah didapat, maka dapat diketahui koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yaitu semakin jauh dari sumber tenaga maka penyetelan waktunya semakin lama. Selisih waktu kerja untuk pemutusan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa antara rele arus lebih sisi masukan dan sisi penyulang 20 kV dapat dilihat pada tabel di lampiran I.8.

Dari tabel pada lampiran I.8 dapat digambarkan grafik karakteristik penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa disisi masukan dan penyulang 20 kV yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Koodinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.



Gambar 4.6 Grafik Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade Saat Terjadi Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Dari gambar 4.5 dan 4.6 di atas dapat dilihat bahwa terdapat selang waktu antara rele arus lebih sisi masukan dan sisi penyulang 20 kV, ini menunjukkan bahwa sudah memenuhi kriteria koordinasi, maksudnya dengan adanya selang waktu tersebut maka rele arus lebih sisi masukan dan sisi penyulang 20 kV tidak akan bekerja secara bersamaan. Rele arus lebih pada sisi penyulang mempunyai waktu kerja yang lebih cepat dari rele arus lebih disisi masukan 20 kV. Penyetelan ini dimaksudkan agar rele arus lebih disisi masukan 20 kV (hulu) sebagai pengaman cadangan memberi kesempatan rele arus lebih disisi penyulang (hilir) sebagai pengaman utama bekerja terlebih dahulu pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga ataupun antar fasa dipenyulang.

Dari tabel pada lampiran I.8 dapat juga dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. Rele Arus Lebih Sisi Penyulang

- Untuk Arus Gangguan Tiga Fasa

Pada arus gangguan antara 1080-2052 A rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ( $I>$ ), sedangkan jika terjadi gangguan sebesar 2052 A lebih maka rele arus lebih akan bekerja dengan setelan instan ( $I>>$ ).

- Untuk Arus Gangguan Antar Fasa

Pada arus gangguan antara 540-2058 A rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ( $I>$ ), sedangkan jika terjadi gangguan sebesar 2058 A lebih maka rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan instan ( $I>>$ ).

## 2. Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV

- Untuk Arus Gangguan Tiga Fasa

Pada arus gangguan antara 1080-3476 A rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ( $I>$ ), sedangkan jika terjadi gangguan sebesar 3476 A lebih maka rele arus lebih akan bekerja dengan setelan instan ( $I>>$ ).

- Untuk Arus Gangguan Antar Fasa

Karena arus gangguan antar fasa tidak terdapat arus yang melebihi arus instan sebesar 3501 A, maka rele arus lebih akan bekerja sesuai dengan setelan invers ( $I>$ ).

Apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada busbar 20 kV, yang termasuk dalam daerah instan maka rele arus lebih masukan 20 kV bekerja sesuai dengan setelan instan dengan waktu 80 milidetik, dan untuk gangguan antar fasa yang terjadi pada busbar 20 kV, tidak terjadi arus gangguan hubung singkat yang melebihi arus instan, sehingga rele arus lebih sisi masukan 20 kV mempunyai setelan invers.

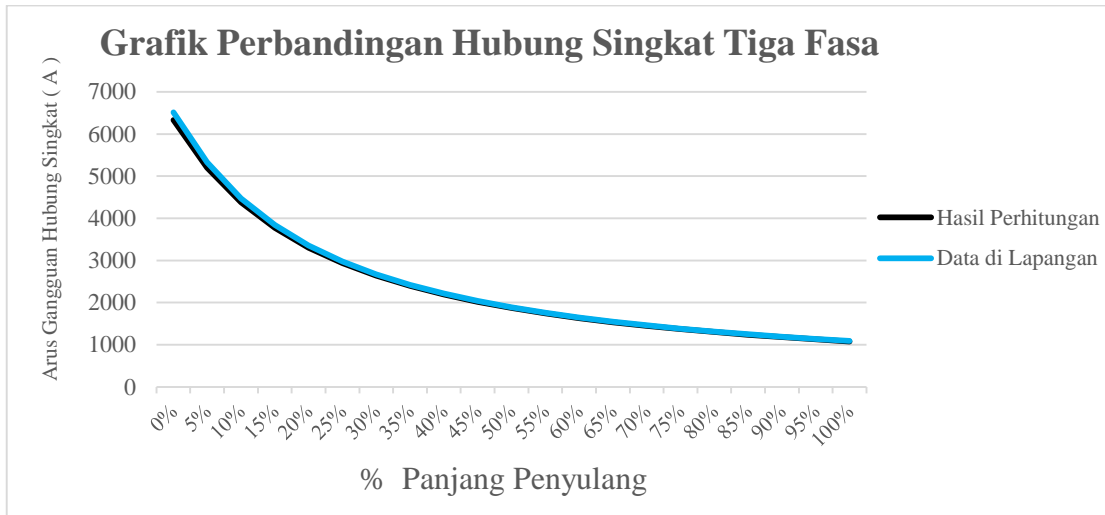
Apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga maupun antar fasa di sisi penyulang yang termasuk dalam daerah instan, maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja dengan setelan instan dengan waktu 40 milidetik, namun jika PMT penyulang gagal bekerja maka tCBF akan mengirim sinyal pemutusan ke rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk segera bekerja dengan waktu tunda 0,1 detik.

## 4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data di Lapangan

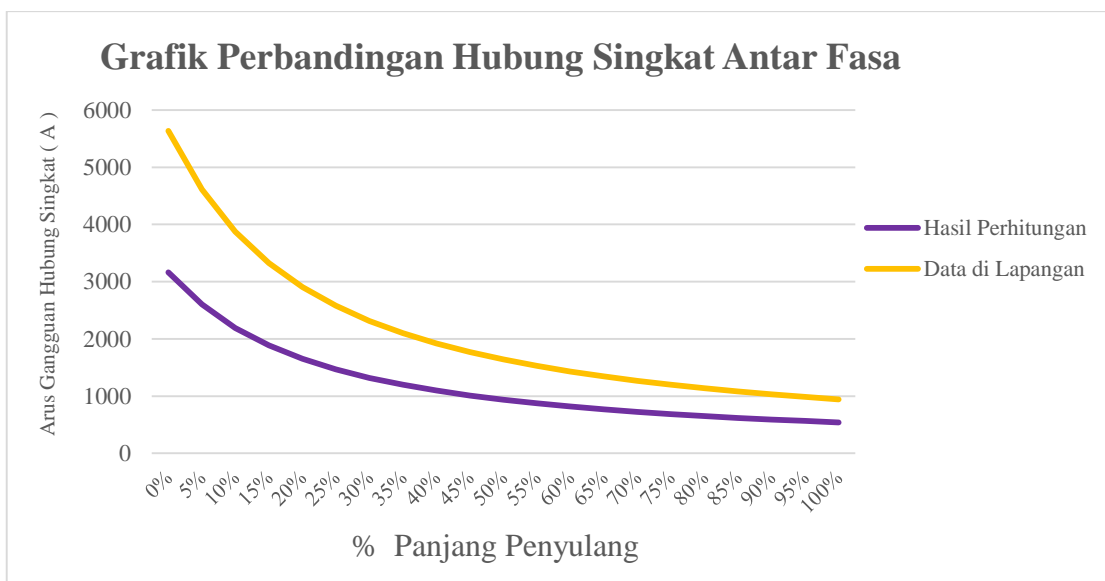
### 4.6.1 Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dengan Data di Lapangan

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.5 dan data arus gangguan hubung singkat di lapangan yang ditunjukkan pada tabel di lampiran II.1 terlihat adanya perbedaan, hal ini dikarenakan adanya sistem perhitungan yang berbeda maka arus hubung singkat data di lapangan lebih besar jika dibandingkan dengan arus hubung singkat hasil perhitungan. Adapun perbedaan ini disebabkan karena sistem perhitungan arus hubung singkat data di lapangan tidak memperhatikan perubahan nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi 150 kV yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi yang menjadi suplai Gardu Induk Sengkaling Malang, impedansi transformator daya yang dipakai dalam perhitungan

tidak sesuai dengan papan nama yang terdapat di transformator daya III Gardu Induk Sengkaling Malang, dan juga tidak memperhatikan penambahan panjang penyulang yang mengakibatkan perubahan arus dan impedansi sistem.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan



#### 4.6.2 Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan

Tabel 4.4 Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Terpasang di Lapangan.

| Lokasi Rele Arus Lebih                            | Penyetelan yang Terpasang di Lapangan | Penyetelan Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade |
|---|---------------------------------------|---|
| Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV<br>CT : 2000/5 | I > : 1000 A<br>TMS : 0,2 (SI)        | I > : 909,3315 A<br>TMS : 0,1978 (SI)       |
|   | I >> : tidak diterapkan               | I >> : 3500,93 A<br>t : 80 milidetik        |
| Rele Arus Lebih Sisi Penyulang<br>CT : 400/5      | I > : 320 A<br>TMS : 0,05 (SI)        | I > : 106,05 A<br>TMS : 0,1826 (SI)         |
|   | I >> : 2000 A<br>t : instan           | I >> : 2084 A<br>t : 40 milidetik           |

Berdasarkan dari tabel (4.4) diatas tampak perbedaan cara penyetelan untuk masing-masing penyetelan rele arus lebih. Untuk penyetelan rele arus lebih yang terpasang di Gardu Induk Sengkaling saat ini, arus instan disisi masukan 20 kV tidak diterapkan, namun untuk pola non kaskade setelan arus instan disisi masukan 20 kV diterapkan sehingga dapat mencapai selektifitas sistem proteksi yang baik.

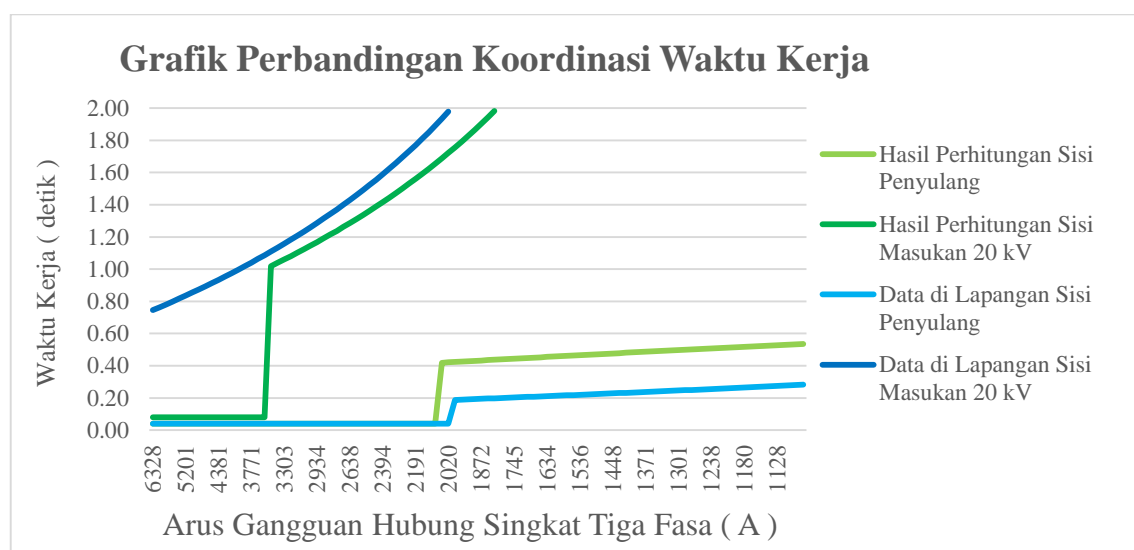
Adapula perbedaan setelan arus antara setelan di lapangan dan hasil perhitungan. Pada sisi masukan 20 kV, setelan dilapangan lebih besar dari hasil perhitungan, hal tersebut karena setelan di lapangan telah dibulatkan sesuai dengan range setelan arus sesuai dengan jenis rele arus lebih yang digunakan, begitupun sebaliknya penyetelan arus hasil perhitungan pada sisi penyulang lebih kecil dari yang terpasang di lapangan, hal ini dikarenakan penyetelan arus yang terpasang di lapangan menggunakan arus nominal transformator arus atau kemampuan hantar arus (KHA) penghantar yang digunakan, sedangkan untuk hasil perhitungan menggunakan arus beban maksimum yang mengalir pada penyulang sehingga tampak dari segi penyetelan arus jauh berbeda.

Perbedaan perhitungan arus gangguan hubung singkat dan penyetelan arus antara hasil perhitungan dan setelan di lapangan mengakibatkan penyetelan TMS yang di set kan ke rele arus lebih sebagai konstanta pun berbeda. Selain itu adapun perbedaan

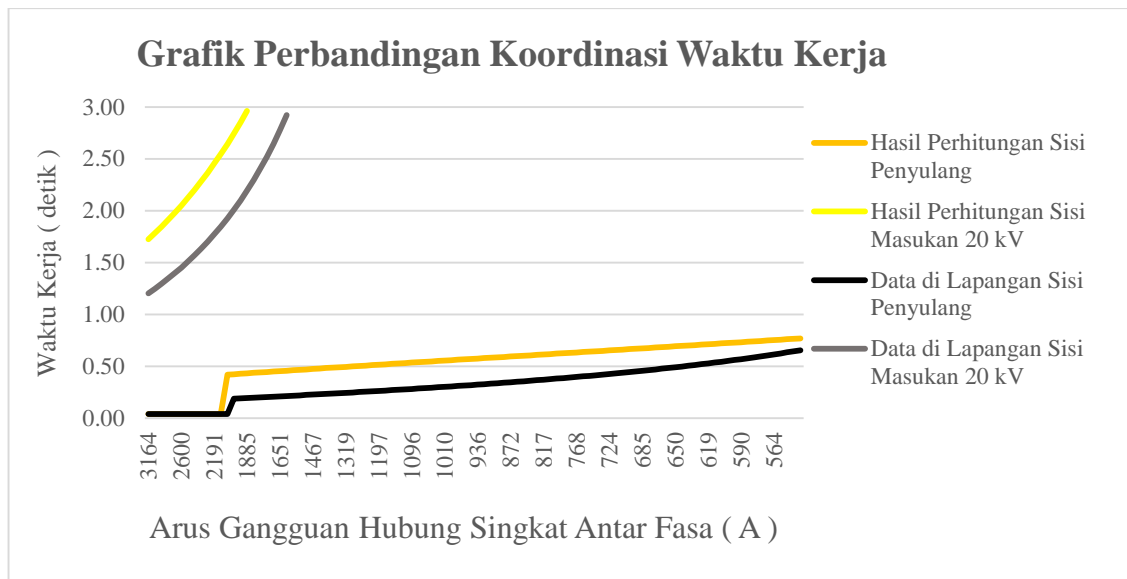
penyetelan TMS di lapangan dan hasil perhitungan yaitu dari penentuan lokasi terjadinya gangguan sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV dan dari awal penentuan waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang diinginkan untuk beroperasi. Untuk arus gangguan hubung singkat yang dipilih sebagai titik koordinasi rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV di lapangan yaitu arus gangguan hubung singkat antar fasa di busbar 20 kV sedangkan hasil perhitungan menggunakan arus gangguan hubung singkat tiga fasa di busbar 20 kV. Untuk awal penentuan waktu kerja rele arus lebih yang diinginkan untuk beroperasi, pada penyetelan sisi penyulang hasil perhitungan ditetapkan 0,3 detik, keputusan ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (*inrush current*) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukan, sedangkan penyetelan rele arus lebih yang terpasang di lapangan 0,15 detik. Sedangkan penyetelan sisi masukan 20 kV hasil perhitungan sebesar 0,7 detik dan yang diterpasang di lapangan sebesar 0,8 detik.

Dari tabel 4.4 dapat diketahui perbandingan koordinasi rele arus lebih yang terpasang di lapangan dan hasil perhitungan saat terjadi gangguan tiga fasa dan antar fasa, yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.9.

Dari tabel pada lampiran I.9 dapat digambarkan grafik koordinasi rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang terpasang dilapangan dan hasil perhitungan pada saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Koordinasi Waktu Kerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapangan.

Dari grafik perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV hasil perhitungan dengan yang terpasang di lapangan yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10 diatas terlihat adanya perbedaan, hal ini dikarenakan adanya perbedaan-perbedaan yang telah dijelaskan diatas. Untuk koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang diterpasang di lapangan tidak sesuai dengan ketentuan PLN sedangkan hasil perhitungan telah memenuhi ketentuan PLN yaitu selisih waktu kerja antara rele arus lebih sisi penyulang sebagai pengaman utama dan rele arus lebih sisi masukan 20 kV sebagai pengaman cadangan adalah 0,4-0,5 detik,

Untuk mengetahui perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV dilapangan, diasumsikan apabila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dipenyulang sebesar 3569 A maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja dengan setelan instan, namun jika rele arus lebih sisi penyulang gagal bekerja maka pemutusan gangguan dilakukan oleh rele arus lebih sisi masukan 20 kV dengan waktu 1,0864 detik. Sedangkan koordinasi rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, jika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dipenyulang sebesar 3569 A maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja dengan setelan instan, namun jika rele arus lebih sisi penyulang gagal bekerja maka tCBF akan mengirim sinyal pemutusan ke rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk segera bekerja dengan waktu tunda 0,1 detik.

#### 4.6.3 Perbandingan Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan yang Terpasang di Lapangan

Untuk mengetahui tingkat kinerja rele dihitung dengan jumlah rele yang bekerja di daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Tingkat kinerja rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga sekitar 90-99%. Diasumsikan banyaknya gangguan yang terjadi pada penyulang sebanyak titik lokasi gangguan dan setiap titik lokasi gangguan terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa jadi jumlah gangguan yang terjadi disepanjang penyulang sebanyak 200 kali.

Berdasarkan tabel di lampiran I.10 waktu kerja rele arus lebih yang terpasang di lapangan saat terjadi gangguan hubung singkat tiga maupun antar fasa dapat dijelaskan sebagai berikut, pada saat terjadi arus gangguan tiga fasa dipenyulang yang merupakan gangguan di luar daerah instan dan bekerja sesuai dengan penyetelan invers, waktu untuk pemutusan gangguannya dibawah setelah minimumnya yaitu kurang dari 0,3 detik, bila terjadi gangguan dengan arus di bawah setelan dengan waktu singkat (< 0,3 detik) kemungkinan rele arus lebih tidak beroperasi. Jadi dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi gangguan arus hubung singkat tiga fasa diluar daerah instan sepanjang saluran terdapat kemungkinan untuk tidak beroperasi. Untuk waktu kerja rele arus lebih sisi penyulang saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa terdapat juga waktu kerja rele arus lebih dibawah setelan minimum yaitu jika terjadi arus gangguan hubung singkat sebesar 2052-4000 A.

Terdapat pula faktor kegagalan rele arus lebih sisi penyulang untuk menghilangkan gangguan yang terjadi adalah karena *accuracy limit* CT sebesar 4000 A, jadi jika terjadi arus ganggung hubung singkat melewati *accuracy limit* CT (< 4000 A) maka rele arus lebih sisi penyulang tidak beroperasi karena CT tidak dapat mengukur besaran arus yang mengalir secara akurat, sedangkan rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja karena batas *accuracy limit* CT 10 kA s/d 20 kA dan akan memberikan perintah PMT masukan 20 kV beroperasi. Dari penjelasan diatas jadi dapat diketahui rele arus lebih yang dapat bekerja dengan sempurna ketika terjadi gangguan arus hubung singkat tiga dan antar fasa disepanjang penyulang sebanyak 102 kali, sehingga dapat diketahui nilai tingkat kinerja rele arus lebih yang terpasang di lapangan saat ini sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Keandalan rele arus lebih di lapangan} &= \frac{102}{200} \times 100\% \\ &= 51\% \end{aligned}$$

Sedangkan untuk tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade jika diterapkan di Gardu Induk Sengkaling Malang dapat dilihat pada lampiran I.11. Ketika terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa di penyulang diluar daerah instan maka rele arus lebih sisi penyulang mempunyai setelan invers yang melebihi waktu minimum kerja rele arus lebih, jadi ketika terjadi gangguan hubung singkat dipenyulang akan dapat dihilangkan oleh rele arus lebih sisi penyulang. Untuk waktu kerja rele arus lebih sisi penyulang saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa juga didapat waktu melebihi waktu minimum rele arus lebih, jadi jika terjadi arus hubung singkat antar fasa disepanjang penyulang maka rele arus lebih sisi penyulang akan dapat menghilangkan gangguan tersebut. Kejadian yang dapat menyebabkan kegagalan rele arus lebih sisi penyulang yang terpasang dilapangan, yaitu jika terjadi arus gangguan hubung singkat di penyulang melewati *accuracy limit* CT (< 4000 A) maka rele arus lebih sisi penyulang tidak beroperasi, juga dapat dirasakan oleh rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Jadi dapat diketahui rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang dapat bekerja dengan sempurna saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa disepanjang penyulang sebanyak 187 kali, sehingga dapat diketahui nilai tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade, yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Keandalan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade} &= \frac{187}{200} \times 100 \% \\ &= 93,5\% \end{aligned}$$

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis koordinasi rele arus lebih pada masukan dan penyulang 20 kV menggunakan pola non kaskade di Gardu Induk Sengkaling Malang yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya arus gangguan hubung singkat bergantung pada jarak titik gangguan dari sumber. Semakin jauh letak gangguan hubung singkat dari sumber, maka semakin kecil pula arus yang ditimbulkan. Gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terbesar terjadi di busbar 20 kV, sedangkan gangguan terkecil berada pada ujung penyulang. Untuk gangguan tiga fasa, arus hubung singkat terbesar adalah 6327.84 A dan yang terkecil adalah 1080.08 A, sedangkan untuk gangguan antar fasa, arus hubung singkat terbesar adalah 3163.92 A dan yang terkecil adalah 540.04 A. Arus hubung singkat antar fasa nilainya lebih kecil dari arus gangguan hubung singkat tiga fasa ( $I_{hs\ 2\phi} < I_{hs\ 3\phi}$ ).
2. Penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade yang didapat dari hasil perhitungan adalah sebagai berikut, untuk penyetelan rele arus lebih di sisi masukan 20 kV, penyetelan arus primer: 909,3315 A dan sekunder: 2,27 A, untuk penyetelan arus instan primer: 3500,93 A dan sekunder: 3,85 A dan waktu kerja instan sebesar 80 milidetik, TMS sebesar 0,1978. Sedangkan untuk rele arus lebih disisi penyulang, penyetelan arus primer: 106,05 A dan sekunder: 1,33 A, penyetelan arus instan primer: 2084 A sekunder: 19,65 A dan waktu kerja instan sebesar 40 milidetik untuk, TMS sebesar 0,1826.
3. Tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade lebih baik daripada rele arus lebih yang terpasang di Gardu Induk Sengkaling Malang. Nilai tingkat kinerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade jika diterapkan di Gardu Induk Sengkaling Malang mencapai 93,5%.

## 5.2 **Saran**

1. Karena sistem proteksi dengan menggunakan pola non kaskade memiliki selektifitas dan waktu pemutusan gangguan yang lebih baik, maka perlu dilakukan realisasi penerapan pola non kaskade ini pada sistem proteksi penyulang-penyulang di Gardu Induk yang lain.
2. Penelitian ini masih menggunakan alat manual yaitu kalkulator dan software manual yaitu Microsoft Excel 2010, sebaiknya penelitian selanjutnya menggunakan Matlab.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brata, Roby Danu. 2007. *Perbandingan Sistem Proteksi Kaskade dan Non Kaskade pada Transformator Tenaga 150/20 kV di Gardu Induk Rungkut*. Skripsi. Surabaya: Institut Sepuluh November.
- British BS 142-1966 Standart*
- GEC Alsthom. 1987. *Protective Relays Application Guide*. England: Stafford.
- Gonen, Turan. 1987. *Electrical Power Distribution System Engineering*. New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- Gonen, Turan. 1988. *Modern Power System Analysis*. California: John Wiley & Sons Inc.
- Hewitson, L.G., dkk. 2004. *Practical Power System Protection*. USA: Elsevier Ltd.
- Hutauruk, Tumpak S. 1991. *Pentanahan Titik Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Horowitz, Stanley H. dan Phadke, Arum G. 2008. *Power System Relaying 3<sup>rd</sup> Edition*. England: John Wiley and Sons.
- IEC 60255-3
- IEEE Std. C37.100. 1992. *IEEE Guide for Liquid-immersed Transformer Through-Fault-Current Duration*. USA: IEEE Inc.
- IEEE Standart 242-1986. *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System*”,
- Khalik, Abdul. 2000. *Analisis Penerapan Rele Arus Lebih Pola Non Kaskade pada Transformator Daya 150/20 kV Sistem Penyulang 20 kv di GI Gondangwetan Pasuruan*. Skripsi. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Network Protection & Automation guide Alsthom*.
- NFPA 70E. 2003. *Electrical Safety Requirements for Employee Workplace 2003 Edition*.
- Pandjaitan, Bonar. 2012. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Prévé, Christophe. 2006. *Protection of Elektrical Network*. Great Britain. United States: ISTE Ltd.
- PT. PLN (Persero). 1998. *Kesepakatan Bersama Koordinasi Sistem Proteksi Trafo Penyulang 20 kV*.
- PT. PLN (Persero). 2012. *Kesepakatan Bersama Koordinasi Sistem Proteksi Trafo Penyulang 20 kV*.
- Ravindranath, B. 1976. *Power System Protection and Switchgear*. Singapore: John Wiley & Sons.



- Saksomo, Setiyo. Tanpa Tahun. *Diktat Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Unsri.
- Sarimun N., Wahyudi. 2008. *Proteksi dan Power Quality*, workshop operasi dan Pemeliharaan Distribusi. PT. PLN Pusdiklat.
- Sarimun N., Wahyudi. September 2011. *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua*. Depok: Garamond.
- Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond.
- Stevenson, Jr., William D. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Stevenson, Jr. William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Cetakan kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Schneider Electric. 2008. *Sepam Series 20 User's Manual*.
- Sleva, Anthony F. 2009. *Protective Relay Principles*. USA: CRC Press.
- Sunil, S. Rao. 1980. *Switch Gear and Protection*. India: Khanna Publishers.
- Ximenes Guterres, Nelson. Tanpa tahun. *Analisa Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV di Dili Timor-Leste Menggunakan Metode Non Kaskade*. Jurnal Skripsi. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.

# **LAMPIRAN I**

## **TABEL HASIL PERHITUNGAN**

## Lampiran I.1

Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Penyulang Urutan Positif, Negatif dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Impedansi Penyulang (pu) |                         |                         |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  | $Z_{1\text{penyulang}}$  | $Z_{2\text{penyulang}}$ | $Z_{0\text{penyulang}}$ |
| 0%                                       | 0                        | 0                       | 0                       |
| 1%                                       | 0.0037 + j 0.0057        | 0.0037 + j 0.0057       | 0.0063 + j 0.0280       |
| 2%                                       | 0.0075 + j 0,0114        | 0.0075 + j 0,0114       | 0.0126 + j 0.0560       |
| 3%                                       | 0.0112 + j 0.0172        | 0.0112 + j 0.0172       | 0.0189 + j 0.0840       |
| 4%                                       | 0.0150 + j 0.0229        | 0.0150 + j 0.0229       | 0.0251 + j 0.1121       |
| 5%                                       | 0.0187 + j 0.0286        | 0.0187 + j 0.0286       | 0.0314 + j 0.1401       |
| 6%                                       | 0.0225 + j 0.0343        | 0.0225 + j 0.0343       | 0.0377 + j 0.1681       |
| 7%                                       | 0.0262 + j 0.0401        | 0.0262 + j 0.0401       | 0.0440 + j 0.1961       |
| 8%                                       | 0.0299 + j 0.0458        | 0.0299 + j 0.0458       | 0.0503 + j 0.2241       |
| 9%                                       | 0.0337 + j 0.0515        | 0.0337 + j 0.0515       | 0.0566 + j 0.2521       |
| 10%                                      | 0.0374 + j 0.0572        | 0.0374 + j 0.0572       | 0.0629 + j 0.2801       |
| 11%                                      | 0.0412 + j 0.0629        | 0.0412 + j 0.0629       | 0.0692 + j 0.3082       |
| 12%                                      | 0.0449 + j 0.0687        | 0.0449 + j 0.0687       | 0.0754 + j 0.3362       |
| 13%                                      | 0.0487 + j 0.0744        | 0.0487 + j 0.0744       | 0.0817 + j 0.3642       |
| 14%                                      | 0.0524 + j 0.0801        | 0.0524 + j 0.0801       | 0.0880 + j 0.3922       |
| 15%                                      | 0.0561 + j 0.0858        | 0.0561 + j 0.0858       | 0.0943 + j 0.4202       |
| 16%                                      | 0.0599 + j 0.0916        | 0.0599 + j 0.0916       | 0.1006 + j 0.4482       |
| 17%                                      | 0.0636 + j 0.0973        | 0.0636 + j 0.0973       | 0.1069 + j 0.4762       |
| 18%                                      | 0.0674 + j 0.1030        | 0.0674 + j 0.1030       | 0.1132+ j 0.5042        |
| 19%                                      | 0.0711 + j 0.1087        | 0.0711 + j 0.1087       | 0.1194 + j 0.5323       |
| 20%                                      | 0.0749 + j 0.1144        | 0.0749 + j 0.1144       | 0.1257 + j 0.5603       |
| 21%                                      | 0.0786 + j 0.1202        | 0.0786 + j 0.1202       | 0.1320 + j 0.5883       |
| 22%                                      | 0.0824 + j 0.1259        | 0.0824 + j 0.1259       | 0.1383 + j 0.6163       |
| 23%                                      | 0.0861 + j 0.1316        | 0.0861 + j 0.1316       | 0.1446 + j 0.6443       |
| 24%                                      | 0.0898 + j 0.1373        | 0.0898 + j 0.1373       | 0.1509 + j 0.6723       |
| 25%                                      | 0.0936 + j 0.1431        | 0.0936 + j 0.1431       | 0.1572 + j 0.7003       |
| 26%                                      | 0.0973 + j 0.1488        | 0.0973 + j 0.1488       | 0.1635 + j 0.7284       |
| 27%                                      | 0.1011 + j 0.1545        | 0.1011 + j 0.1545       | 0.1697 + j 0.7564       |
| 28%                                      | 0.1048 + j 0.1602        | 0.1048 + j 0.1602       | 0.1760 + j 0.7844       |
| 29%                                      | 0.1086 + j 0.1659        | 0.1086 + j 0.1659       | 0.1823 + j 0.8124       |
| 30%                                      | 0.1123 + j 0.1717        | 0.1123 + j 0.1717       | 0.1886 + j 0.8404       |
| 31%                                      | 0.1160 + j 0.1774        | 0.1160 + j 0.1774       | 0.1949 + j 0.8684       |
| 32%                                      | 0.1198 + j 0.1831        | 0.1198 + j 0.1831       | 0.2012 + j 0.8964       |
| 33%                                      | 0.1235 + j 0.1888        | 0.1235 + j 0.1888       | 0.2075 + j 0.9245       |
| 34%                                      | 0.1273 + j 0.1946        | 0.1273 + j 0.1946       | 0.2137 + j 0.9525       |

## Lanjutan Lampiran I.1

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Impedansi Penyulang (pu) |                         |                         |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  | $Z_{1\text{penyulang}}$  | $Z_{2\text{penyulang}}$ | $Z_{0\text{penyulang}}$ |
| 35%                                      | 0.1310 + j 0.2003        | 0.1310 + j 0.2003       | 0.2200 + j 0.9805       |
| 36%                                      | 0.1348 + j 0.2060        | 0.1348 + j 0.2060       | 0.2263 + j 1.0085       |
| 37%                                      | 0.1385 + j 0.2117        | 0.1385 + j 0.2117       | 0.2326 + j 1.0365       |
| 38%                                      | 0.1422 + j 0.2174        | 0.1422 + j 0.2174       | 0.2389 + j 1.0645       |
| 39%                                      | 0.1460 + j 0.2232        | 0.1460 + j 0.2232       | 0.2452 + j 1.0925       |
| 40%                                      | 0.1497 + j 0.2289        | 0.1497 + j 0.2289       | 0.2515 + j 1.1205       |
| 41%                                      | 0.1535 + j 0.2346        | 0.1535 + j 0.2346       | 0.2578 + j 1.1486       |
| 42%                                      | 0.1572 + j 0.2403        | 0.1572 + j 0.2403       | 0.2640 + j 1.1766       |
| 43%                                      | 0.1610 + j 0.2461        | 0.1610 + j 0.2461       | 0.2703 + j 1.2046       |
| 44%                                      | 0.1647 + j 0.2518        | 0.1647 + j 0.2518       | 0.2766 + j 1.2326       |
| 45%                                      | 0.1684 + j 0.2575        | 0.1684 + j 0.2575       | 0.2829 + j 1.2606       |
| 46%                                      | 0.1722 + j 0.2632        | 0.1722 + j 0.2632       | 0.2892 + j 1.2886       |
| 47%                                      | 0.1759 + j 0.2689        | 0.1759 + j 0.2689       | 0.2955 + j 1.3166       |
| 48%                                      | 0.1797 + j 0.2747        | 0.1797 + j 0.2747       | 0.3018 + j 1.3447       |
| 49%                                      | 0.1834 + j 0.2804        | 0.1834 + j 0.2804       | 0.3080 + j 1.3727       |
| 50%                                      | 0.1872 + j 0.2861        | 0.1872 + j 0.2861       | 0.3143 + j 1.4007       |
| 51%                                      | 0.1909 + j 0.2918        | 0.1909 + j 0.2918       | 0.3206 + j 1.4287       |
| 52%                                      | 0.1946 + j 0.2976        | 0.1946 + j 0.2976       | 0.3269 + j 1.4567       |
| 53%                                      | 0.1984 + j 0.3033        | 0.1984 + j 0.3033       | 0.3332 + j 1.4847       |
| 54%                                      | 0.2021 + j 0.3090        | 0.2021 + j 0.3090       | 0.3395 + j 1.5127       |
| 55%                                      | 0.2059 + j 0.3147        | 0.2059 + j 0.3147       | 0.3458 + j 1.5408       |
| 56%                                      | 0.2096 + j 0.3204        | 0.2096 + j 0.3204       | 0.3521 + j 1.5688       |
| 57%                                      | 0.2134 + j 0.3262        | 0.2134 + j 0.3262       | 0.3583 + j 1.5968       |
| 58%                                      | 0.2171 + j 0.3319        | 0.2171 + j 0.3319       | 0.3646 + j 1.6248       |
| 59%                                      | 0.2209 + j 0.3376        | 0.2209 + j 0.3376       | 0.3709 + j 1.6528       |
| 60%                                      | 0.2246 + j 0.3433        | 0.2246 + j 0.3433       | 0.3772 + j 1.6808       |
| 61%                                      | 0.2283 + j 0.3491        | 0.2283 + j 0.3491       | 0.3835 + j 1.7088       |
| 62%                                      | 0.2321 + j 0.3548        | 0.2321 + j 0.3548       | 0.3898 + j 1.7368       |
| 63%                                      | 0.2358 + j 0.3605        | 0.2358 + j 0.3605       | 0.3961 + j 1.7649       |
| 64%                                      | 0.2396 + j 0.3662        | 0.2396 + j 0.3662       | 0.4023 + j 1.7929       |
| 65%                                      | 0.2433 + j 0.3719        | 0.2433 + j 0.3719       | 0.4086 + j 1.8209       |
| 66%                                      | 0.2471 + j 0.3777        | 0.2471 + j 0.3777       | 0.4149 + j 1.8489       |
| 67%                                      | 0.2508 + j 0.3834        | 0.2508 + j 0.3834       | 0.4212 + j 1.8769       |
| 68%                                      | 0.2545 + j 0.3891        | 0.2545 + j 0.3891       | 0.4275 + j 1.9049       |
| 69%                                      | 0.2583 + j 0.3948        | 0.2583 + j 0.3948       | 0.4338 + j 1.9329       |
| 70%                                      | 0.2620 + j 0.4006        | 0.2620 + j 0.4006       | 0.4401 + j 1.9610       |
| 71%                                      | 0.2658 + j 0.4063        | 0.2658 + j 0.4063       | 0.4464 + j 1.9890       |
| 72%                                      | 0.2695 + j 0.4120        | 0.2695 + j 0.4120       | 0.4526 + j 2.0170       |

## Lanjutan Lampiran I.1

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Impedansi Penyulang (pu) |                         |                         |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  | $Z_{1\text{penyulang}}$  | $Z_{2\text{penyulang}}$ | $Z_{0\text{penyulang}}$ |
| 73%                                      | 0.2733 + j 0.4177        | 0.2733 + j 0.4177       | 0.4589 + j 2.0450       |
| 74%                                      | 0.2770 + j 0.4234        | 0.2770 + j 0.4234       | 0.4652 + j 2.0730       |
| 75%                                      | 0.2807 + j 0.4292        | 0.2807 + j 0.4292       | 0.4715 + j 2.1010       |
| 76%                                      | 0.2845 + j 0.4349        | 0.2845 + j 0.4349       | 0.4778 + j 2.1290       |
| 77%                                      | 0.2882 + j 0.4406        | 0.2882 + j 0.4406       | 0.4841 + j 2.1571       |
| 78%                                      | 0.2920 + j 0.4463        | 0.2920 + j 0.4463       | 0.4904 + j 2.1851       |
| 79%                                      | 0.2957 + j 0.4521        | 0.2957 + j 0.4521       | 0.4966 + j 2.2131       |
| 80%                                      | 0.2995 + j 0.4578        | 0.2995 + j 0.4578       | 0.5029 + j 2.2411       |
| 81%                                      | 0.3032 + j 0.4635        | 0.3032 + j 0.4635       | 0.5092 + j 2.2691       |
| 82%                                      | 0.3069 + j 0.4692        | 0.3069 + j 0.4692       | 0.5155 + j 2.2971       |
| 83%                                      | 0.3107 + j 0.4749        | 0.3107 + j 0.4749       | 0.5218 + j 2.3251       |
| 84%                                      | 0.3144 + j 0.4807        | 0.3144 + j 0.4807       | 0.5281 + j 2.3531       |
| 85%                                      | 0.3182 + j 0.4864        | 0.3182 + j 0.4864       | 0.5344 + j 2.3812       |
| 86%                                      | 0.3219 + j 0.4921        | 0.3219 + j 0.4921       | 0.5406 + j 2.4092       |
| 87%                                      | 0.3257 + j 0.4978        | 0.3257 + j 0.4978       | 0.5469 + j 2.4372       |
| 88%                                      | 0.3294 + j 0.5036        | 0.3294 + j 0.5036       | 0.5532 + j 2.4652       |
| 89%                                      | 0.3331 + j 0.5093        | 0.3331 + j 0.5093       | 0.5595 + j 2.4932       |
| 90%                                      | 0.3369 + j 0.5150        | 0.3369 + j 0.5150       | 0.5658 + j 2.5212       |
| 91%                                      | 0.3406 + j 0.5207        | 0.3406 + j 0.5207       | 0.5721 + j 2.5492       |
| 92%                                      | 0.3444 + j 0.5264        | 0.3444 + j 0.5264       | 0.5784 + j 2.5773       |
| 93%                                      | 0.3481 + j 0.5322        | 0.3481 + j 0.5322       | 0.5847 + j 2.6053       |
| 94%                                      | 0.3519 + j 0.5379        | 0.3519 + j 0.5379       | 0.5909 + j 2.6333       |
| 95%                                      | 0.3556 + j 0.5436        | 0.3556 + j 0.5436       | 0.5972 + j 2.6613       |
| 96%                                      | 0.3594 + j 0.5493        | 0.3594 + j 0.5493       | 0.6035 + j 2.6893       |
| 97%                                      | 0.3631 + j 0.5551        | 0.3631 + j 0.5551       | 0.6098 + j 2.7173       |
| 98%                                      | 0.3668 + j 0.5608        | 0.3668 + j 0.5608       | 0.6161 + j 2.7453       |
| 99%                                      | 0.3706 + j 0.5665        | 0.3706 + j 0.5665       | 0.6224 + j 2.7734       |
| 100%                                     | 0.3743 + j 0.5722        | 0.3743 + j 0.5722       | 0.6287 + j 2.8014       |

## Lampiran I.2

Tabel Hasil Perhitungan Impedansi Total Urutan Positif, Negatif, dan Nol Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Impedansi Total (pu)   |                        |                         |
|--|------------------------|------------------------|-------------------------|
|  | $Z_{1total}$           | $Z_{2total}$           | $Z_{0total}$            |
| 0%                                       | 0.1369 $\angle$ 90°    | 0.1369 $\angle$ 90°    | 112.5006 $\angle$ 0.19° |
| 1%                                       | 0.1426 $\angle$ 88.50° | 0.1426 $\angle$ 88.50° | 112.5070 $\angle$ 0.21° |
| 2%                                       | 0.1485 $\angle$ 87.11° | 0.1485 $\angle$ 87.11° | 112.5134 $\angle$ 0.22° |
| 3%                                       | 0.1544 $\angle$ 85.83° | 0.1544 $\angle$ 85.83° | 112.5198 $\angle$ 0.23° |
| 4%                                       | 0.1604 $\angle$ 84.65° | 0.1604 $\angle$ 84.65° | 112.5262 $\angle$ 0.25° |
| 5%                                       | 0.1665 $\angle$ 83.55° | 0.1665 $\angle$ 83.55° | 112.5326 $\angle$ 0.26° |
| 6%                                       | 0.1727 $\angle$ 82.53° | 0.1727 $\angle$ 82.53° | 112.5390 $\angle$ 0.28° |
| 7%                                       | 0.1788 $\angle$ 81.58° | 0.1788 $\angle$ 81.58° | 112.5455 $\angle$ 0.29° |
| 8%                                       | 0.1851 $\angle$ 80.69° | 0.1851 $\angle$ 80.69° | 112.5519 $\angle$ 0.30° |
| 9%                                       | 0.1913 $\angle$ 79.86° | 0.1913 $\angle$ 79.86° | 112.5583 $\angle$ 0.32° |
| 10%                                      | 0.1977 $\angle$ 79.08° | 0.1977 $\angle$ 79.08° | 112.5648 $\angle$ 0.33° |
| 11%                                      | 0.2040 $\angle$ 78.36° | 0.2040 $\angle$ 78.36° | 112.5712 $\angle$ 0.35° |
| 12%                                      | 0.2104 $\angle$ 77.67° | 0.2104 $\angle$ 77.67° | 112.5777 $\angle$ 0.36° |
| 13%                                      | 0.2168 $\angle$ 77.03° | 0.2168 $\angle$ 77.03° | 112.5842 $\angle$ 0.38° |
| 14%                                      | 0.2232 $\angle$ 76.42° | 0.2232 $\angle$ 76.42° | 112.5906 $\angle$ 0.39° |
| 15%                                      | 0.2297 $\angle$ 75.85° | 0.2297 $\angle$ 75.85° | 112.5971 $\angle$ 0.40° |
| 16%                                      | 0.2361 $\angle$ 75.31° | 0.2361 $\angle$ 75.31° | 112.6036 $\angle$ 0.42° |
| 17%                                      | 0.2426 $\angle$ 74.80° | 0.2426 $\angle$ 74.80° | 112.6101 $\angle$ 0.43° |
| 18%                                      | 0.2491 $\angle$ 74.31° | 0.2491 $\angle$ 74.31° | 112.6166 $\angle$ 0.45° |
| 19%                                      | 0.2557 $\angle$ 73.85° | 0.2557 $\angle$ 73.85° | 112.6231 $\angle$ 0.46° |
| 20%                                      | 0.2622 $\angle$ 73.41° | 0.2622 $\angle$ 73.41° | 112.6296 $\angle$ 0.48° |
| 21%                                      | 0.2688 $\angle$ 72.99° | 0.2688 $\angle$ 72.99° | 112.6361 $\angle$ 0.49° |
| 22%                                      | 0.2754 $\angle$ 72.60° | 0.2754 $\angle$ 72.60° | 112.6427 $\angle$ 0.50° |
| 23%                                      | 0.2819 $\angle$ 72.22° | 0.2819 $\angle$ 72.22° | 112.6492 $\angle$ 0.52° |
| 24%                                      | 0.2885 $\angle$ 71.86° | 0.2885 $\angle$ 71.86° | 112.6557 $\angle$ 0.53° |
| 25%                                      | 0.2951 $\angle$ 71.51° | 0.2951 $\angle$ 71.51° | 112.6623 $\angle$ 0.55° |
| 26%                                      | 0.3018 $\angle$ 71.18° | 0.3018 $\angle$ 71.18° | 112.6689 $\angle$ 0.56° |
| 27%                                      | 0.3084 $\angle$ 70.87° | 0.3084 $\angle$ 70.87° | 112.6754 $\angle$ 0.58° |
| 28%                                      | 0.3150 $\angle$ 70.57° | 0.3150 $\angle$ 70.57° | 112.6820 $\angle$ 0.59° |
| 29%                                      | 0.3217 $\angle$ 70.28° | 0.3217 $\angle$ 70.28° | 112.6886 $\angle$ 0.60° |
| 30%                                      | 0.3283 $\angle$ 70.00° | 0.3283 $\angle$ 70.00° | 112.6952 $\angle$ 0.62° |
| 31%                                      | 0.3350 $\angle$ 69.73° | 0.3350 $\angle$ 69.73° | 112.7017 $\angle$ 0.63° |
| 32%                                      | 0.3417 $\angle$ 69.48° | 0.3417 $\angle$ 69.48° | 112.7083 $\angle$ 0.65° |
| 33%                                      | 0.3483 $\angle$ 69.23° | 0.3483 $\angle$ 69.23° | 112.7149 $\angle$ 0.66° |
| 34%                                      | 0.3550 $\angle$ 68.99° | 0.3550 $\angle$ 68.99° | 112.7216 $\angle$ 0.67° |

## Lanjutan Lampiran I.2

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Impedansi Total (pu)   |                        |                         |
|--|------------------------|------------------------|-------------------------|
|  | $Z_{1total}$           | $Z_{2total}$           | $Z_{0total}$            |
| 35%                                      | 0.3617 $\angle$ 68.76° | 0.3617 $\angle$ 68.76° | 112.7282 $\angle$ 0.69° |
| 36%                                      | 0.3684 $\angle$ 68.54° | 0.3684 $\angle$ 68.54° | 112.7348 $\angle$ 0.70° |
| 37%                                      | 0.3751 $\angle$ 68.33° | 0.3751 $\angle$ 68.33° | 112.7414 $\angle$ 0.72° |
| 38%                                      | 0.3818 $\angle$ 68.13° | 0.3818 $\angle$ 68.13° | 112.7481 $\angle$ 0.73° |
| 39%                                      | 0.3885 $\angle$ 67.93° | 0.3885 $\angle$ 67.93° | 112.7547 $\angle$ 0.75° |
| 40%                                      | 0.3952 $\angle$ 67.74° | 0.3952 $\angle$ 67.74° | 112.7614 $\angle$ 0.76° |
| 41%                                      | 0.4019 $\angle$ 67.55° | 0.4019 $\angle$ 67.55° | 112.7680 $\angle$ 0.77° |
| 42%                                      | 0.4086 $\angle$ 67.37° | 0.4086 $\angle$ 67.37° | 112.7747 $\angle$ 0.79° |
| 43%                                      | 0.4154 $\angle$ 67.20° | 0.4154 $\angle$ 67.20° | 112.7814 $\angle$ 0.80° |
| 44%                                      | 0.4221 $\angle$ 67.03° | 0.4221 $\angle$ 67.03° | 112.7881 $\angle$ 0.82° |
| 45%                                      | 0.4288 $\angle$ 66.87° | 0.4288 $\angle$ 66.87° | 112.7948 $\angle$ 0.83° |
| 46%                                      | 0.4356 $\angle$ 66.71° | 0.4356 $\angle$ 66.71° | 112.8015 $\angle$ 0.85° |
| 47%                                      | 0.4423 $\angle$ 66.56° | 0.4423 $\angle$ 66.56° | 112.8082 $\angle$ 0.86° |
| 48%                                      | 0.4490 $\angle$ 66.41° | 0.4490 $\angle$ 66.41° | 112.8149 $\angle$ 0.87° |
| 49%                                      | 0.4558 $\angle$ 66.27° | 0.4558 $\angle$ 66.27° | 112.8216 $\angle$ 0.89° |
| 50%                                      | 0.4625 $\angle$ 66.13° | 0.4625 $\angle$ 66.13° | 112.8283 $\angle$ 0.90° |
| 51%                                      | 0.4693 $\angle$ 66.00° | 0.4693 $\angle$ 66.00° | 112.8350 $\angle$ 0.92° |
| 52%                                      | 0.4760 $\angle$ 65.86° | 0.4760 $\angle$ 65.86° | 112.8418 $\angle$ 0.93° |
| 53%                                      | 0.4828 $\angle$ 65.74° | 0.4828 $\angle$ 65.74° | 112.8485 $\angle$ 0.94° |
| 54%                                      | 0.4895 $\angle$ 65.61° | 0.4895 $\angle$ 65.61° | 112.8553 $\angle$ 0.96° |
| 55%                                      | 0.4963 $\angle$ 65.49° | 0.4963 $\angle$ 65.49° | 112.8620 $\angle$ 0.97° |
| 56%                                      | 0.5031 $\angle$ 65.37° | 0.5031 $\angle$ 65.37° | 112.8688 $\angle$ 0.99° |
| 57%                                      | 0.5098 $\angle$ 65.26° | 0.5098 $\angle$ 65.26° | 112.8756 $\angle$ 1.00° |
| 58%                                      | 0.5166 $\angle$ 65.15° | 0.5166 $\angle$ 65.15° | 112.8823 $\angle$ 1.02° |
| 59%                                      | 0.5234 $\angle$ 65.04° | 0.5234 $\angle$ 65.04° | 112.8891 $\angle$ 1.03° |
| 60%                                      | 0.5301 $\angle$ 64.93° | 0.5301 $\angle$ 64.93° | 112.8959 $\angle$ 1.04° |
| 61%                                      | 0.5369 $\angle$ 64.83° | 0.5369 $\angle$ 64.83° | 112.9027 $\angle$ 1.06° |
| 62%                                      | 0.5437 $\angle$ 64.73° | 0.5437 $\angle$ 64.73° | 112.9095 $\angle$ 1.07° |
| 63%                                      | 0.5504 $\angle$ 64.63° | 0.5504 $\angle$ 64.63° | 112.9163 $\angle$ 1.09° |
| 64%                                      | 0.5572 $\angle$ 64.54° | 0.5572 $\angle$ 64.54° | 112.9232 $\angle$ 1.10° |
| 65%                                      | 0.5640 $\angle$ 64.44° | 0.5640 $\angle$ 64.44° | 112.9300 $\angle$ 1.11° |
| 66%                                      | 0.5708 $\angle$ 64.35° | 0.5708 $\angle$ 64.35° | 112.9368 $\angle$ 1.13° |
| 67%                                      | 0.5775 $\angle$ 64.26° | 0.5775 $\angle$ 64.26° | 112.9437 $\angle$ 1.14° |
| 68%                                      | 0.5843 $\angle$ 64.18° | 0.5843 $\angle$ 64.18° | 112.9505 $\angle$ 1.16° |
| 69%                                      | 0.5911 $\angle$ 64.09° | 0.5911 $\angle$ 64.09° | 112.9574 $\angle$ 1.17° |
| 70%                                      | 0.5979 $\angle$ 64.01° | 0.5979 $\angle$ 64.01° | 112.9642 $\angle$ 1.18° |
| 71%                                      | 0.6047 $\angle$ 63.93° | 0.6047 $\angle$ 63.93° | 112.9711 $\angle$ 1.20° |
| 72%                                      | 0.6115 $\angle$ 63.85° | 0.6115 $\angle$ 63.85° | 112.9780 $\angle$ 1.21° |

## Lanjutan Lampiran I.2

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Impedansi Total (pu)   |                        |                         |
|--|------------------------|------------------------|-------------------------|
|  | $Z_{1total}$           | $Z_{2total}$           | $Z_{0total}$            |
| 73%                                      | 0.6182 $\angle$ 63.77° | 0.6182 $\angle$ 63.77° | 112.9848 $\angle$ 1.23° |
| 74%                                      | 0.6250 $\angle$ 63.69° | 0.6250 $\angle$ 63.69° | 112.9917 $\angle$ 1.24° |
| 75%                                      | 0.6318 $\angle$ 63.62° | 0.6318 $\angle$ 63.62° | 112.9986 $\angle$ 1.26° |
| 76%                                      | 0.6386 $\angle$ 63.55° | 0.6386 $\angle$ 63.55° | 113.0055 $\angle$ 1.27° |
| 77%                                      | 0.6454 $\angle$ 63.48° | 0.6454 $\angle$ 63.48° | 113.0124 $\angle$ 1.28° |
| 78%                                      | 0.6522 $\angle$ 63.41° | 0.6522 $\angle$ 63.41° | 113.0194 $\angle$ 1.30° |
| 79%                                      | 0.6590 $\angle$ 63.34° | 0.6590 $\angle$ 63.34° | 113.0263 $\angle$ 1.31° |
| 80%                                      | 0.6658 $\angle$ 63.27° | 0.6658 $\angle$ 63.27° | 113.0332 $\angle$ 1.33° |
| 81%                                      | 0.6726 $\angle$ 63.20° | 0.6726 $\angle$ 63.20° | 113.0401 $\angle$ 1.34° |
| 82%                                      | 0.6794 $\angle$ 63.14° | 0.6794 $\angle$ 63.14° | 113.0471 $\angle$ 1.35° |
| 83%                                      | 0.6862 $\angle$ 63.08° | 0.6862 $\angle$ 63.08° | 113.0540 $\angle$ 1.37° |
| 84%                                      | 0.6930 $\angle$ 63.02° | 0.6930 $\angle$ 63.02° | 113.0610 $\angle$ 1.38° |
| 85%                                      | 0.6998 $\angle$ 62.06° | 0.6998 $\angle$ 62.06° | 113.0680 $\angle$ 1.40° |
| 86%                                      | 0.7066 $\angle$ 62.90° | 0.7066 $\angle$ 62.90° | 113.0749 $\angle$ 1.41° |
| 87%                                      | 0.7134 $\angle$ 62.84° | 0.7134 $\angle$ 62.84° | 113.0819 $\angle$ 1.43° |
| 88%                                      | 0.7202 $\angle$ 62.78° | 0.7202 $\angle$ 62.78° | 113.0889 $\angle$ 1.44° |
| 89%                                      | 0.7270 $\angle$ 62.72° | 0.7270 $\angle$ 62.72° | 113.0959 $\angle$ 1.45° |
| 90%                                      | 0.7338 $\angle$ 62.67° | 0.7338 $\angle$ 62.67° | 113.1029 $\angle$ 1.47° |
| 91%                                      | 0.7406 $\angle$ 62.62° | 0.7406 $\angle$ 62.62° | 113.1099 $\angle$ 1.48° |
| 92%                                      | 0.7474 $\angle$ 62.56° | 0.7474 $\angle$ 62.56° | 113.1169 $\angle$ 1.50° |
| 93%                                      | 0.7542 $\angle$ 62.51° | 0.7542 $\angle$ 62.51° | 113.1239 $\angle$ 1.51° |
| 94%                                      | 0.7610 $\angle$ 62.46° | 0.7610 $\angle$ 62.46° | 113.1309 $\angle$ 1.52° |
| 95%                                      | 0.7678 $\angle$ 62.41° | 0.7678 $\angle$ 62.41° | 113.1380 $\angle$ 1.54° |
| 96%                                      | 0.7746 $\angle$ 62.36° | 0.7746 $\angle$ 62.36° | 113.1450 $\angle$ 1.55° |
| 97%                                      | 0.7814 $\angle$ 62.31° | 0.7814 $\angle$ 62.31° | 113.1521 $\angle$ 1.57° |
| 98%                                      | 0.7882 $\angle$ 62.26° | 0.7882 $\angle$ 62.26° | 113.1591 $\angle$ 1.58° |
| 99%                                      | 0.7950 $\angle$ 62.22° | 0.7950 $\angle$ 62.22° | 113.1662 $\angle$ 1.59° |
| 100%                                     | 0.8018 $\angle$ 62.17° | 0.8018 $\angle$ 62.17° | 113.1732 $\angle$ 1.61° |



### Lampiran I.3

Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa<br>(Ampere) |
|--|--|
| 0%                                       | 6327.84  |
| 1%                                       | 6071.79  |
| 2%                                       | 5832.10  |
| 3%                                       | 5607.70  |
| 4%                                       | 5397.53  |
| 5%                                       | 5200.56  |
| 6%                                       | 5015.80  |
| 7%                                       | 4842.33  |
| 8%                                       | 4679.31  |
| 9%                                       | 4525.92  |
| 10%                                      | 4381.43  |
| 11%                                      | 4245.18  |
| 12%                                      | 4116.54  |
| 13%                                      | 3994.95  |
| 14%                                      | 3879.89  |
| 15%                                      | 3770.88  |
| 16%                                      | 3667.49  |
| 17%                                      | 3569.33  |
| 18%                                      | 3476.03  |
| 19%                                      | 3387.25  |
| 20%                                      | 3302.70  |
| 21%                                      | 3222.10  |
| 22%                                      | 3145.18  |
| 23%                                      | 3071.71  |
| 24%                                      | 3001.47  |
| 25%                                      | 2934.26  |
| 26%                                      | 2869.90  |
| 27%                                      | 2808.22  |
| 28%                                      | 2749.05  |
| 29%                                      | 2692.26  |
| 30%                                      | 2637.70  |
| 31%                                      | 2585.25  |
| 32%                                      | 2534.80  |
| 33%                                      | 2486.23  |
| 34%                                      | 2439.44  |

### Lanjutan Lampiran I.3

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa<br>(Ampere) |
|--|--|
| 35%                                      | 2394.34  |
| 36%                                      | 2350.85  |
| 37%                                      | 2308.87  |
| 38%                                      | 2268.34  |
| 39%                                      | 2229.18  |
| 40%                                      | 2191.32  |
| 41%                                      | 2154.70  |
| 42%                                      | 2119.27  |
| 43%                                      | 2084.97  |
| 44%                                      | 2051.73  |
| 45%                                      | 2019.53  |
| 46%                                      | 1988.31  |
| 47%                                      | 1958.02  |
| 48%                                      | 1928.63  |
| 49%                                      | 1900.09  |
| 50%                                      | 1872.38  |
| 51%                                      | 1845.45  |
| 52%                                      | 1819.28  |
| 53%                                      | 1793.83  |
| 54%                                      | 1769.07  |
| 55%                                      | 1744.98  |
| 56%                                      | 1721.53  |
| 57%                                      | 1698.70  |
| 58%                                      | 1676.45  |
| 59%                                      | 1654.78  |
| 60%                                      | 1633.65  |
| 61%                                      | 1613.05  |
| 62%                                      | 1592.96  |
| 63%                                      | 1573.36  |
| 64%                                      | 1554.23  |
| 65%                                      | 1535.55  |
| 66%                                      | 1517.32  |
| 67%                                      | 1499.51  |
| 68%                                      | 1482.11  |
| 69%                                      | 1465.10  |
| 70%                                      | 1448.48  |
| 71%                                      | 1432.23  |
| 72%                                      | 1416.33  |

**Lanjutan Lampiran I.3**

| <b>Lokasi Gangguan<br/>(% Panjang Penyulang)</b> | <b>Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa<br/>(Ampere)</b> |
|--|--|
| 73%  | 1400.78  |
| 74%  | 1385.57  |
| 75%  | 1370.68  |
| 76%  | 1356.11  |
| 77%  | 1341.84  |
| 78%  | 1327.87  |
| 79%  | 1314.18  |
| 80%  | 1300.77  |
| 81%  | 1287.63  |
| 82%  | 1274.75  |
| 83%  | 1262.12  |
| 84%  | 1249.74  |
| 85%  | 1237.60  |
| 86%  | 1225.69  |
| 87%  | 1214.01  |
| 88%  | 1202.54  |
| 89%  | 1191.29  |
| 90%  | 1180.25  |
| 91%  | 1169.41  |
| 92%  | 1158.77  |
| 93%  | 1148.31  |
| 94%  | 1138.05  |
| 95%  | 1127.96  |
| 96%  | 1118.05  |
| 97%  | 1108.31  |
| 98%  | 1098.74  |
| 99%  | 1089.33  |
| 100%   | 1080.08  |

**Lampiran I.4**

Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan.

| <b>Lokasi Gangguan<br/>(% Panjang Penyulang)</b> | <b>Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa<br/>(Ampere)</b> |
|--|---|
| 0%   | 3163.92   |
| 1%   | 3035.90   |
| 2%   | 2916.05   |
| 3%   | 2803.85   |
| 4%   | 2698.77   |
| 5%   | 2600.28   |
| 6%   | 2507.90   |
| 7%   | 2421.17   |
| 8%   | 2339.65   |
| 9%   | 2262.96   |
| 10%  | 2190.72   |
| 11%  | 2122.59   |
| 12%  | 2058.27   |
| 13%  | 1997.48   |
| 14%  | 1939.94   |
| 15%  | 1885.44   |
| 16%  | 1833.75   |
| 17%  | 1784.66   |
| 18%  | 1738.01   |
| 19%  | 1693.63   |
| 20%  | 1651.35   |
| 21%  | 1611.05   |
| 22%  | 1572.59   |
| 23%  | 1535.85   |
| 24%  | 1500.74   |
| 25%  | 1467.13   |
| 26%  | 1434.95   |
| 27%  | 1404.11   |
| 28%  | 1374.53   |
| 29%  | 1346.13   |
| 30%  | 1318.85   |
| 31%  | 1292.63   |
| 32%  | 1267.40   |
| 33%  | 1243.11   |
| 34%  | 1219.72   |
|  |   |

### Lanjutan Lampiran I.4

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa<br>(Ampere) |
|--|---|
| 35%                                      | 1197.17   |
| 36%                                      | 1175.42   |
| 37%                                      | 1154.43   |
| 38%                                      | 1134.17   |
| 39%                                      | 1114.59   |
| 40%                                      | 1095.66   |
| 41%                                      | 1077.35   |
| 42%                                      | 1059.64   |
| 43%                                      | 1042.48   |
| 44%                                      | 1025.87   |
| 45%                                      | 1009.77   |
| 46%                                      | 994.15  |
| 47%                                      | 979.01  |
| 48%                                      | 964.31  |
| 49%                                      | 950.05  |
| 50%                                      | 936.19  |
| 51%                                      | 922.73  |
| 52%                                      | 909.64  |
| 53%                                      | 896.91  |
| 54%                                      | 884.54  |
| 55%                                      | 872.49  |
| 56%                                      | 860.77  |
| 57%                                      | 849.35  |
| 58%                                      | 838.23  |
| 59%                                      | 827.39  |
| 60%                                      | 816.83  |
| 61%                                      | 806.53  |
| 62%                                      | 796.48  |
| 63%                                      | 786.68  |
| 64%                                      | 777.11  |
| 65%                                      | 767.78  |
| 66%                                      | 758.66  |
| 67%                                      | 749.75  |
| 68%                                      | 741.05  |
| 69%                                      | 732.55  |
| 70%                                      | 724.24  |
| 71%                                      | 716.11  |
| 72%                                      | 708.17  |
| 73%                                      | 700.39  |

#### Lanjutan Lampiran I.4

| <b>Lokasi Gangguan<br/>(% Panjang Penyulang)</b> | <b>Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa<br/>(Ampere)</b> |
|--|---|
| 74%  | 692.79  |
| 75%  | 685.34  |
| 76%  | 678.06  |
| 77%  | 670.92  |
| 78%  | 663.93  |
| 79%  | 657.09  |
| 80%  | 650.38  |
| 81%  | 643.81  |
| 82%  | 637.37  |
| 83%  | 631.06  |
| 84%  | 624.87  |
| 85%  | 618.80  |
| 86%  | 612.85  |
| 87%  | 607.00  |
| 88%  | 601.27  |
| 89%  | 595.65  |
| 90%  | 590.13  |
| 91%  | 584.71  |
| 92%  | 579.38  |
| 93%  | 574.16  |
| 94%  | 569.02  |
| 95%  | 563.98  |
| 96%  | 559.02  |
| 97%  | 554.16  |
| 98%  | 549.37  |
| 99%  | 544.67  |
| 100%   | 540.04  |

### Lampiran I.5

Tabel Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Menurut Titik Lokasi Terjadinya Gangguan.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus Hubung Singkat (Ampere) |            |
|--|---------------|------------------------------|------------|
|  |               | Tiga Fasa                    | Antar Fasa |
| 0%                                       | 0             | 6327.84                      | 3163.92    |
| 1%                                       | 0.231         | 6071.79                      | 3035.90    |
| 2%                                       | 0.462         | 5832.10                      | 2916.05    |
| 3%                                       | 0.693         | 5607.70                      | 2803.85    |
| 4%                                       | 0.923         | 5397.53                      | 2698.77    |
| 5%                                       | 1.154         | 5200.56                      | 2600.28    |
| 6%                                       | 1.385         | 5015.80                      | 2507.90    |
| 7%                                       | 1.616         | 4842.33                      | 2421.17    |
| 8%                                       | 1.847         | 4679.31                      | 2339.65    |
| 9%                                       | 2.078         | 4525.92                      | 2262.96    |
| 10%                                      | 2.309         | 4381.43                      | 2190.72    |
| 11%                                      | 2.539         | 4245.18                      | 2122.59    |
| 12%                                      | 2.770         | 4116.54                      | 2058.27    |
| 13%                                      | 3.001         | 3994.95                      | 1997.48    |
| 14%                                      | 3.232         | 3879.89                      | 1939.94    |
| 15%                                      | 3.463         | 3770.88                      | 1885.44    |
| 16%                                      | 3.694         | 3667.49                      | 1833.75    |
| 17%                                      | 3.924         | 3569.33                      | 1784.66    |
| 18%                                      | 4.155         | 3476.03                      | 1738.01    |
| 19%                                      | 4.386         | 3387.25                      | 1693.63    |
| 20%                                      | 4.617         | 3302.70                      | 1651.35    |
| 21%                                      | 4.848         | 3222.10                      | 1611.05    |
| 22%                                      | 5.079         | 3145.18                      | 1572.59    |
| 23%                                      | 5.310         | 3071.71                      | 1535.85    |
| 24%                                      | 5.540         | 3001.47                      | 1500.74    |
| 25%                                      | 5.771         | 2934.26                      | 1467.13    |
| 26%                                      | 6.002         | 2869.90                      | 1434.95    |
| 27%                                      | 6.233         | 2808.22                      | 1404.11    |
| 28%                                      | 6.464         | 2749.05                      | 1374.53    |
| 29%                                      | 6.695         | 2692.26                      | 1346.13    |
| 30%                                      | 6.926         | 2637.70                      | 1318.85    |
| 31%                                      | 7.156         | 2585.25                      | 1292.63    |
| 32%                                      | 7.387         | 2534.80                      | 1267.40    |
| 33%                                      | 7.618         | 2486.23                      | 1243.11    |
| 34%                                      | 7.849         | 2439.44                      | 1219.72    |

**Lanjutan Lampiran I.5**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus Hubung Singkat (Ampere) |            |
|--|---------------|------------------------------|------------|
|  |               | Tiga Fasa                    | Antar Fasa |
| 35%                                      | 8.080         | 2394.34                      | 1197.17    |
| 36%                                      | 8.311         | 2350.85                      | 1175.42    |
| 37%                                      | 8.541         | 2308.87                      | 1154.43    |
| 38%                                      | 8.772         | 2268.34                      | 1134.17    |
| 39%                                      | 9.003         | 2229.18                      | 1114.59    |
| 40%                                      | 9.234         | 2191.32                      | 1095.66    |
| 41%                                      | 9.465         | 2154.70                      | 1077.35    |
| 42%                                      | 9.696         | 2119.27                      | 1059.64    |
| 43%                                      | 9.927         | 2084.97                      | 1042.48    |
| 44%                                      | 10.157        | 2051.73                      | 1025.87    |
| 45%                                      | 10.388        | 2019.53                      | 1009.77    |
| 46%                                      | 10.619        | 1988.31                      | 994.15     |
| 47%                                      | 10.850        | 1958.02                      | 979.01     |
| 48%                                      | 11.081        | 1928.63                      | 964.31     |
| 49%                                      | 11.312        | 1900.09                      | 950.05     |
| 50%                                      | 11.543        | 1872.38                      | 936.19     |
| 51%                                      | 11.773        | 1845.45                      | 922.73     |
| 52%                                      | 12.004        | 1819.28                      | 909.64     |
| 53%                                      | 12.235        | 1793.83                      | 896.91     |
| 54%                                      | 12.466        | 1769.07                      | 884.54     |
| 55%                                      | 12.697        | 1744.98                      | 872.49     |
| 56%                                      | 12.928        | 1721.53                      | 860.77     |
| 57%                                      | 13.158        | 1698.70                      | 849.35     |
| 58%                                      | 13.389        | 1676.45                      | 838.23     |
| 59%                                      | 13.620        | 1654.78                      | 827.39     |
| 60%                                      | 13.851        | 1633.65                      | 816.83     |
| 61%                                      | 14.082        | 1613.05                      | 806.53     |
| 62%                                      | 14.313        | 1592.96                      | 796.48     |
| 63%                                      | 14.544        | 1573.36                      | 786.68     |
| 64%                                      | 14.774        | 1554.23                      | 777.11     |
| 65%                                      | 15.005        | 1535.55                      | 767.78     |
| 66%                                      | 15.236        | 1517.32                      | 758.66     |
| 67%                                      | 15.467        | 1499.51                      | 749.75     |
| 68%                                      | 15.698        | 1482.11                      | 741.05     |
| 69%                                      | 15.929        | 1465.10                      | 732.55     |
| 70%                                      | 16.160        | 1448.48                      | 724.24     |
| 71%                                      | 16.390        | 1432.23                      | 716.11     |
| 72%                                      | 16.621        | 1416.33                      | 708.17     |



### Lanjutan Lampiran I.5

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus Hubung Singkat (Ampere) |            |
|--|---------------|------------------------------|------------|
|  |               | Tiga Fasa                    | Antar Fasa |
| 73%                                      | 16.852        | 1400.78                      | 700.39     |
| 74%                                      | 17.083        | 1385.57                      | 692.79     |
| 75%                                      | 17.314        | 1370.68                      | 685.34     |
| 76%                                      | 17.545        | 1356.11                      | 678.06     |
| 77%                                      | 17.775        | 1341.84                      | 670.92     |
| 78%                                      | 18.006        | 1327.87                      | 663.93     |
| 79%                                      | 18.237        | 1314.18                      | 657.09     |
| 80%                                      | 18.468        | 1300.77                      | 650.38     |
| 81%                                      | 18.699        | 1287.63                      | 643.81     |
| 82%                                      | 18.930        | 1274.75                      | 637.37     |
| 83%                                      | 19.161        | 1262.12                      | 631.06     |
| 84%                                      | 19.391        | 1249.74                      | 624.87     |
| 85%                                      | 19.622        | 1237.60                      | 618.80     |
| 86%                                      | 19.853        | 1225.69                      | 612.85     |
| 87%                                      | 20.084        | 1214.01                      | 607.00     |
| 88%                                      | 20.315        | 1202.54                      | 601.27     |
| 89%                                      | 20.546        | 1191.29                      | 595.65     |
| 90%                                      | 20.777        | 1180.25                      | 590.13     |
| 91%                                      | 21.007        | 1169.41                      | 584.71     |
| 92%                                      | 21.238        | 1158.77                      | 579.38     |
| 93%                                      | 21.469        | 1148.31                      | 574.16     |
| 94%                                      | 21.700        | 1138.05                      | 569.02     |
| 95%                                      | 21.931        | 1127.96                      | 563.98     |
| 96%                                      | 22.162        | 1118.05                      | 559.02     |
| 97%                                      | 22.392        | 1108.31                      | 554.16     |
| 98%                                      | 22.623        | 1098.74                      | 549.37     |
| 99%                                      | 22.854        | 1089.33                      | 544.67     |
| 100%                                     | 23.085        | 1080.08                      | 540.04     |

## Lampiran I.6

Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Penyulang.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Waktu Kerja di Sisi Penyulang (detik) |            |
|--|---------------------------------------|------------|
|  | Tiga Fasa                             | Antar Fasa |
| 0%                                       | instan                                | instan     |
| 1%                                       | instan                                | instan     |
| 2%                                       | instan                                | instan     |
| 3%                                       | instan                                | instan     |
| 4%                                       | instan                                | instan     |
| 5%                                       | instan                                | instan     |
| 6%                                       | instan                                | instan     |
| 7%                                       | instan                                | instan     |
| 8%                                       | instan                                | instan     |
| 9%                                       | instan                                | instan     |
| 10%                                      | instan                                | instan     |
| 11%                                      | instan                                | instan     |
| 12%                                      | instan                                | 0.4183     |
| 13%                                      | instan                                | 0.4227     |
| 14%                                      | instan                                | 0.4271     |
| 15%                                      | instan                                | 0.4315     |
| 16%                                      | instan                                | 0.4358     |
| 17%                                      | instan                                | 0.4401     |
| 18%                                      | instan                                | 0.4444     |
| 19%                                      | instan                                | 0.4487     |
| 20%                                      | instan                                | 0.4529     |
| 21%                                      | instan                                | 0.4571     |
| 22%                                      | instan                                | 0.4613     |
| 23%                                      | instan                                | 0.4655     |
| 24%                                      | instan                                | 0.4697     |
| 25%                                      | instan                                | 0.4739     |
| 26%                                      | instan                                | 0.4780     |
| 27%                                      | instan                                | 0.4821     |
| 28%                                      | instan                                | 0.4862     |
| 29%                                      | instan                                | 0.4903     |
| 30%                                      | instan                                | 0.4944     |
| 31%                                      | instan                                | 0.4985     |
| 32%                                      | instan                                | 0.5026     |
| 33%                                      | instan                                | 0.5066     |
| 34%                                      | instan                                | 0.5106     |
| 35%                                      | instan                                | 0.5147     |

**Lanjutan Lampiran I.6**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Waktu Kerja di Sisi Penyulang (detik) |            |
|--|---------------------------------------|------------|
|  | Tiga Fasa                             | Antar Fasa |
| 36%                                      | instan                                | 0.5187     |
| 37%                                      | instan                                | 0.5227     |
| 38%                                      | instan                                | 0.5267     |
| 39%                                      | instan                                | 0.5307     |
| 40%                                      | instan                                | 0.5347     |
| 41%                                      | instan                                | 0.5387     |
| 42%                                      | instan                                | 0.5426     |
| 43%                                      | instan                                | 0.5466     |
| 44%                                      | 0.4188                                | 0.5505     |
| 45%                                      | 0.4211                                | 0.5545     |
| 46%                                      | 0.4234                                | 0.5584     |
| 47%                                      | 0.4257                                | 0.5624     |
| 48%                                      | 0.4280                                | 0.5663     |
| 49%                                      | 0.4303                                | 0.5703     |
| 50%                                      | 0.4325                                | 0.5742     |
| 51%                                      | 0.4348                                | 0.5781     |
| 52%                                      | 0.4370                                | 0.5821     |
| 53%                                      | 0.4393                                | 0.5860     |
| 54%                                      | 0.4415                                | 0.5899     |
| 55%                                      | 0.4437                                | 0.5938     |
| 56%                                      | 0.4460                                | 0.5977     |
| 57%                                      | 0.4482                                | 0.6017     |
| 58%                                      | 0.4504                                | 0.6056     |
| 59%                                      | 0.4526                                | 0.6095     |
| 60%                                      | 0.4547                                | 0.6134     |
| 61%                                      | 0.4569                                | 0.6173     |
| 62%                                      | 0.4591                                | 0.6212     |
| 63%                                      | 0.4613                                | 0.6252     |
| 64%                                      | 0.4634                                | 0.6291     |
| 65%                                      | 0.4656                                | 0.6330     |
| 66%                                      | 0.4677                                | 0.6369     |
| 67%                                      | 0.4699                                | 0.6408     |
| 68%                                      | 0.4720                                | 0.6448     |
| 69%                                      | 0.4741                                | 0.6487     |
| 70%                                      | 0.4762                                | 0.6526     |
| 71%                                      | 0.4784                                | 0.6565     |
| 72%                                      | 0.4805                                | 0.6605     |
| 73%                                      | 0.4826                                | 0.6644     |
| 74%                                      | 0.4847                                | 0.6683     |

**Lanjutan Lampiran I.6**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Waktu Kerja di Sisi Penyulang (detik) |            |
|--|---------------------------------------|------------|
|  | Tiga Fasa                             | Antar Fasa |
| 75%                                      | 0.4868                                | 0.6723     |
| 76%                                      | 0.4889                                | 0.6762     |
| 77%                                      | 0.4910                                | 0.6802     |
| 78%                                      | 0.4931                                | 0.6841     |
| 79%                                      | 0.4951                                | 0.6881     |
| 80%                                      | 0.4972                                | 0.6921     |
| 81%                                      | 0.4993                                | 0.6960     |
| 82%                                      | 0.5014                                | 0.7000     |
| 83%                                      | 0.5034                                | 0.7040     |
| 84%                                      | 0.5055                                | 0.7080     |
| 85%                                      | 0.5075                                | 0.7119     |
| 86%                                      | 0.5096                                | 0.7159     |
| 87%                                      | 0.5116                                | 0.7199     |
| 88%                                      | 0.5137                                | 0.7239     |
| 89%                                      | 0.5157                                | 0.7280     |
| 90%                                      | 0.5178                                | 0.7320     |
| 91%                                      | 0.5198                                | 0.7360     |
| 92%                                      | 0.5219                                | 0.7400     |
| 93%                                      | 0.5239                                | 0.7441     |
| 94%                                      | 0.5259                                | 0.7481     |
| 95%                                      | 0.5280                                | 0.7522     |
| 96%                                      | 0.5300                                | 0.7562     |
| 97%                                      | 0.5320                                | 0.7603     |
| 98%                                      | 0.5340                                | 0.7644     |
| 99%                                      | 0.5360                                | 0.7685     |
| 100%                                     | 0.5381                                | 0.7725     |

**Lampiran I.7**

Tabel Hasil Perhitungan Waktu Kerja Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade di Sisi Masukan 20 kV.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Waktu Kerja di Sisi Masukan 20 kV (detik) |            |
|--|---|------------|
|  | Tiga Fasa                                 | Antar Fasa |
| 0%                                       | instan                                    | 1.0968     |
| 1%                                       | instan                                    | 1.1348     |
| 2%                                       | instan                                    | 1.1745     |
| 3%                                       | instan                                    | 1.2159     |
| 4%                                       | instan                                    | 1.2591     |
| 5%                                       | instan                                    | 1.3041     |
| 6%                                       | instan                                    | 1.3511     |
| 7%                                       | instan                                    | 1.4002     |
| 8%                                       | instan                                    | 1.4514     |
| 9%                                       | instan                                    | 1.5050     |
| 10%                                      | instan                                    | 1.5610     |
| 11%                                      | instan                                    | 1.6197     |
| 12%                                      | instan                                    | 1.6812     |
| 13%                                      | instan                                    | 1.7458     |
| 14%                                      | instan                                    | 1.8137     |
| 15%                                      | instan                                    | 1.8851     |
| 16%                                      | instan                                    | 1.9604     |
| 17%                                      | instan                                    | 2.0398     |
| 18%                                      | 1.0188                                    | 2.1238     |
| 19%                                      | 1.0392                                    | 2.2127     |
| 20%                                      | 1.0598                                    | 2.3070     |
| 21%                                      | 1.0808                                    | 2.4073     |
| 22%                                      | 1.1021                                    | 2.5141     |
| 23%                                      | 1.1237                                    | 2.6281     |
| 24%                                      | 1.1458                                    | 2.7500     |
| 25%                                      | 1.1682                                    | 2.8809     |
| 26%                                      | 1.1910                                    | 3.0216     |
| 27%                                      | 1.2142                                    | 3.1734     |
| 28%                                      | 1.2378                                    | 3.3377     |
| 29%                                      | 1.2619                                    | 3.5160     |
| 30%                                      | 1.2864                                    | 3.7104     |
| 31%                                      | 1.3114                                    | 3.9231     |
| 32%                                      | 1.3369                                    | 4.1568     |
| 33%                                      | 1.3629                                    | 4.4149     |
| 34%                                      | 1.3894                                    | 4.7014     |
| 35%                                      | 1.4164                                    | 5.0213     |

**Lanjutan Lampiran I.7**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Waktu Kerja di Sisi Masukan 20 kV (detik) |            |
|--|---|------------|
|  | Tiga Fasa                                 | Antar Fasa |
| 36%                                      | 1.4440                                    | 5.3809     |
| 37%                                      | 1.4722                                    | 5.7882     |
| 38%                                      | 1.5010                                    | 6.2533     |
| 39%                                      | 1.5304                                    | 6.7895     |
| 40%                                      | 1.5605                                    | 7.4147     |
| 41%                                      | 1.5913                                    | 8.1530     |
| 42%                                      | 1.6227                                    | 9.0382     |
| 43%                                      | 1.6549                                    | 10.1193    |
| 44%                                      | 1.6878                                    | 11.4694    |
| 45%                                      | 1.7216                                    | 13.2035    |
| 46%                                      | 1.7562                                    | 15.5128    |
| 47%                                      | 1.7916                                    | 18.7409    |
| 48%                                      | 1.8279                                    | 23.5727    |
| 49%                                      | 1.8651                                    | 31.5992    |
| 50%                                      | 1.9034                                    | 47.5562    |
| 51%                                      | 1.9426                                    | 94.6798    |
| 52%                                      | 1.9829                                    | 4087.7977  |
| 53%                                      | 2.0243                                    | -100.7241  |
| 54%                                      | 2.0669                                    | -50.0998   |
| 55%                                      | 2.1106                                    | -33.4950   |
| 56%                                      | 2.1557                                    | -25.2418   |
| 57%                                      | 2.2020                                    | -20.3052   |
| 58%                                      | 2.2498                                    | -17.0203   |
| 59%                                      | 2.2990                                    | -14.6767   |
| 60%                                      | 2.3497                                    | -12.9206   |
| 61%                                      | 2.4020                                    | -11.5554   |
| 62%                                      | 2.4560                                    | -10.4637   |
| 63%                                      | 2.5118                                    | -9.5707    |
| 64%                                      | 2.5694                                    | -8.8266    |
| 65%                                      | 2.6290                                    | -8.1971    |
| 66%                                      | 2.6907                                    | -7.6574    |
| 67%                                      | 2.7546                                    | -7.1897    |
| 68%                                      | 2.8207                                    | -6.7804    |
| 69%                                      | 2.8893                                    | -6.4192    |
| 70%                                      | 2.9604                                    | -6.0981    |
| 71%                                      | 3.0343                                    | -5.8107    |
| 72%                                      | 3.1111                                    | -5.5519    |
| 73%                                      | 3.1909                                    | -5.3178    |
| 74%                                      | 3.2740                                    | -5.1049    |

**Lanjutan Lampiran I.7**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Waktu Kerja di Sisi Masukan 20 kV (detik) |            |
|--|---|------------|
|  | Tiga Fasa                                 | Antar Fasa |
| 75%                                      | 3.3605                                    | -4.9104    |
| 76%                                      | 3.4508                                    | -4.7320    |
| 77%                                      | 3.5450                                    | -4.5679    |
| 78%                                      | 3.6434                                    | -4.4163    |
| 79%                                      | 3.7463                                    | -4.2759    |
| 80%                                      | 3.8540                                    | -4.1455    |
| 81%                                      | 3.9669                                    | -4.0240    |
| 82%                                      | 4.0854                                    | -3.9105    |
| 83%                                      | 4.2099                                    | -3.8043    |
| 84%                                      | 4.3408                                    | -3.7048    |
| 85%                                      | 4.4787                                    | -3.6111    |
| 86%                                      | 4.6242                                    | -3.5230    |
| 87%                                      | 4.7779                                    | -3.4398    |
| 88%                                      | 4.9406                                    | -3.3613    |
| 89%                                      | 5.1130                                    | -3.2869    |
| 90%                                      | 5.2961                                    | -3.2164    |
| 91%                                      | 5.4909                                    | -3.1495    |
| 92%                                      | 5.6986                                    | -3.0859    |
| 93%                                      | 5.9204                                    | -3.0253    |
| 94%                                      | 6.1580                                    | -2.9676    |
| 95%                                      | 6.4130                                    | -2.9126    |
| 96%                                      | 6.6875                                    | -2.8600    |
| 97%                                      | 6.9837                                    | -2.8097    |
| 98%                                      | 7.3045                                    | -2.7616    |
| 99%                                      | 7.6529                                    | -2.7155    |
| 100%                                     | 8.0328                                    | -2.6713    |

## Lampiran I.8

Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 0%                                       | 0             | 6327.84                                   | instan                   | instan            | 3163.92                                    | 1.0968                   | instan            |
| 1%                                       | 0.231         | 6071.79                                   | instan                   | instan            | 3035.90                                    | 1.1348                   | instan            |
| 2%                                       | 0.462         | 5832.10                                   | instan                   | instan            | 2916.05                                    | 1.1745                   | instan            |
| 3%                                       | 0.693         | 5607.70                                   | instan                   | instan            | 2803.85                                    | 1.2159                   | instan            |
| 4%                                       | 0.923         | 5397.53                                   | instan                   | instan            | 2698.77                                    | 1.2591                   | instan            |
| 5%                                       | 1.154         | 5200.56                                   | instan                   | instan            | 2600.28                                    | 1.3041                   | instan            |
| 6%                                       | 1.385         | 5015.80                                   | instan                   | instan            | 2507.90                                    | 1.3511                   | instan            |
| 7%                                       | 1.616         | 4842.33                                   | instan                   | instan            | 2421.17                                    | 1.4002                   | instan            |
| 8%                                       | 1.847         | 4679.31                                   | instan                   | instan            | 2339.65                                    | 1.4514                   | instan            |
| 9%                                       | 2.078         | 4525.92                                   | instan                   | instan            | 2262.96                                    | 1.5050                   | instan            |
| 10%                                      | 2.309         | 4381.43                                   | instan                   | instan            | 2190.72                                    | 1.5610                   | instan            |
| 11%                                      | 2.539         | 4245.18                                   | instan                   | instan            | 2122.59                                    | 1.6197                   | instan            |
| 12%                                      | 2.770         | 4116.54                                   | instan                   | instan            | 2058.27                                    | 1.6812                   | 0.4183            |
| 13%                                      | 3.001         | 3994.95                                   | instan                   | instan            | 1997.48                                    | 1.7458                   | 0.4227            |
| 14%                                      | 3.232         | 3879.89                                   | instan                   | instan            | 1939.94                                    | 1.8137                   | 0.4271            |
| 15%                                      | 3.463         | 3770.88                                   | instan                   | instan            | 1885.44                                    | 1.8851                   | 0.4315            |



### Lanjutan Lampiran I.8

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 16%                                      | 3.694         | 3667.49                                   | instan                   | instan            | 1833.75                                    | 1.9604                   | 0.4358            |
| 17%                                      | 3.924         | 3569.33                                   | instan                   | instan            | 1784.66                                    | 2.0398                   | 0.4401            |
| 18%                                      | 4.155         | 3476.03                                   | 1.0188                   | instan            | 1738.01                                    | 2.1238                   | 0.4444            |
| 19%                                      | 4.386         | 3387.25                                   | 1.0392                   | instan            | 1693.63                                    | 2.2127                   | 0.4487            |
| 20%                                      | 4.617         | 3302.70                                   | 1.0598                   | instan            | 1651.35                                    | 2.3070                   | 0.4529            |
| 21%                                      | 4.848         | 3222.10                                   | 1.0808                   | instan            | 1611.05                                    | 2.4073                   | 0.4571            |
| 22%                                      | 5.079         | 3145.18                                   | 1.1021                   | instan            | 1572.59                                    | 2.5141                   | 0.4613            |
| 23%                                      | 5.310         | 3071.71                                   | 1.1237                   | instan            | 1535.85                                    | 2.6281                   | 0.4655            |
| 24%                                      | 5.540         | 3001.47                                   | 1.1458                   | instan            | 1500.74                                    | 2.7500                   | 0.4697            |
| 25%                                      | 5.771         | 2934.26                                   | 1.1682                   | instan            | 1467.13                                    | 2.8809                   | 0.4739            |
| 26%                                      | 6.002         | 2869.90                                   | 1.1910                   | instan            | 1434.95                                    | 3.0216                   | 0.4780            |
| 27%                                      | 6.233         | 2808.22                                   | 1.2142                   | instan            | 1404.11                                    | 3.1734                   | 0.4821            |
| 28%                                      | 6.464         | 2749.05                                   | 1.2378                   | instan            | 1374.53                                    | 3.3377                   | 0.4862            |
| 29%                                      | 6.695         | 2692.26                                   | 1.2619                   | instan            | 1346.13                                    | 3.5160                   | 0.4903            |
| 30%                                      | 6.926         | 2637.70                                   | 1.2864                   | instan            | 1318.85                                    | 3.7104                   | 0.4944            |
| 31%                                      | 7.156         | 2585.25                                   | 1.3114                   | instan            | 1292.63                                    | 3.9231                   | 0.4985            |
| 32%                                      | 7.387         | 2534.80                                   | 1.3369                   | instan            | 1267.40                                    | 4.1568                   | 0.5026            |
| 33%                                      | 7.618         | 2486.23                                   | 1.3629                   | instan            | 1243.11                                    | 4.4149                   | 0.5066            |
| 34%                                      | 7.849         | 2439.44                                   | 1.3894                   | instan            | 1219.72                                    | 4.7014                   | 0.5106            |
| 35%                                      | 8.080         | 2394.34                                   | 1.4164                   | instan            | 1197.17                                    | 5.0213                   | 0.5147            |

### Lanjutan Lampiran I.8

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 36%                                      | 8.311         | 2350.85                                   | 1.4440                   | instan            | 1175.42                                    | 5.3809                   | 0.5187            |
| 37%                                      | 8.541         | 2308.87                                   | 1.4722                   | instan            | 1154.43                                    | 5.7882                   | 0.5227            |
| 38%                                      | 8.772         | 2268.34                                   | 1.5010                   | instan            | 1134.17                                    | 6.2533                   | 0.5267            |
| 39%                                      | 9.003         | 2229.18                                   | 1.5304                   | instan            | 1114.59                                    | 6.7895                   | 0.5307            |
| 40%                                      | 9.234         | 2191.32                                   | 1.5605                   | instan            | 1095.66                                    | 7.4147                   | 0.5347            |
| 41%                                      | 9.465         | 2154.70                                   | 1.5913                   | instan            | 1077.35                                    | 8.1530                   | 0.5387            |
| 42%                                      | 9.696         | 2119.27                                   | 1.6227                   | instan            | 1059.64                                    | 9.0382                   | 0.5426            |
| 43%                                      | 9.927         | 2084.97                                   | 1.6549                   | instan            | 1042.48                                    | 10.1193                  | 0.5466            |
| 44%                                      | 10.157        | 2051.73                                   | 1.6878                   | 0.4188            | 1025.87                                    | 11.4694                  | 0.5505            |
| 45%                                      | 10.388        | 2019.53                                   | 1.7216                   | 0.4211            | 1009.77                                    | 13.2035                  | 0.5545            |
| 46%                                      | 10.619        | 1988.31                                   | 1.7562                   | 0.4234            | 994.15                                     | 15.5128                  | 0.5584            |
| 47%                                      | 10.850        | 1958.02                                   | 1.7916                   | 0.4257            | 979.01                                     | 18.7409                  | 0.5624            |
| 48%                                      | 11.081        | 1928.63                                   | 1.8279                   | 0.4280            | 964.31                                     | 23.5727                  | 0.5663            |
| 49%                                      | 11.312        | 1900.09                                   | 1.8651                   | 0.4303            | 950.05                                     | 31.5992                  | 0.5703            |
| 50%                                      | 11.543        | 1872.38                                   | 1.9034                   | 0.4325            | 936.19                                     | 47.5562                  | 0.5742            |
| 51%                                      | 11.773        | 1845.45                                   | 1.9426                   | 0.4348            | 922.73                                     | 94.6798                  | 0.5781            |
| 52%                                      | 12.004        | 1819.28                                   | 1.9829                   | 0.4370            | 909.64                                     | 4087.7977                | 0.5821            |
| 53%                                      | 12.235        | 1793.83                                   | 2.0243                   | 0.4393            | 896.91                                     | -100.7241                | 0.5860            |
| 54%                                      | 12.466        | 1769.07                                   | 2.0669                   | 0.4415            | 884.54                                     | -50.0998                 | 0.5899            |
| 55%                                      | 12.697        | 1744.98                                   | 2.1106                   | 0.4437            | 872.49                                     | -33.4950                 | 0.5938            |

### Lanjutan Lampiran I.8

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 56%                                      | 12.928        | 1721.53                                   | 2.1557                   | 0.4460            | 860.77                                     | -25.2418                 | 0.5977            |
| 57%                                      | 13.158        | 1698.70                                   | 2.2020                   | 0.4482            | 849.35                                     | -20.3052                 | 0.6017            |
| 58%                                      | 13.389        | 1676.45                                   | 2.2498                   | 0.4504            | 838.23                                     | -17.0203                 | 0.6056            |
| 59%                                      | 13.620        | 1654.78                                   | 2.2990                   | 0.4526            | 827.39                                     | -14.6767                 | 0.6095            |
| 60%                                      | 13.851        | 1633.65                                   | 2.3497                   | 0.4547            | 816.83                                     | -12.9206                 | 0.6134            |
| 61%                                      | 14.082        | 1613.05                                   | 2.4020                   | 0.4569            | 806.53                                     | -11.5554                 | 0.6173            |
| 62%                                      | 14.313        | 1592.96                                   | 2.4560                   | 0.4591            | 796.48                                     | -10.4637                 | 0.6212            |
| 63%                                      | 14.544        | 1573.36                                   | 2.5118                   | 0.4613            | 786.68                                     | -9.5707                  | 0.6252            |
| 64%                                      | 14.774        | 1554.23                                   | 2.5694                   | 0.4634            | 777.11                                     | -8.8266                  | 0.6291            |
| 65%                                      | 15.005        | 1535.55                                   | 2.6290                   | 0.4656            | 767.78                                     | -8.1971                  | 0.6330            |
| 66%                                      | 15.236        | 1517.32                                   | 2.6907                   | 0.4677            | 758.66                                     | -7.6574                  | 0.6369            |
| 67%                                      | 15.467        | 1499.51                                   | 2.7546                   | 0.4699            | 749.75                                     | -7.1897                  | 0.6408            |
| 68%                                      | 15.698        | 1482.11                                   | 2.8207                   | 0.4720            | 741.05                                     | -6.7804                  | 0.6448            |
| 69%                                      | 15.929        | 1465.10                                   | 2.8893                   | 0.4741            | 732.55                                     | -6.4192                  | 0.6487            |
| 70%                                      | 16.160        | 1448.48                                   | 2.9604                   | 0.4762            | 724.24                                     | -6.0981                  | 0.6526            |
| 71%                                      | 16.390        | 1432.23                                   | 3.0343                   | 0.4784            | 716.11                                     | -5.8107                  | 0.6565            |
| 72%                                      | 16.621        | 1416.33                                   | 3.1111                   | 0.4805            | 708.17                                     | -5.5519                  | 0.6605            |
| 73%                                      | 16.852        | 1400.78                                   | 3.1909                   | 0.4826            | 700.39                                     | -5.3178                  | 0.6644            |
| 74%                                      | 17.083        | 1385.57                                   | 3.2740                   | 0.4847            | 692.79                                     | -5.1049                  | 0.6683            |
| 75%                                      | 17.314        | 1370.68                                   | 3.3605                   | 0.4868            | 685.34                                     | -4.9104                  | 0.6723            |

### Lanjutan Lampiran I.8

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 76%                                      | 17.545        | 1356.11                                   | 3.4508                   | 0.4889            | 678.06                                     | -4.7320                  | 0.6762            |
| 77%                                      | 17.775        | 1341.84                                   | 3.5450                   | 0.4910            | 670.92                                     | -4.5679                  | 0.6802            |
| 78%                                      | 18.006        | 1327.87                                   | 3.6434                   | 0.4931            | 663.93                                     | -4.4163                  | 0.6841            |
| 79%                                      | 18.237        | 1314.18                                   | 3.7463                   | 0.4951            | 657.09                                     | -4.2759                  | 0.6881            |
| 80%                                      | 18.468        | 1300.77                                   | 3.8540                   | 0.4972            | 650.38                                     | -4.1455                  | 0.6921            |
| 81%                                      | 18.699        | 1287.63                                   | 3.9669                   | 0.4993            | 643.81                                     | -4.0240                  | 0.6960            |
| 82%                                      | 18.930        | 1274.75                                   | 4.0854                   | 0.5014            | 637.37                                     | -3.9105                  | 0.7000            |
| 83%                                      | 19.161        | 1262.12                                   | 4.2099                   | 0.5034            | 631.06                                     | -3.8043                  | 0.7040            |
| 84%                                      | 19.391        | 1249.74                                   | 4.3408                   | 0.5055            | 624.87                                     | -3.7048                  | 0.7080            |
| 85%                                      | 19.622        | 1237.60                                   | 4.4787                   | 0.5075            | 618.80                                     | -3.6111                  | 0.7119            |
| 86%                                      | 19.853        | 1225.69                                   | 4.6242                   | 0.5096            | 612.85                                     | -3.5230                  | 0.7159            |
| 87%                                      | 20.084        | 1214.01                                   | 4.7779                   | 0.5116            | 607.00                                     | -3.4398                  | 0.7199            |
| 88%                                      | 20.315        | 1202.54                                   | 4.9406                   | 0.5137            | 601.27                                     | -3.3613                  | 0.7239            |
| 89%                                      | 20.546        | 1191.29                                   | 5.1130                   | 0.5157            | 595.65                                     | -3.2869                  | 0.7280            |
| 90%                                      | 20.777        | 1180.25                                   | 5.2961                   | 0.5178            | 590.13                                     | -3.2164                  | 0.7320            |
| 91%                                      | 21.007        | 1169.41                                   | 5.4909                   | 0.5198            | 584.71                                     | -3.1495                  | 0.7360            |
| 92%                                      | 21.238        | 1158.77                                   | 5.6986                   | 0.5219            | 579.38                                     | -3.0859                  | 0.7400            |
| 93%                                      | 21.469        | 1148.31                                   | 5.9204                   | 0.5239            | 574.16                                     | -3.0253                  | 0.7441            |
| 94%                                      | 21.700        | 1138.05                                   | 6.1580                   | 0.5259            | 569.02                                     | -2.9676                  | 0.7481            |
| 95%                                      | 21.931        | 1127.96                                   | 6.4130                   | 0.5280            | 563.98                                     | -2.9126                  | 0.7522            |

### Lanjutan Lampiran I.8

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 96%                                      | 22.162        | 1118.05                                   | 6.6875                   | 0.5300            | 559.02                                     | -2.8600                  | 0.7562            |
| 97%                                      | 22.392        | 1108.31                                   | 6.9837                   | 0.5320            | 554.16                                     | -2.8097                  | 0.7603            |
| 98%                                      | 22.623        | 1098.74                                   | 7.3045                   | 0.5340            | 549.37                                     | -2.7616                  | 0.7644            |
| 99%                                      | 22.854        | 1089.33                                   | 7.6529                   | 0.5360            | 544.67                                     | -2.7155                  | 0.7685            |
| 100%                                     | 23.085        | 1080.08                                   | 8.0328                   | 0.5381            | 540.04                                     | -2.6713                  | 0.7725            |

## Lampiran I.9

Tabel Perbandingan Koordinasi Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan dan di Lapangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   |
|--|---------------|---|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |
| 0%                                       | 0             | 6327.84                                   | instan                                   | instan            | 0.7449                             | instan            | 3163.92                                    | 1.0968                                   | instan            | 1.2015                             | instan            |
| 1%                                       | 0.231         | 6071.79                                   | instan                                   | instan            | 0.7623                             | instan            | 3035.90                                    | 1.1348                                   | instan            | 1.2467                             | instan            |
| 2%                                       | 0.462         | 5832.10                                   | instan                                   | instan            | 0.7800                             | instan            | 2916.05                                    | 1.1745                                   | instan            | 1.2942                             | instan            |
| 3%                                       | 0.693         | 5607.70                                   | instan                                   | instan            | 0.7981                             | instan            | 2803.85                                    | 1.2159                                   | instan            | 1.3440                             | instan            |
| 4%                                       | 0.923         | 5397.53                                   | instan                                   | instan            | 0.8165                             | instan            | 2698.77                                    | 1.2591                                   | instan            | 1.3962                             | instan            |
| 5%                                       | 1.154         | 5200.56                                   | instan                                   | instan            | 0.8352                             | instan            | 2600.28                                    | 1.3041                                   | instan            | 1.4511                             | instan            |
| 6%                                       | 1.385         | 5015.80                                   | instan                                   | instan            | 0.8542                             | instan            | 2507.90                                    | 1.3511                                   | instan            | 1.5087                             | instan            |
| 7%                                       | 1.616         | 4842.33                                   | instan                                   | instan            | 0.8736                             | instan            | 2421.17                                    | 1.4002                                   | instan            | 1.5693                             | instan            |
| 8%                                       | 1.847         | 4679.31                                   | instan                                   | instan            | 0.8933                             | instan            | 2339.65                                    | 1.4514                                   | instan            | 1.6331                             | instan            |
| 9%                                       | 2.078         | 4525.92                                   | instan                                   | instan            | 0.9133                             | instan            | 2262.96                                    | 1.5050                                   | instan            | 1.7003                             | instan            |
| 10%                                      | 2.309         | 4381.43                                   | instan                                   | instan            | 0.9337                             | instan            | 2190.72                                    | 1.5610                                   | instan            | 1.7712                             | instan            |
| 11%                                      | 2.539         | 4245.18                                   | instan                                   | instan            | 0.9544                             | instan            | 2122.59                                    | 1.6197                                   | instan            | 1.8462                             | instan            |
| 12%                                      | 2.770         | 4116.54                                   | instan                                   | instan            | 0.9755                             | instan            | 2058.27                                    | 1.6812                                   | 0.4183            | 1.9255                             | instan            |
| 13%                                      | 3.001         | 3994.95                                   | instan                                   | instan            | 0.9969                             | instan            | 1997.48                                    | 1.7458                                   | 0.4227            | 2.0095                             | 0.1876            |
| 14%                                      | 3.232         | 3879.89                                   | instan                                   | instan            | 1.0187                             | instan            | 1939.94                                    | 1.8137                                   | 0.4271            | 2.0987                             | 0.1907            |

**Lanjutan Lampiran I.9**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   |
|--|---------------|---|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |
| 15%                                      | 3.463         | 3770.88                                   | instan                                   | instan            | 1.0408                             | instan            | 1885.44                                    | 1.8851                                   | 0.4315            | 2.1937                             | 0.1939            |
| 16%                                      | 3.694         | 3667.49                                   | instan                                   | instan            | 1.0634                             | instan            | 1833.75                                    | 1.9604                                   | 0.4358            | 2.2949                             | 0.1970            |
| 17%                                      | 3.924         | 3569.33                                   | instan                                   | instan            | 1.0864                             | instan            | 1784.66                                    | 2.0398                                   | 0.4401            | 2.4030                             | 0.2002            |
| 18%                                      | 4.155         | 3476.03                                   | 1.0188                                   | instan            | 1.1098                             | instan            | 1738.01                                    | 2.1238                                   | 0.4444            | 2.5188                             | 0.2034            |
| 19%                                      | 4.386         | 3387.25                                   | 1.0392                                   | instan            | 1.1336                             | instan            | 1693.63                                    | 2.2127                                   | 0.4487            | 2.6432                             | 0.2066            |
| 20%                                      | 4.617         | 3302.70                                   | 1.0598                                   | instan            | 1.1579                             | instan            | 1651.35                                    | 2.3070                                   | 0.4529            | 2.7771                             | 0.2098            |
| 21%                                      | 4.848         | 3222.10                                   | 1.0808                                   | instan            | 1.1826                             | instan            | 1611.05                                    | 2.4073                                   | 0.4571            | 2.9217                             | 0.2131            |
| 22%                                      | 5.079         | 3145.18                                   | 1.1021                                   | instan            | 1.2078                             | instan            | 1572.59                                    | 2.5141                                   | 0.4613            | 3.0784                             | 0.2163            |
| 23%                                      | 5.310         | 3071.71                                   | 1.1237                                   | instan            | 1.2336                             | instan            | 1535.85                                    | 2.6281                                   | 0.4655            | 3.2488                             | 0.2197            |
| 24%                                      | 5.540         | 3001.47                                   | 1.1458                                   | instan            | 1.2598                             | instan            | 1500.74                                    | 2.7500                                   | 0.4697            | 3.4347                             | 0.2230            |
| 25%                                      | 5.771         | 2934.26                                   | 1.1682                                   | instan            | 1.2866                             | instan            | 1467.13                                    | 2.8809                                   | 0.4739            | 3.6384                             | 0.2264            |
| 26%                                      | 6.002         | 2869.90                                   | 1.1910                                   | instan            | 1.3140                             | instan            | 1434.95                                    | 3.0216                                   | 0.4780            | 3.8627                             | 0.2298            |
| 27%                                      | 6.233         | 2808.22                                   | 1.2142                                   | instan            | 1.3419                             | instan            | 1404.11                                    | 3.1734                                   | 0.4821            | 4.1109                             | 0.2332            |
| 28%                                      | 6.464         | 2749.05                                   | 1.2378                                   | instan            | 1.3705                             | instan            | 1374.53                                    | 3.3377                                   | 0.4862            | 4.3870                             | 0.2366            |
| 29%                                      | 6.695         | 2692.26                                   | 1.2619                                   | instan            | 1.3996                             | instan            | 1346.13                                    | 3.5160                                   | 0.4903            | 4.6961                             | 0.2401            |
| 30%                                      | 6.926         | 2637.70                                   | 1.2864                                   | instan            | 1.4295                             | instan            | 1318.85                                    | 3.7104                                   | 0.4944            | 5.0445                             | 0.2437            |
| 31%                                      | 7.156         | 2585.25                                   | 1.3114                                   | instan            | 1.4600                             | instan            | 1292.63                                    | 3.9231                                   | 0.4985            | 5.4404                             | 0.2472            |
| 32%                                      | 7.387         | 2534.80                                   | 1.3369                                   | instan            | 1.4912                             | instan            | 1267.40                                    | 4.1568                                   | 0.5026            | 5.8940                             | 0.2508            |

**Lanjutan Lampiran I.9**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   |
|--|---------------|---|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |
|  |               |   | 33%                                      | 7.618             | 2486.23                            | 1.3629            |  | instan                                   | 1.5232            | instan                             | 1243.11           |
| 34%                                      | 7.849         | 2439.44                                   | 1.3894                                   | instan            | 1.5560                             | instan            | 1219.72                                    | 4.7014                                   | 0.5106            | 7.0346                             | 0.2581            |
| 35%                                      | 8.080         | 2394.34                                   | 1.4164                                   | instan            | 1.5895                             | instan            | 1197.17                                    | 5.0213                                   | 0.5147            | 7.7655                             | 0.2618            |
| 36%                                      | 8.311         | 2350.85                                   | 1.4440                                   | instan            | 1.6239                             | instan            | 1175.42                                    | 5.3809                                   | 0.5187            | 8.6479                             | 0.2655            |
| 37%                                      | 8.541         | 2308.87                                   | 1.4722                                   | instan            | 1.6592                             | instan            | 1154.43                                    | 5.7882                                   | 0.5227            | 9.7346                             | 0.2693            |
| 38%                                      | 8.772         | 2268.34                                   | 1.5010                                   | instan            | 1.6953                             | instan            | 1134.17                                    | 6.2533                                   | 0.5267            | 11.1060                            | 0.2731            |
| 39%                                      | 9.003         | 2229.18                                   | 1.5304                                   | instan            | 1.7325                             | instan            | 1114.59                                    | 6.7895                                   | 0.5307            | 12.8911                            | 0.2770            |
| 40%                                      | 9.234         | 2191.32                                   | 1.5605                                   | instan            | 1.7706                             | instan            | 1095.66                                    | 7.4147                                   | 0.5347            | 15.3106                            | 0.2809            |
| 41%                                      | 9.465         | 2154.70                                   | 1.5913                                   | instan            | 1.8098                             | instan            | 1077.35                                    | 8.1530                                   | 0.5387            | 18.7765                            | 0.2848            |
| 42%                                      | 9.696         | 2119.27                                   | 1.6227                                   | instan            | 1.8500                             | instan            | 1059.64                                    | 9.0382                                   | 0.5426            | 24.1553                            | 0.2888            |
| 43%                                      | 9.927         | 2084.97                                   | 1.6549                                   | instan            | 1.8914                             | instan            | 1042.48                                    | 10.1193                                  | 0.5466            | 33.6359                            | 0.2929            |
| 44%                                      | 10.157        | 2051.73                                   | 1.6878                                   | 0.4188            | 1.9340                             | instan            | 1025.87                                    | 11.4694                                  | 0.5505            | 54.8055                            | 0.2969            |
| 45%                                      | 10.388        | 2019.53                                   | 1.7216                                   | 0.4211            | 1.9779                             | instan            | 1009.77                                    | 13.2035                                  | 0.5545            | 144.0519                           | 0.3011            |
| 46%                                      | 10.619        | 1988.31                                   | 1.7562                                   | 0.4234            | 2.0230                             | 0.1881            | 994.15                                     | 15.5128                                  | 0.5584            | -238.7561                          | 0.3053            |
| 47%                                      | 10.850        | 1958.02                                   | 1.7916                                   | 0.4257            | 2.0696                             | 0.1897            | 979.01                                     | 18.7409                                  | 0.5624            | -66.0081                           | 0.3095            |
| 48%                                      | 11.081        | 1928.63                                   | 1.8279                                   | 0.4280            | 2.1175                             | 0.1914            | 964.31                                     | 23.5727                                  | 0.5663            | -38.5404                           | 0.3138            |
| 49%                                      | 11.312        | 1900.09                                   | 1.8651                                   | 0.4303            | 2.1670                             | 0.1930            | 950.05                                     | 31.5992                                  | 0.5703            | -27.3341                           | 0.3181            |
| 50%                                      | 11.543        | 1872.38                                   | 1.9034                                   | 0.4325            | 2.2181                             | 0.1946            | 936.19                                     | 47.5562                                  | 0.5742            | -21.2464                           | 0.3225            |
| 51%                                      | 11.773        | 1845.45                                   | 1.9426                                   | 0.4348            | 2.2709                             | 0.1963            | 922.73                                     | 94.6798                                  | 0.5781            | -17.4220                           | 0.3270            |



**Lanjutan Lampiran I.9**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)<br>Hasil Perhitungan |                   | Waktu Kerja (detik)<br>Di Lapangan |                   |
|--|---------------|---|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|-------------------|------------------------------------|-------------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV                 | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV           | Sisi<br>Penyulang |
|  |               |   | 52%                                      | 12.004            | 1819.28                            | 1.9829            |  | 0.4370                                   | 2.3254            | 0.1979                             | 909.64            |
| 53%                                      | 12.235        | 1793.83                                   | 2.0243                                   | 0.4393            | 2.3818                             | 0.1996            | 896.91                                     | -100.7241                                | 0.5860            | -12.8823                           | 0.3361            |
| 54%                                      | 12.466        | 1769.07                                   | 2.0669                                   | 0.4415            | 2.4402                             | 0.2012            | 884.54                                     | -50.0998                                 | 0.5899            | -11.4247                           | 0.3407            |
| 55%                                      | 12.697        | 1744.98                                   | 2.1106                                   | 0.4437            | 2.5006                             | 0.2029            | 872.49                                     | -33.4950                                 | 0.5938            | -10.2777                           | 0.3455            |
| 56%                                      | 12.928        | 1721.53                                   | 2.1557                                   | 0.4460            | 2.5633                             | 0.2045            | 860.77                                     | -25.2418                                 | 0.5977            | -9.3515                            | 0.3502            |
| 57%                                      | 13.158        | 1698.70                                   | 2.2020                                   | 0.4482            | 2.6282                             | 0.2062            | 849.35                                     | -20.3052                                 | 0.6017            | -8.5879                            | 0.3551            |
| 58%                                      | 13.389        | 1676.45                                   | 2.2498                                   | 0.4504            | 2.6956                             | 0.2079            | 838.23                                     | -17.0203                                 | 0.6056            | -7.9475                            | 0.3600            |
| 59%                                      | 13.620        | 1654.78                                   | 2.2990                                   | 0.4526            | 2.7656                             | 0.2095            | 827.39                                     | -14.6767                                 | 0.6095            | -7.4026                            | 0.3650            |
| 60%                                      | 13.851        | 1633.65                                   | 2.3497                                   | 0.4547            | 2.8384                             | 0.2112            | 816.83                                     | -12.9206                                 | 0.6134            | -6.9334                            | 0.3700            |
| 61%                                      | 14.082        | 1613.05                                   | 2.4020                                   | 0.4569            | 2.9141                             | 0.2129            | 806.53                                     | -11.5554                                 | 0.6173            | -6.5250                            | 0.3751            |
| 62%                                      | 14.313        | 1592.96                                   | 2.4560                                   | 0.4591            | 2.9929                             | 0.2146            | 796.48                                     | -10.4637                                 | 0.6212            | -6.1664                            | 0.3803            |
| 63%                                      | 14.544        | 1573.36                                   | 2.5118                                   | 0.4613            | 3.0751                             | 0.2163            | 786.68                                     | -9.5707                                  | 0.6252            | -5.8489                            | 0.3856            |
| 64%                                      | 14.774        | 1554.23                                   | 2.5694                                   | 0.4634            | 3.1608                             | 0.2180            | 777.11                                     | -8.8266                                  | 0.6291            | -5.5658                            | 0.3910            |
| 65%                                      | 15.005        | 1535.55                                   | 2.6290                                   | 0.4656            | 3.2503                             | 0.2197            | 767.78                                     | -8.1971                                  | 0.6330            | -5.3119                            | 0.3964            |
| 66%                                      | 15.236        | 1517.32                                   | 2.6907                                   | 0.4677            | 3.3438                             | 0.2214            | 758.66                                     | -7.6574                                  | 0.6369            | -5.0827                            | 0.4020            |
| 67%                                      | 15.467        | 1499.51                                   | 2.7546                                   | 0.4699            | 3.4416                             | 0.2231            | 749.75                                     | -7.1897                                  | 0.6408            | -4.8749                            | 0.4076            |
| 68%                                      | 15.698        | 1482.11                                   | 2.8207                                   | 0.4720            | 3.5442                             | 0.2248            | 741.05                                     | -6.7804                                  | 0.6448            | -4.6856                            | 0.4133            |
| 69%                                      | 15.929        | 1465.10                                   | 2.8893                                   | 0.4741            | 3.6517                             | 0.2266            | 732.55                                     | -6.4192                                  | 0.6487            | -4.5124                            | 0.4191            |
| 70%                                      | 16.160        | 1448.48                                   | 2.9604                                   | 0.4762            | 3.7646                             | 0.2283            | 724.24                                     | -6.0981                                  | 0.6526            | -4.3533                            | 0.4250            |

**Lanjutan Lampiran I.9**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Hasil Perhitungan        |                   | Di Lapangan              |                   |  | Hasil Perhitungan        |                   | Di Lapangan              |                   |
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 71%                                      | 16.390        | 1432.23                                   | 3.0343                   | 0.4784            | 3.8832                   | 0.2301            | 716.11                                     | -5.8107                  | 0.6565            | -4.2067                  | 0.4310            |
| 72%                                      | 16.621        | 1416.33                                   | 3.1111                   | 0.4805            | 4.0082                   | 0.2318            | 708.17                                     | -5.5519                  | 0.6605            | -4.0711                  | 0.4371            |
| 73%                                      | 16.852        | 1400.78                                   | 3.1909                   | 0.4826            | 4.1399                   | 0.2336            | 700.39                                     | -5.3178                  | 0.6644            | -3.9453                  | 0.4433            |
| 74%                                      | 17.083        | 1385.57                                   | 3.2740                   | 0.4847            | 4.2790                   | 0.2353            | 692.79                                     | -5.1049                  | 0.6683            | -3.8284                  | 0.4496            |
| 75%                                      | 17.314        | 1370.68                                   | 3.3605                   | 0.4868            | 4.4261                   | 0.2371            | 685.34                                     | -4.9104                  | 0.6723            | -3.7193                  | 0.4561            |
| 76%                                      | 17.545        | 1356.11                                   | 3.4508                   | 0.4889            | 4.5819                   | 0.2389            | 678.06                                     | -4.7320                  | 0.6762            | -3.6174                  | 0.4626            |
| 77%                                      | 17.775        | 1341.84                                   | 3.5450                   | 0.4910            | 4.7472                   | 0.2407            | 670.92                                     | -4.5679                  | 0.6802            | -3.5219                  | 0.4693            |
| 78%                                      | 18.006        | 1327.87                                   | 3.6434                   | 0.4931            | 4.9230                   | 0.2425            | 663.93                                     | -4.4163                  | 0.6841            | -3.4322                  | 0.4761            |
| 79%                                      | 18.237        | 1314.18                                   | 3.7463                   | 0.4951            | 5.1102                   | 0.2443            | 657.09                                     | -4.2759                  | 0.6881            | -3.3479                  | 0.4830            |
| 80%                                      | 18.468        | 1300.77                                   | 3.8540                   | 0.4972            | 5.3101                   | 0.2461            | 650.38                                     | -4.1455                  | 0.6921            | -3.2684                  | 0.4900            |
| 81%                                      | 18.699        | 1287.63                                   | 3.9669                   | 0.4993            | 5.5240                   | 0.2479            | 643.81                                     | -4.0240                  | 0.6960            | -3.1933                  | 0.4972            |
| 82%                                      | 18.930        | 1274.75                                   | 4.0854                   | 0.5014            | 5.7533                   | 0.2497            | 637.37                                     | -3.9105                  | 0.7000            | -3.1224                  | 0.5045            |
| 83%                                      | 19.161        | 1262.12                                   | 4.2099                   | 0.5034            | 5.9999                   | 0.2516            | 631.06                                     | -3.8043                  | 0.7040            | -3.0552                  | 0.5119            |
| 84%                                      | 19.391        | 1249.74                                   | 4.3408                   | 0.5055            | 6.2658                   | 0.2534            | 624.87                                     | -3.7048                  | 0.7080            | -2.9914                  | 0.5195            |
| 85%                                      | 19.622        | 1237.60                                   | 4.4787                   | 0.5075            | 6.5534                   | 0.2553            | 618.80                                     | -3.6111                  | 0.7119            | -2.9309                  | 0.5272            |
| 86%                                      | 19.853        | 1225.69                                   | 4.6242                   | 0.5096            | 6.8654                   | 0.2571            | 612.85                                     | -3.5230                  | 0.7159            | -2.8733                  | 0.5351            |
| 87%                                      | 20.084        | 1214.01                                   | 4.7779                   | 0.5116            | 7.2052                   | 0.2590            | 607.00                                     | -3.4398                  | 0.7199            | -2.8184                  | 0.5432            |
| 88%                                      | 20.315        | 1202.54                                   | 4.9406                   | 0.5137            | 7.5765                   | 0.2609            | 601.27                                     | -3.3613                  | 0.7239            | -2.7661                  | 0.5514            |
| 89%                                      | 20.546        | 1191.29                                   | 5.1130                   | 0.5157            | 7.9841                   | 0.2628            | 595.65                                     | -3.2869                  | 0.7280            | -2.7162                  | 0.5598            |

**Lanjutan Lampiran I.9**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Waktu Kerja (detik)      |                   | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Waktu Kerja (detik)      |                   |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|  |               |   | Hasil Perhitungan        |                   | Di Lapangan              |                   |  | Hasil Perhitungan        |                   | Di Lapangan              |                   |
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |
| 90%                                      | 20.777        | 1180.25                                   | 5.2961                   | 0.5178            | 8.4336                   | 0.2647            | 590.13                                     | -3.2164                  | 0.7320            | -2.6685                  | 0.5684            |
| 91%                                      | 21.007        | 1169.41                                   | 5.4909                   | 0.5198            | 8.9317                   | 0.2666            | 584.71                                     | -3.1495                  | 0.7360            | -2.6228                  | 0.5771            |
| 92%                                      | 21.238        | 1158.77                                   | 5.6986                   | 0.5219            | 9.4868                   | 0.2685            | 579.38                                     | -3.0859                  | 0.7400            | -2.5791                  | 0.5861            |
| 93%                                      | 21.469        | 1148.31                                   | 5.9204                   | 0.5239            | 10.1094                  | 0.2704            | 574.16                                     | -3.0253                  | 0.7441            | -2.5372                  | 0.5952            |
| 94%                                      | 21.700        | 1138.05                                   | 6.1580                   | 0.5259            | 10.8125                  | 0.2724            | 569.02                                     | -2.9676                  | 0.7481            | -2.4970                  | 0.6046            |
| 95%                                      | 21.931        | 1127.96                                   | 6.4130                   | 0.5280            | 11.6130                  | 0.2743            | 563.98                                     | -2.9126                  | 0.7522            | -2.4584                  | 0.6141            |
| 96%                                      | 22.162        | 1118.05                                   | 6.6875                   | 0.5300            | 12.5325                  | 0.2763            | 559.02                                     | -2.8600                  | 0.7562            | -2.4213                  | 0.6239            |
| 97%                                      | 22.392        | 1108.31                                   | 6.9837                   | 0.5320            | 13.5998                  | 0.2783            | 554.16                                     | -2.8097                  | 0.7603            | -2.3857                  | 0.6339            |
| 98%                                      | 22.623        | 1098.74                                   | 7.3045                   | 0.5340            | 14.8538                  | 0.2802            | 549.37                                     | -2.7616                  | 0.7644            | -2.3513                  | 0.6441            |
| 99%                                      | 22.854        | 1089.33                                   | 7.6529                   | 0.5360            | 16.3479                  | 0.2822            | 544.67                                     | -2.7155                  | 0.7685            | -2.3182                  | 0.6546            |
| 100%                                     | 23.085        | 1080.08                                   | 8.0328                   | 0.5381            | 18.1589                  | 0.2842            | 540.04                                     | -2.6713                  | 0.7725            | -2.2864                  | 0.6653            |

## Lampiran I.10

Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih di Lapangan Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|---------------|--|--------------------------|-------------------|---------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |
| 0%                                       | 0             | 6327.84                                   | 0.7449                   | instan            | tidak bekerja | 3163.92                                    | 1.2015                   | instan            | bekerja       |
| 1%                                       | 0.231         | 6071.79                                   | 0.7623                   | instan            | tidak bekerja | 3035.90                                    | 1.2467                   | instan            | bekerja       |
| 2%                                       | 0.462         | 5832.10                                   | 0.7800                   | instan            | tidak bekerja | 2916.05                                    | 1.2942                   | instan            | bekerja       |
| 3%                                       | 0.693         | 5607.70                                   | 0.7981                   | instan            | tidak bekerja | 2803.85                                    | 1.3440                   | instan            | bekerja       |
| 4%                                       | 0.923         | 5397.53                                   | 0.8165                   | instan            | tidak bekerja | 2698.77                                    | 1.3962                   | instan            | bekerja       |
| 5%                                       | 1.154         | 5200.56                                   | 0.8352                   | instan            | tidak bekerja | 2600.28                                    | 1.4511                   | instan            | bekerja       |
| 6%                                       | 1.385         | 5015.80                                   | 0.8542                   | instan            | tidak bekerja | 2507.90                                    | 1.5087                   | instan            | bekerja       |
| 7%                                       | 1.616         | 4842.33                                   | 0.8736                   | instan            | tidak bekerja | 2421.17                                    | 1.5693                   | instan            | bekerja       |
| 8%                                       | 1.847         | 4679.31                                   | 0.8933                   | instan            | tidak bekerja | 2339.65                                    | 1.6331                   | instan            | bekerja       |
| 9%                                       | 2.078         | 4525.92                                   | 0.9133                   | instan            | tidak bekerja | 2262.96                                    | 1.7003                   | instan            | bekerja       |
| 10%                                      | 2.309         | 4381.43                                   | 0.9337                   | instan            | tidak bekerja | 2190.72                                    | 1.7712                   | instan            | bekerja       |
| 11%                                      | 2.539         | 4245.18                                   | 0.9544                   | instan            | tidak bekerja | 2122.59                                    | 1.8462                   | instan            | bekerja       |
| 12%                                      | 2.770         | 4116.54                                   | 0.9755                   | instan            | tidak bekerja | 2058.27                                    | 1.9255                   | instan            | bekerja       |
| 13%                                      | 3.001         | 3994.95                                   | 0.9969                   | instan            | bekerja       | 1997.48                                    | 2.0095                   | 0.1876            | tidak bekerja |
| 14%                                      | 3.232         | 3879.89                                   | 1.0187                   | instan            | bekerja       | 1939.94                                    | 2.0987                   | 0.1907            | tidak bekerja |
| 15%                                      | 3.463         | 3770.88                                   | 1.0408                   | instan            | bekerja       | 1885.44                                    | 2.1937                   | 0.1939            | tidak bekerja |

**Lanjutan Lampiran I.10**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|------------|--|--------------------------|-------------------|---------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |
| 16%                                      | 3.694         | 3667.49                                   | 1.0634                   | instan            | bekerja    | 1833.75                                    | 2.2949                   | 0.1970            | tidak bekerja |
| 17%                                      | 3.924         | 3569.33                                   | 1.0864                   | instan            | bekerja    | 1784.66                                    | 2.4030                   | 0.2002            | tidak bekerja |
| 18%                                      | 4.155         | 3476.03                                   | 1.1098                   | instan            | bekerja    | 1738.01                                    | 2.5188                   | 0.2034            | tidak bekerja |
| 19%                                      | 4.386         | 3387.25                                   | 1.1336                   | instan            | bekerja    | 1693.63                                    | 2.6432                   | 0.2066            | tidak bekerja |
| 20%                                      | 4.617         | 3302.70                                   | 1.1579                   | instan            | bekerja    | 1651.35                                    | 2.7771                   | 0.2098            | tidak bekerja |
| 21%                                      | 4.848         | 3222.10                                   | 1.1826                   | instan            | bekerja    | 1611.05                                    | 2.9217                   | 0.2131            | tidak bekerja |
| 22%                                      | 5.079         | 3145.18                                   | 1.2078                   | instan            | bekerja    | 1572.59                                    | 3.0784                   | 0.2163            | tidak bekerja |
| 23%                                      | 5.310         | 3071.71                                   | 1.2336                   | instan            | bekerja    | 1535.85                                    | 3.2488                   | 0.2197            | tidak bekerja |
| 24%                                      | 5.540         | 3001.47                                   | 1.2598                   | instan            | bekerja    | 1500.74                                    | 3.4347                   | 0.2230            | tidak bekerja |
| 25%                                      | 5.771         | 2934.26                                   | 1.2866                   | instan            | bekerja    | 1467.13                                    | 3.6384                   | 0.2264            | tidak bekerja |
| 26%                                      | 6.002         | 2869.90                                   | 1.3140                   | instan            | bekerja    | 1434.95                                    | 3.8627                   | 0.2298            | tidak bekerja |
| 27%                                      | 6.233         | 2808.22                                   | 1.3419                   | instan            | bekerja    | 1404.11                                    | 4.1109                   | 0.2332            | tidak bekerja |
| 28%                                      | 6.464         | 2749.05                                   | 1.3705                   | instan            | bekerja    | 1374.53                                    | 4.3870                   | 0.2366            | tidak bekerja |
| 29%                                      | 6.695         | 2692.26                                   | 1.3996                   | instan            | bekerja    | 1346.13                                    | 4.6961                   | 0.2401            | tidak bekerja |
| 30%                                      | 6.926         | 2637.70                                   | 1.4295                   | instan            | bekerja    | 1318.85                                    | 5.0445                   | 0.2437            | tidak bekerja |
| 31%                                      | 7.156         | 2585.25                                   | 1.4600                   | instan            | bekerja    | 1292.63                                    | 5.4404                   | 0.2472            | tidak bekerja |
| 32%                                      | 7.387         | 2534.80                                   | 1.4912                   | instan            | bekerja    | 1267.40                                    | 5.8940                   | 0.2508            | tidak bekerja |
| 33%                                      | 7.618         | 2486.23                                   | 1.5232                   | instan            | bekerja    | 1243.11                                    | 6.4193                   | 0.2544            | tidak bekerja |
| 34%                                      | 7.849         | 2439.44                                   | 1.5560                   | instan            | bekerja    | 1219.72                                    | 7.0346                   | 0.2581            | tidak bekerja |
| 35%                                      | 8.080         | 2394.34                                   | 1.5895                   | instan            | bekerja    | 1197.17                                    | 7.7655                   | 0.2618            | tidak bekerja |

**Lanjutan Lampiran I.10**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|---------------|--|--------------------------|-------------------|---------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |
| 36%                                      | 8.311         | 2350.85                                   | 1.6239                   | instan            | bekerja       | 1175.42                                    | 8.6479                   | 0.2655            | tidak bekerja |
| 37%                                      | 8.541         | 2308.87                                   | 1.6592                   | instan            | bekerja       | 1154.43                                    | 9.7346                   | 0.2693            | tidak bekerja |
| 38%                                      | 8.772         | 2268.34                                   | 1.6953                   | instan            | bekerja       | 1134.17                                    | 11.1060                  | 0.2731            | tidak bekerja |
| 39%                                      | 9.003         | 2229.18                                   | 1.7325                   | instan            | bekerja       | 1114.59                                    | 12.8911                  | 0.2770            | tidak bekerja |
| 40%                                      | 9.234         | 2191.32                                   | 1.7706                   | instan            | bekerja       | 1095.66                                    | 15.3106                  | 0.2809            | tidak bekerja |
| 41%                                      | 9.465         | 2154.70                                   | 1.8098                   | instan            | bekerja       | 1077.35                                    | 18.7765                  | 0.2848            | tidak bekerja |
| 42%                                      | 9.696         | 2119.27                                   | 1.8500                   | instan            | bekerja       | 1059.64                                    | 24.1553                  | 0.2888            | tidak bekerja |
| 43%                                      | 9.927         | 2084.97                                   | 1.8914                   | instan            | bekerja       | 1042.48                                    | 33.6359                  | 0.2929            | tidak bekerja |
| 44%                                      | 10.157        | 2051.73                                   | 1.9340                   | instan            | bekerja       | 1025.87                                    | 54.8055                  | 0.2969            | tidak bekerja |
| 45%                                      | 10.388        | 2019.53                                   | 1.9779                   | instan            | bekerja       | 1009.77                                    | 144.0519                 | 0.3011            | bekerja       |
| 46%                                      | 10.619        | 1988.31                                   | 2.0230                   | 0.1881            | tidak bekerja | 994.15                                     | -238.7561                | 0.3053            | bekerja       |
| 47%                                      | 10.850        | 1958.02                                   | 2.0696                   | 0.1897            | tidak bekerja | 979.01                                     | -66.0081                 | 0.3095            | bekerja       |
| 48%                                      | 11.081        | 1928.63                                   | 2.1175                   | 0.1914            | tidak bekerja | 964.31                                     | -38.5404                 | 0.3138            | bekerja       |
| 49%                                      | 11.312        | 1900.09                                   | 2.1670                   | 0.1930            | tidak bekerja | 950.05                                     | -27.3341                 | 0.3181            | bekerja       |
| 50%                                      | 11.543        | 1872.38                                   | 2.2181                   | 0.1946            | tidak bekerja | 936.19                                     | -21.2464                 | 0.3225            | bekerja       |
| 51%                                      | 11.773        | 1845.45                                   | 2.2709                   | 0.1963            | tidak bekerja | 922.73                                     | -17.4220                 | 0.3270            | bekerja       |
| 52%                                      | 12.004        | 1819.28                                   | 2.3254                   | 0.1979            | tidak bekerja | 909.64                                     | -14.7965                 | 0.3315            | bekerja       |
| 53%                                      | 12.235        | 1793.83                                   | 2.3818                   | 0.1996            | tidak bekerja | 896.91                                     | -12.8823                 | 0.3361            | bekerja       |
| 54%                                      | 12.466        | 1769.07                                   | 2.4402                   | 0.2012            | tidak bekerja | 884.54                                     | -11.4247                 | 0.3407            | bekerja       |
| 55%                                      | 12.697        | 1744.98                                   | 2.5006                   | 0.2029            | tidak bekerja | 872.49                                     | -10.2777                 | 0.3455            | bekerja       |

**Lanjutan Lampiran I.10**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|---------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 56%                                      | 12.928        | 1721.53                                   | 2.5633                   | 0.2045            | tidak bekerja | 860.77                                     | -9.3515                  | 0.3502            | bekerja    |
| 57%                                      | 13.158        | 1698.70                                   | 2.6282                   | 0.2062            | tidak bekerja | 849.35                                     | -8.5879                  | 0.3551            | bekerja    |
| 58%                                      | 13.389        | 1676.45                                   | 2.6956                   | 0.2079            | tidak bekerja | 838.23                                     | -7.9475                  | 0.3600            | bekerja    |
| 59%                                      | 13.620        | 1654.78                                   | 2.7656                   | 0.2095            | tidak bekerja | 827.39                                     | -7.4026                  | 0.3650            | bekerja    |
| 60%                                      | 13.851        | 1633.65                                   | 2.8384                   | 0.2112            | tidak bekerja | 816.83                                     | -6.9334                  | 0.3700            | bekerja    |
| 61%                                      | 14.082        | 1613.05                                   | 2.9141                   | 0.2129            | tidak bekerja | 806.53                                     | -6.5250                  | 0.3751            | bekerja    |
| 62%                                      | 14.313        | 1592.96                                   | 2.9929                   | 0.2146            | tidak bekerja | 796.48                                     | -6.1664                  | 0.3803            | bekerja    |
| 63%                                      | 14.544        | 1573.36                                   | 3.0751                   | 0.2163            | tidak bekerja | 786.68                                     | -5.8489                  | 0.3856            | bekerja    |
| 64%                                      | 14.774        | 1554.23                                   | 3.1608                   | 0.2180            | tidak bekerja | 777.11                                     | -5.5658                  | 0.3910            | bekerja    |
| 65%                                      | 15.005        | 1535.55                                   | 3.2503                   | 0.2197            | tidak bekerja | 767.78                                     | -5.3119                  | 0.3964            | bekerja    |
| 66%                                      | 15.236        | 1517.32                                   | 3.3438                   | 0.2214            | tidak bekerja | 758.66                                     | -5.0827                  | 0.4020            | bekerja    |
| 67%                                      | 15.467        | 1499.51                                   | 3.4416                   | 0.2231            | tidak bekerja | 749.75                                     | -4.8749                  | 0.4076            | bekerja    |
| 68%                                      | 15.698        | 1482.11                                   | 3.5442                   | 0.2248            | tidak bekerja | 741.05                                     | -4.6856                  | 0.4133            | bekerja    |
| 69%                                      | 15.929        | 1465.10                                   | 3.6517                   | 0.2266            | tidak bekerja | 732.55                                     | -4.5124                  | 0.4191            | bekerja    |
| 70%                                      | 16.160        | 1448.48                                   | 3.7646                   | 0.2283            | tidak bekerja | 724.24                                     | -4.3533                  | 0.4250            | bekerja    |
| 71%                                      | 16.390        | 1432.23                                   | 3.8832                   | 0.2301            | tidak bekerja | 716.11                                     | -4.2067                  | 0.4310            | bekerja    |
| 72%                                      | 16.621        | 1416.33                                   | 4.0082                   | 0.2318            | tidak bekerja | 708.17                                     | -4.0711                  | 0.4371            | bekerja    |
| 73%                                      | 16.852        | 1400.78                                   | 4.1399                   | 0.2336            | tidak bekerja | 700.39                                     | -3.9453                  | 0.4433            | bekerja    |
| 74%                                      | 17.083        | 1385.57                                   | 4.2790                   | 0.2353            | tidak bekerja | 692.79                                     | -3.8284                  | 0.4496            | bekerja    |
| 75%                                      | 17.314        | 1370.68                                   | 4.4261                   | 0.2371            | tidak bekerja | 685.34                                     | -3.7193                  | 0.4561            | bekerja    |

**Lanjutan Lampiran I.10**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|---------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 76%                                      | 17.545        | 1356.11                                   | 4.5819                   | 0.2389            | tidak bekerja | 678.06                                     | -3.6174                  | 0.4626            | bekerja    |
| 77%                                      | 17.775        | 1341.84                                   | 4.7472                   | 0.2407            | tidak bekerja | 670.92                                     | -3.5219                  | 0.4693            | bekerja    |
| 78%                                      | 18.006        | 1327.87                                   | 4.9230                   | 0.2425            | tidak bekerja | 663.93                                     | -3.4322                  | 0.4761            | bekerja    |
| 79%                                      | 18.237        | 1314.18                                   | 5.1102                   | 0.2443            | tidak bekerja | 657.09                                     | -3.3479                  | 0.4830            | bekerja    |
| 80%                                      | 18.468        | 1300.77                                   | 5.3101                   | 0.2461            | tidak bekerja | 650.38                                     | -3.2684                  | 0.4900            | bekerja    |
| 81%                                      | 18.699        | 1287.63                                   | 5.5240                   | 0.2479            | tidak bekerja | 643.81                                     | -3.1933                  | 0.4972            | bekerja    |
| 82%                                      | 18.930        | 1274.75                                   | 5.7533                   | 0.2497            | tidak bekerja | 637.37                                     | -3.1224                  | 0.5045            | bekerja    |
| 83%                                      | 19.161        | 1262.12                                   | 5.9999                   | 0.2516            | tidak bekerja | 631.06                                     | -3.0552                  | 0.5119            | bekerja    |
| 84%                                      | 19.391        | 1249.74                                   | 6.2658                   | 0.2534            | tidak bekerja | 624.87                                     | -2.9914                  | 0.5195            | bekerja    |
| 85%                                      | 19.622        | 1237.60                                   | 6.5534                   | 0.2553            | tidak bekerja | 618.80                                     | -2.9309                  | 0.5272            | bekerja    |
| 86%                                      | 19.853        | 1225.69                                   | 6.8654                   | 0.2571            | tidak bekerja | 612.85                                     | -2.8733                  | 0.5351            | bekerja    |
| 87%                                      | 20.084        | 1214.01                                   | 7.2052                   | 0.2590            | tidak bekerja | 607.00                                     | -2.8184                  | 0.5432            | bekerja    |
| 88%                                      | 20.315        | 1202.54                                   | 7.5765                   | 0.2609            | tidak bekerja | 601.27                                     | -2.7661                  | 0.5514            | bekerja    |
| 89%                                      | 20.546        | 1191.29                                   | 7.9841                   | 0.2628            | tidak bekerja | 595.65                                     | -2.7162                  | 0.5598            | bekerja    |
| 90%                                      | 20.777        | 1180.25                                   | 8.4336                   | 0.2647            | tidak bekerja | 590.13                                     | -2.6685                  | 0.5684            | bekerja    |
| 91%                                      | 21.007        | 1169.41                                   | 8.9317                   | 0.2666            | tidak bekerja | 584.71                                     | -2.6228                  | 0.5771            | bekerja    |
| 92%                                      | 21.238        | 1158.77                                   | 9.4868                   | 0.2685            | tidak bekerja | 579.38                                     | -2.5791                  | 0.5861            | bekerja    |
| 93%                                      | 21.469        | 1148.31                                   | 10.1094                  | 0.2704            | tidak bekerja | 574.16                                     | -2.5372                  | 0.5952            | bekerja    |
| 94%                                      | 21.700        | 1138.05                                   | 10.8125                  | 0.2724            | tidak bekerja | 569.02                                     | -2.4970                  | 0.6046            | bekerja    |
| 95%                                      | 21.931        | 1127.96                                   | 11.6130                  | 0.2743            | tidak bekerja | 563.98                                     | -2.4584                  | 0.6141            | bekerja    |



**Lanjutan Lampiran I.10**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|---------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 96%                                      | 22.162        | 1118.05                                   | 12.5325                  | 0.2763            | tidak bekerja | 559.02                                     | -2.4213                  | 0.6239            | bekerja    |
| 97%                                      | 22.392        | 1108.31                                   | 13.5998                  | 0.2783            | tidak bekerja | 554.16                                     | -2.3857                  | 0.6339            | bekerja    |
| 98%                                      | 22.623        | 1098.74                                   | 14.8538                  | 0.2802            | tidak bekerja | 549.37                                     | -2.3513                  | 0.6441            | bekerja    |
| 99%                                      | 22.854        | 1089.33                                   | 16.3479                  | 0.2822            | tidak bekerja | 544.67                                     | -2.3182                  | 0.6546            | bekerja    |
| 100%                                     | 23.085        | 1080.08                                   | 18.1589                  | 0.2842            | tidak bekerja | 540.04                                     | -2.2864                  | 0.6653            | bekerja    |

## Lampiran I.11

Tabel Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Untuk Mengetahui Tingkat Kinerja Rele Arus Lebih Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa di Sisi Masukan dan di Sisi Penyulang 20 kV.

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan    | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|---------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |               |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 0%                                       | 0             | 6327.84                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 3163.92                                    | 1.0968                   | instan            | bekerja    |
| 1%                                       | 0.231         | 6071.79                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 3035.90                                    | 1.1348                   | instan            | bekerja    |
| 2%                                       | 0.462         | 5832.10                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2916.05                                    | 1.1745                   | instan            | bekerja    |
| 3%                                       | 0.693         | 5607.70                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2803.85                                    | 1.2159                   | instan            | bekerja    |
| 4%                                       | 0.923         | 5397.53                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2698.77                                    | 1.2591                   | instan            | bekerja    |
| 5%                                       | 1.154         | 5200.56                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2600.28                                    | 1.3041                   | instan            | bekerja    |
| 6%                                       | 1.385         | 5015.80                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2507.90                                    | 1.3511                   | instan            | bekerja    |
| 7%                                       | 1.616         | 4842.33                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2421.17                                    | 1.4002                   | instan            | bekerja    |
| 8%                                       | 1.847         | 4679.31                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2339.65                                    | 1.4514                   | instan            | bekerja    |
| 9%                                       | 2.078         | 4525.92                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2262.96                                    | 1.5050                   | instan            | bekerja    |
| 10%                                      | 2.309         | 4381.43                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2190.72                                    | 1.5610                   | instan            | bekerja    |
| 11%                                      | 2.539         | 4245.18                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2122.59                                    | 1.6197                   | instan            | bekerja    |
| 12%                                      | 2.770         | 4116.54                                   | instan                   | instan            | tidak bekerja | 2058.27                                    | 1.6812                   | 0.4183            | bekerja    |
| 13%                                      | 3.001         | 3994.95                                   | instan                   | instan            | bekerja       | 1997.48                                    | 1.7458                   | 0.4227            | bekerja    |
| 14%                                      | 3.232         | 3879.89                                   | instan                   | instan            | bekerja       | 1939.94                                    | 1.8137                   | 0.4271            | bekerja    |
| 15%                                      | 3.463         | 3770.88                                   | instan                   | instan            | bekerja       | 1885.44                                    | 1.8851                   | 0.4315            | bekerja    |

**Lanjutan Lampiran I.11**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 16%                                      | 3.694         | 3667.49                                   | instan                   | instan            | bekerja    | 1833.75                                    | 1.9604                   | 0.4358            | bekerja    |
| 17%                                      | 3.924         | 3569.33                                   | instan                   | instan            | bekerja    | 1784.66                                    | 2.0398                   | 0.4401            | bekerja    |
| 18%                                      | 4.155         | 3476.03                                   | 1.0188                   | instan            | bekerja    | 1738.01                                    | 2.1238                   | 0.4444            | bekerja    |
| 19%                                      | 4.386         | 3387.25                                   | 1.0392                   | instan            | bekerja    | 1693.63                                    | 2.2127                   | 0.4487            | bekerja    |
| 20%                                      | 4.617         | 3302.70                                   | 1.0598                   | instan            | bekerja    | 1651.35                                    | 2.3070                   | 0.4529            | bekerja    |
| 21%                                      | 4.848         | 3222.10                                   | 1.0808                   | instan            | bekerja    | 1611.05                                    | 2.4073                   | 0.4571            | bekerja    |
| 22%                                      | 5.079         | 3145.18                                   | 1.1021                   | instan            | bekerja    | 1572.59                                    | 2.5141                   | 0.4613            | bekerja    |
| 23%                                      | 5.310         | 3071.71                                   | 1.1237                   | instan            | bekerja    | 1535.85                                    | 2.6281                   | 0.4655            | bekerja    |
| 24%                                      | 5.540         | 3001.47                                   | 1.1458                   | instan            | bekerja    | 1500.74                                    | 2.7500                   | 0.4697            | bekerja    |
| 25%                                      | 5.771         | 2934.26                                   | 1.1682                   | instan            | bekerja    | 1467.13                                    | 2.8809                   | 0.4739            | bekerja    |
| 26%                                      | 6.002         | 2869.90                                   | 1.1910                   | instan            | bekerja    | 1434.95                                    | 3.0216                   | 0.4780            | bekerja    |
| 27%                                      | 6.233         | 2808.22                                   | 1.2142                   | instan            | bekerja    | 1404.11                                    | 3.1734                   | 0.4821            | bekerja    |
| 28%                                      | 6.464         | 2749.05                                   | 1.2378                   | instan            | bekerja    | 1374.53                                    | 3.3377                   | 0.4862            | bekerja    |
| 29%                                      | 6.695         | 2692.26                                   | 1.2619                   | instan            | bekerja    | 1346.13                                    | 3.5160                   | 0.4903            | bekerja    |
| 30%                                      | 6.926         | 2637.70                                   | 1.2864                   | instan            | bekerja    | 1318.85                                    | 3.7104                   | 0.4944            | bekerja    |
| 31%                                      | 7.156         | 2585.25                                   | 1.3114                   | instan            | bekerja    | 1292.63                                    | 3.9231                   | 0.4985            | bekerja    |
| 32%                                      | 7.387         | 2534.80                                   | 1.3369                   | instan            | bekerja    | 1267.40                                    | 4.1568                   | 0.5026            | bekerja    |
| 33%                                      | 7.618         | 2486.23                                   | 1.3629                   | instan            | bekerja    | 1243.11                                    | 4.4149                   | 0.5066            | bekerja    |
| 34%                                      | 7.849         | 2439.44                                   | 1.3894                   | instan            | bekerja    | 1219.72                                    | 4.7014                   | 0.5106            | bekerja    |
| 35%                                      | 8.080         | 2394.34                                   | 1.4164                   | instan            | bekerja    | 1197.17                                    | 5.0213                   | 0.5147            | bekerja    |

**Lanjutan Lampiran I.11**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 36%                                      | 8.311         | 2350.85                                   | 1.4440                   | instan            | bekerja    | 1175.42                                    | 5.3809                   | 0.5187            | bekerja    |
| 37%                                      | 8.541         | 2308.87                                   | 1.4722                   | instan            | bekerja    | 1154.43                                    | 5.7882                   | 0.5227            | bekerja    |
| 38%                                      | 8.772         | 2268.34                                   | 1.5010                   | instan            | bekerja    | 1134.17                                    | 6.2533                   | 0.5267            | bekerja    |
| 39%                                      | 9.003         | 2229.18                                   | 1.5304                   | instan            | bekerja    | 1114.59                                    | 6.7895                   | 0.5307            | bekerja    |
| 40%                                      | 9.234         | 2191.32                                   | 1.5605                   | instan            | bekerja    | 1095.66                                    | 7.4147                   | 0.5347            | bekerja    |
| 41%                                      | 9.465         | 2154.70                                   | 1.5913                   | instan            | bekerja    | 1077.35                                    | 8.1530                   | 0.5387            | bekerja    |
| 42%                                      | 9.696         | 2119.27                                   | 1.6227                   | instan            | bekerja    | 1059.64                                    | 9.0382                   | 0.5426            | bekerja    |
| 43%                                      | 9.927         | 2084.97                                   | 1.6549                   | instan            | bekerja    | 1042.48                                    | 10.1193                  | 0.5466            | bekerja    |
| 44%                                      | 10.157        | 2051.73                                   | 1.6878                   | 0.4188            | bekerja    | 1025.87                                    | 11.4694                  | 0.5505            | bekerja    |
| 45%                                      | 10.388        | 2019.53                                   | 1.7216                   | 0.4211            | bekerja    | 1009.77                                    | 13.2035                  | 0.5545            | bekerja    |
| 46%                                      | 10.619        | 1988.31                                   | 1.7562                   | 0.4234            | bekerja    | 994.15                                     | 15.5128                  | 0.5584            | bekerja    |
| 47%                                      | 10.850        | 1958.02                                   | 1.7916                   | 0.4257            | bekerja    | 979.01                                     | 18.7409                  | 0.5624            | bekerja    |
| 48%                                      | 11.081        | 1928.63                                   | 1.8279                   | 0.4280            | bekerja    | 964.31                                     | 23.5727                  | 0.5663            | bekerja    |
| 49%                                      | 11.312        | 1900.09                                   | 1.8651                   | 0.4303            | bekerja    | 950.05                                     | 31.5992                  | 0.5703            | bekerja    |
| 50%                                      | 11.543        | 1872.38                                   | 1.9034                   | 0.4325            | bekerja    | 936.19                                     | 47.5562                  | 0.5742            | bekerja    |
| 51%                                      | 11.773        | 1845.45                                   | 1.9426                   | 0.4348            | bekerja    | 922.73                                     | 94.6798                  | 0.5781            | bekerja    |
| 52%                                      | 12.004        | 1819.28                                   | 1.9829                   | 0.4370            | bekerja    | 909.64                                     | 4087.7977                | 0.5821            | bekerja    |
| 53%                                      | 12.235        | 1793.83                                   | 2.0243                   | 0.4393            | bekerja    | 896.91                                     | -100.7241                | 0.5860            | bekerja    |
| 54%                                      | 12.466        | 1769.07                                   | 2.0669                   | 0.4415            | bekerja    | 884.54                                     | -50.0998                 | 0.5899            | bekerja    |
| 55%                                      | 12.697        | 1744.98                                   | 2.1106                   | 0.4437            | bekerja    | 872.49                                     | -33.4950                 | 0.5938            | bekerja    |

**Lanjutan Lampiran I.11**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 56%                                      | 12.928        | 1721.53                                   | 2.1557                   | 0.4460            | bekerja    | 860.77                                     | -25.2418                 | 0.5977            | bekerja    |
| 57%                                      | 13.158        | 1698.70                                   | 2.2020                   | 0.4482            | bekerja    | 849.35                                     | -20.3052                 | 0.6017            | bekerja    |
| 58%                                      | 13.389        | 1676.45                                   | 2.2498                   | 0.4504            | bekerja    | 838.23                                     | -17.0203                 | 0.6056            | bekerja    |
| 59%                                      | 13.620        | 1654.78                                   | 2.2990                   | 0.4526            | bekerja    | 827.39                                     | -14.6767                 | 0.6095            | bekerja    |
| 60%                                      | 13.851        | 1633.65                                   | 2.3497                   | 0.4547            | bekerja    | 816.83                                     | -12.9206                 | 0.6134            | bekerja    |
| 61%                                      | 14.082        | 1613.05                                   | 2.4020                   | 0.4569            | bekerja    | 806.53                                     | -11.5554                 | 0.6173            | bekerja    |
| 62%                                      | 14.313        | 1592.96                                   | 2.4560                   | 0.4591            | bekerja    | 796.48                                     | -10.4637                 | 0.6212            | bekerja    |
| 63%                                      | 14.544        | 1573.36                                   | 2.5118                   | 0.4613            | bekerja    | 786.68                                     | -9.5707                  | 0.6252            | bekerja    |
| 64%                                      | 14.774        | 1554.23                                   | 2.5694                   | 0.4634            | bekerja    | 777.11                                     | -8.8266                  | 0.6291            | bekerja    |
| 65%                                      | 15.005        | 1535.55                                   | 2.6290                   | 0.4656            | bekerja    | 767.78                                     | -8.1971                  | 0.6330            | bekerja    |
| 66%                                      | 15.236        | 1517.32                                   | 2.6907                   | 0.4677            | bekerja    | 758.66                                     | -7.6574                  | 0.6369            | bekerja    |
| 67%                                      | 15.467        | 1499.51                                   | 2.7546                   | 0.4699            | bekerja    | 749.75                                     | -7.1897                  | 0.6408            | bekerja    |
| 68%                                      | 15.698        | 1482.11                                   | 2.8207                   | 0.4720            | bekerja    | 741.05                                     | -6.7804                  | 0.6448            | bekerja    |
| 69%                                      | 15.929        | 1465.10                                   | 2.8893                   | 0.4741            | bekerja    | 732.55                                     | -6.4192                  | 0.6487            | bekerja    |
| 70%                                      | 16.160        | 1448.48                                   | 2.9604                   | 0.4762            | bekerja    | 724.24                                     | -6.0981                  | 0.6526            | bekerja    |
| 71%                                      | 16.390        | 1432.23                                   | 3.0343                   | 0.4784            | bekerja    | 716.11                                     | -5.8107                  | 0.6565            | bekerja    |
| 72%                                      | 16.621        | 1416.33                                   | 3.1111                   | 0.4805            | bekerja    | 708.17                                     | -5.5519                  | 0.6605            | bekerja    |
| 73%                                      | 16.852        | 1400.78                                   | 3.1909                   | 0.4826            | bekerja    | 700.39                                     | -5.3178                  | 0.6644            | bekerja    |
| 74%                                      | 17.083        | 1385.57                                   | 3.2740                   | 0.4847            | bekerja    | 692.79                                     | -5.1049                  | 0.6683            | bekerja    |
| 75%                                      | 17.314        | 1370.68                                   | 3.3605                   | 0.4868            | bekerja    | 685.34                                     | -4.9104                  | 0.6723            | bekerja    |

**Lanjutan Lampiran I.11**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 76%                                      | 17.545        | 1356.11                                   | 3.4508                   | 0.4889            | bekerja    | 678.06                                     | -4.7320                  | 0.6762            | bekerja    |
| 77%                                      | 17.775        | 1341.84                                   | 3.5450                   | 0.4910            | bekerja    | 670.92                                     | -4.5679                  | 0.6802            | bekerja    |
| 78%                                      | 18.006        | 1327.87                                   | 3.6434                   | 0.4931            | bekerja    | 663.93                                     | -4.4163                  | 0.6841            | bekerja    |
| 79%                                      | 18.237        | 1314.18                                   | 3.7463                   | 0.4951            | bekerja    | 657.09                                     | -4.2759                  | 0.6881            | bekerja    |
| 80%                                      | 18.468        | 1300.77                                   | 3.8540                   | 0.4972            | bekerja    | 650.38                                     | -4.1455                  | 0.6921            | bekerja    |
| 81%                                      | 18.699        | 1287.63                                   | 3.9669                   | 0.4993            | bekerja    | 643.81                                     | -4.0240                  | 0.6960            | bekerja    |
| 82%                                      | 18.930        | 1274.75                                   | 4.0854                   | 0.5014            | bekerja    | 637.37                                     | -3.9105                  | 0.7000            | bekerja    |
| 83%                                      | 19.161        | 1262.12                                   | 4.2099                   | 0.5034            | bekerja    | 631.06                                     | -3.8043                  | 0.7040            | bekerja    |
| 84%                                      | 19.391        | 1249.74                                   | 4.3408                   | 0.5055            | bekerja    | 624.87                                     | -3.7048                  | 0.7080            | bekerja    |
| 85%                                      | 19.622        | 1237.60                                   | 4.4787                   | 0.5075            | bekerja    | 618.80                                     | -3.6111                  | 0.7119            | bekerja    |
| 86%                                      | 19.853        | 1225.69                                   | 4.6242                   | 0.5096            | bekerja    | 612.85                                     | -3.5230                  | 0.7159            | bekerja    |
| 87%                                      | 20.084        | 1214.01                                   | 4.7779                   | 0.5116            | bekerja    | 607.00                                     | -3.4398                  | 0.7199            | bekerja    |
| 88%                                      | 20.315        | 1202.54                                   | 4.9406                   | 0.5137            | bekerja    | 601.27                                     | -3.3613                  | 0.7239            | bekerja    |
| 89%                                      | 20.546        | 1191.29                                   | 5.1130                   | 0.5157            | bekerja    | 595.65                                     | -3.2869                  | 0.7280            | bekerja    |
| 90%                                      | 20.777        | 1180.25                                   | 5.2961                   | 0.5178            | bekerja    | 590.13                                     | -3.2164                  | 0.7320            | bekerja    |
| 91%                                      | 21.007        | 1169.41                                   | 5.4909                   | 0.5198            | bekerja    | 584.71                                     | -3.1495                  | 0.7360            | bekerja    |
| 92%                                      | 21.238        | 1158.77                                   | 5.6986                   | 0.5219            | bekerja    | 579.38                                     | -3.0859                  | 0.7400            | bekerja    |
| 93%                                      | 21.469        | 1148.31                                   | 5.9204                   | 0.5239            | bekerja    | 574.16                                     | -3.0253                  | 0.7441            | bekerja    |
| 94%                                      | 21.700        | 1138.05                                   | 6.1580                   | 0.5259            | bekerja    | 569.02                                     | -2.9676                  | 0.7481            | bekerja    |
| 95%                                      | 21.931        | 1127.96                                   | 6.4130                   | 0.5280            | bekerja    | 563.98                                     | -2.9126                  | 0.7522            | bekerja    |

**Lanjutan Lampiran I.11**

| Lokasi Gangguan<br>(% Panjang Penyulang) | Jarak<br>(km) | Arus<br>Gangguan<br>Tiga Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan | Arus<br>Gangguan<br>Antar Fasa<br>(Ampere) | Waktu Kerja (detik)      |                   | Keterangan |
|--|---------------|---|--------------------------|-------------------|------------|--|--------------------------|-------------------|------------|
|  |               |   | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |  | Sisi<br>Masukan<br>20 kV | Sisi<br>Penyulang |            |
| 76%                                      | 17.545        | 1356.11                                   | 3.4508                   | 0.4889            | bekerja    | 678.06                                     | -4.7320                  | 0.6762            | bekerja    |
| 96%                                      | 22.162        | 1118.05                                   | 6.6875                   | 0.5300            | bekerja    | 559.02                                     | -2.8600                  | 0.7562            | bekerja    |
| 97%                                      | 22.392        | 1108.31                                   | 6.9837                   | 0.5320            | bekerja    | 554.16                                     | -2.8097                  | 0.7603            | bekerja    |
| 98%                                      | 22.623        | 1098.74                                   | 7.3045                   | 0.5340            | bekerja    | 549.37                                     | -2.7616                  | 0.7644            | bekerja    |
| 99%                                      | 22.854        | 1089.33                                   | 7.6529                   | 0.5360            | bekerja    | 544.67                                     | -2.7155                  | 0.7685            | bekerja    |
| 100%                                     | 23.085        | 1080.08                                   | 8.0328                   | 0.5381            | bekerja    | 540.04                                     | -2.6713                  | 0.7725            | bekerja    |

# **LAMPIRAN II**

## **DATA SEKUNDER**



## Lampiran II.1

Tabel Perhitungan Arus Gangguan Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling  
Trafo III 150/20 kV 30 MVA

*OC dengan referensi gg 3 FASA*

|               |                    |  |
|---------------|--------------------|--|
| <b>Isc</b>    | <b>8.854986 kA</b> | <b>Teg. 150 kV</b><br>X Sumber 0 + j 0.174 Ohm |
| <b>MVA SC</b> | <b>2300.53 MVA</b> |  |

### DATA TRAFU TENAGA

|                 |          |                                |
|-----------------|----------|--------------------------------|
| KAPASITAS       | 30 MVA   |                                |
| IMPEDANSI       | 12 %     | X1 TRAFU 1.60 Ohm (sisi 20 kV) |
| TEG. PRIMER     | 150 kV   |                                |
| TEG. SEKUNDER   | 20 kV    |                                |
| BELITAN DELTA   | 1        | X0 TRAFU 4.80 Ohm              |
| KAPASITAS DELTA | 10 MVA   |                                |
| I NOM. 20 kV    | 866.03 A |                                |
| RATIO CT        | 2000 A   |                                |
| GROUND RESISTAN | 500 Ohm  |                                |

### PENYULANG 20 kV bk4

|                   | <b>A3C240</b> |        | <b>A3C150</b> |        |
|-------------------|---------------|--------|---------------|--------|
|                   | R             | JX     | R             | JX     |
| IMPEDANSI POSITIF | 0.1344        | 0.3158 | 0.2162        | 0.3305 |
| IMPEDANSI NOL     | 0.2824        | 1.6033 | 0.3631        | 1.618  |
| PANJANG SALURAN   | 0 KM          |        | 23 KM         |        |

|                   | <b>A3C70</b> |        | <b>A3C35</b> |        |
|-------------------|--------------|--------|--------------|--------|
|                   | R            | JX     | R            | JX     |
| IMPEDANSI POSITIF | 0.4608       | 0.3572 | 0.9217       | 0.379  |
| IMPEDANSI NOL     | 0.6088       | 1.6447 | 1.0697       | 1.6665 |
| PANJANG SALURAN   | 0 KM         |        | 0 KM         |        |

| IMPEDANSI TOTAL   |        |        | tot pny | 1/2 tot pny |
|-------------------|--------|--------|---------|-------------|
| IMPEDANSI POSITIF | 4.9726 | 7.6015 | 23 KM   | 11.5 KM     |
| IMPEDANSI NOL     | 8.3513 | 37.214 |         |             |

### PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT

| LOKASI GANGGUAN      | 3 FASA  | 2 FASA  | JARAK GG (km) |
|----------------------|---------|---------|---------------|
| 0% PANJANG SALURAN   | 6509.49 | 5637.38 | 0             |
| 5% PANJANG SALURAN   | 5325.49 | 4612.01 | 1.15          |
| 10% PANJANG SALURAN  | 4471.51 | 3872.44 | 2.3           |
| 15% PANJANG SALURAN  | 3838.71 | 3324.42 | 3.45          |
| 20% PANJANG SALURAN  | 3355.69 | 2906.11 | 4.6           |
| 25% PANJANG SALURAN  | 2976.91 | 2578.08 | 5.75          |
| 30% PANJANG SALURAN  | 2672.88 | 2314.78 | 6.9           |
| 35% PANJANG SALURAN  | 2423.95 | 2099.20 | 8.05          |
| 40% PANJANG SALURAN  | 2216.67 | 1919.69 | 9.2           |
| 45% PANJANG SALURAN  | 2041.54 | 1768.03 | 10.35         |
| 50% PANJANG SALURAN  | 1891.73 | 1638.29 | 11.5          |
| 55% PANJANG SALURAN  | 1762.17 | 1526.08 | 12.65         |
| 60% PANJANG SALURAN  | 1649.05 | 1428.12 | 13.8          |
| 65% PANJANG SALURAN  | 1549.46 | 1341.87 | 14.95         |
| 70% PANJANG SALURAN  | 1461.13 | 1265.38 | 16.1          |
| 75% PANJANG SALURAN  | 1382.26 | 1197.07 | 17.25         |
| 80% PANJANG SALURAN  | 1311.42 | 1135.72 | 18.4          |
| 85% PANJANG SALURAN  | 1247.45 | 1080.32 | 19.55         |
| 90% PANJANG SALURAN  | 1189.40 | 1030.05 | 20.7          |
| 95% PANJANG SALURAN  | 1136.48 | 984.22  | 21.85         |
| 100% PANJANG SALURAN | 1088.06 | 942.29  | 23            |

Sumber: APJ Malang

Type CT yang terpasang di penyulang 20 kV adalah :  
15VA 5 P 10

Dimana :

- 15 VA = rating beban CT sebesar 15 VA
- 5 P = klas proteksi , kesalahan 5% pada rating batas akurasi.
- 10 = *accuracy limit* faktor, batas akurasi CT sampai dengan 10 kali arus rating

CT penyulang : 400 / 5 Amp

*Accuracy limit* : 4000 Amp

Jika arus hubung singkat melewati *accuracy limit* CT ( > 4000 Amp ) maka : rele penyulang akan *mall function* karena CT tidak dapat mengukur besaran arus yang mengalir secara akurat , sedangkan rele *incoming* bekerja karena batas *accuracy limit* CT 10 kA s/d 20 kA dan memberi perintah PMT *incoming* trafo 20 kV *trip*.

Sehingga : seksi 1 dari GI ( sepanjang 4.5 km ) harus betul-betul diperhatikan. seperti terlihat pada hasil perhitungan diatas.

## Lampiran II.2

Arus Hubung Singkat GI/GITET P3B Jawa Bali Semester 2 TH 2012 Untuk

Perhitungan Sistem Proteksi

| No. | Bus  | GI/GITET     | Grid  | Tegangan | Arus Hubung Singkat Max |           |
|-----|------|--------------|-------|----------|-------------------------|-----------|
|     |      |              |       | kV       | 1 ph (kA)               | 3 ph (kA) |
| 701 | A    | PAITON5      | Jatim | 150      | 39.24359                | 29.56359  |
| 702 | B    | PAITON5      | Jatim | 150      | 24.4308                 | 19.03639  |
| 703 | I-5  | PAKIS5       | Jatim | 150      | 11.32801                | 14.83328  |
| 704 | II-5 | PAKIS5       | Jatim | 150      | 11.32801                | 14.83328  |
| 705 | I-5  | PAMEKASAN5   | Jatim | 150      | 1.970674                | 3.04275   |
| 706 | I-5  | PERAK5       | Jatim | 150      | 23.46556                | 25.31542  |
| 707 | II-5 | PERAK5       | Jatim | 150      | 23.46556                | 25.31542  |
| 708 | I-5  | PETRO KIMIA5 | Jatim | 150      | 15.63848                | 21.94463  |
| 709 | II-5 | PETRO KIMIA5 | Jatim | 150      | 15.63848                | 21.94463  |
| 710 | I-5  | PIER5        | Jatim | 150      | 16.90451                | 20.94199  |
| 711 | II-5 | PIER5        | Jatim | 150      | 16.90451                | 20.94199  |
| 712 | I-5  | PROBOLINGGO5 | Jatim | 150      | 11.90961                | 16.28236  |
| 713 | II-5 | PROBOLINGGO5 | Jatim | 150      | 11.90961                | 16.28236  |
| 714 | I-5  | PURWOSARI5   | Jatim | 150      | 10.82924                | 000,015   |
| 715 | II-5 | PURWOSARI5   | Jatim | 150      | 10.82924                | 000,015   |
| 716 | I-5  | REJOSO5      | Jatim | 150      | 12.12211                | 16.43191  |
| 717 | I-5  | RUNGKUT5     | Jatim | 150      | 28.19098                | 32.49989  |
| 718 | II-5 | RUNGKUT5     | Jatim | 150      | 28.19098                | 32.49989  |
| 719 | I-5  | SAMPANG5     | Jatim | 150      | 2.959229                | 4.44152   |
| 720 | II-5 | SAMPANG5     | Jatim | 150      | 2.959229                | 4.44152   |
| 721 | I-5  | SAWAHAN5     | Jatim | 150      | 41.41194                | 40.69395  |
| 722 | II-5 | SAWAHAN5     | Jatim | 150      | 41.41194                | 40.69395  |
| 723 | I-5  | SEGOROMADU5  | Jatim | 150      | 3.687996                | 4.42674   |
| 724 | II-5 | SEGOROMADU5  | Jatim | 150      | 27.97355                | 34.43613  |
| 725 | I-5  | SEKARPUTIH5  | Jatim | 150      | 9.959043                | 10.59141  |
| 726 | II-5 | SEKARPUTIH5  | Jatim | 150      | 3.54171                 | 000,005   |
| 727 | I-5  | SENGKALING5  | Jatim | 150      | 6.779397                | 9.73581   |
| 729 | I-5  | SIMPANG5     | Jatim | 150      | 18.31526                | 23.89826  |
| 730 | II-5 | SIMPANG5     | Jatim | 150      | 18.31526                | 23.89826  |
| 731 | I-5  | SITUBONDO5   | Jatim | 150      | 11.51845                | 15.19958  |
| 732 | II-5 | SITUBONDO5   | Jatim | 150      | 11.51845                | 15.19958  |
| 733 | I-5  | SUKOLILO5    | Jatim | 150      | 20.97952                | 26.49302  |
| 734 | II-5 | SUKOLILO5    | Jatim | 150      | 20.97952                | 26.49302  |
| 735 | I-5  | SUMENEP5     | Jatim | 150      | 1.433077                | 2.24769   |

Sumber: APJ Malang

### Lampiran II.3

Tabel Tahanan (R) dan Reaktansi ( $X_L$ ) Penghantar AAAC Tegangan 20 kV

| Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Jari <sup>2</sup> mm | Urat | GMR (mm) | Impedansi urutan positif (Ohm / km) | Impedansi urutan Nol (Ohm / km) |
|-----------------------------------|----------------------|------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 16                                | 2,2563               | 7    | 1,6380   | 2,0161 + j 0,4036                   | 2,1641 + j 1,6911               |
| 25                                | 2,8203               | 7    | 2,0475   | 1,2903 + j 0,3895                   | 1,4384 + j 1,6770               |
| 35                                | 3,3371               | 7    | 2,4227   | 0,9217 + j 0,3790                   | 1,0697 + j 1,6665               |
| 50                                | 3,9886               | 7    | 2,8957   | 0,6452 + j 0,3678                   | 0,7932 + j 1,6553               |
| 70                                | 4,7193               | 7    | 3,4262   | 0,4608 + j 0,3572                   | 0,6088 + j 1,6447               |
| 95                                | 5,4979               | 19   | 4,1674   | 0,3096 + j 0,3449                   | 0,4876 + j 1,6324               |
| 120                               | 6,1791               | 19   | 4,6837   | 0,2688 + j 0,3376                   | 0,4168 + j 1,6324               |
| 150                               | 6,9084               | 19   | 5,2365   | 0,2162 + j 0,3305                   | 0,3631 + j 1,6180               |
| 185                               | 7,6722               | 19   | 5,8155   | 0,1744 + j 0,3239                   | 0,3224 + j 1,6114               |
| 240                               | 8,7386               | 19   | 6,6238   | 0,1344 + j 0,3158                   | 0,2824 + j 1,6034               |

Sumber: SPLN 64:1985

**Lampiran II.4**

**Daftar Trafo**

**GI. SENGKALING**

| Nomor Trafo | Merk    | Type           | Daya | Teg (kV) |     | Arus ( A ) |        | Vektor Group | Sistem Pendingin | Impedansi ( % )   |                  |                    |
|-------------|---------|----------------|------|----------|-----|------------|--------|--------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
|             |         |                | MVA  | Prim     | Sek | Prim       | Sek    |              |                  | Pada Tap Terendah | Pada Tap Teg Ref | Pada Tap Tertinggi |
| 1           | POUWELS | ORF 60 / 275   | 60   | 150      | 70  | 231        | 495    | YNyn0 (d)    | ONAN / ONAF      | 13.522            | 12.634           | 11.74              |
| 2           | XIAN    | FZ-30000/140   | 30   | 150      | 70  | 123.7      | 247.44 | YNyn0 (d)    | ONAN / ONAF      | 10.18             | 10.6             | 10.12              |
| 3           | UNINDO  | TTUB 150/30000 | 30   | 150      | 20  | 115        | 866    | YNyn0 (d1)   | ONAN / ONAF      |                   | 12.5             |                    |
| 4           | TELK    | SALOCR         | 30   | 150      | 20  | 115        | 866    |              | ONAN / ONAF      | 11.62             | 12.2             | 13.04              |

**Lanjutan Tabel Diatas**

| Nomor Trafo | Tap Changer |                             |                        |                         |                        | Nomor Serie | Tahun Buatan | Tahun Operasi |
|-------------|-------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|--------------|---------------|
|             | Merk        | Type                        | Teg. Tap Terendah (kV) | Teg. Tap Tertinggi (kV) | Selisih Teg. /Tap (kV) |             |              |               |
| 1           | MR          | MS III 300Y / 72,5/B/10192G | 165750 / 70            | 127500 / 70             | 2250                   | 3011070061  | 2008         | 2009          |
| 2           | MR          | VIII Y 200                  | 161000                 | 133000                  | 1750                   | A95013-2    | 1995         | 1997          |
| 3           | MR          | VIII Y 200                  | 165750                 | 127500                  | 2250                   | A-9415164   | 1994         | 1995          |
| 4           | TELK        | D2                          | 165750                 | 127500                  | 2250                   | 120349-2    | 1994         | 1998          |

Sumber: APP Malang

Lampiran II.5

Beban Trafo dan Penyulang Gardu Induk Sengkaling

| AREA TIMUR |             |           |      |      |      |           |                                 |     |                           |     |       |     |        |       |
|------------|-------------|-----------|------|------|------|-----------|---------------------------------|-----|---------------------------|-----|-------|-----|--------|-------|
| No<br>GI   | GARDU INDUK | Trafo     |      |      |      | No<br>Urt | Cubicle / MV.<br>Cell Penyulang | APJ | Beban Trafo dan Penyulang |     |       |     |        |       |
|            |             | No<br>Trf | Prim | Sec  | Daya |           |                                 |     | Tertinggi                 |     |       |     | Rata-2 |       |
|            |             |           | 150  | 20   |      |           |                                 |     | Sng                       | tgl | Mlm   | tgl | Sng    | Mlm   |
|            |             |           | (kV) | (kV) |      |           |                                 |     | (Amp)                     |     | (Amp) |     | (Amp)  | (Amp) |
| 5          | SENGKALING  | 3         | 150  | 20   | 30   |           | MERLIN<br>GERIN                 |     | 487                       | 31  | 629   | 28  | 387    | 590   |
|            |             |           |      |      |      | 1         | Jun Rejo                        | MLG | 97                        | 24  | 101   | 30  | 54     | 84    |
|            |             |           |      |      |      | 2         | Pujon                           | MLG | 126                       | 24  | 175   | 31  | 92     | 169   |
|            |             |           |      |      |      | 3         | Karang Ploso                    | MLG | 168                       | 31  | 207   | 31  | 140    | 188   |
|            |             |           |      |      |      | 4         | Wastra Indah                    | MLG | 149                       | 31  | 148   | 31  | 91     | 137   |
|            |             |           |      |      |      |           |                                 |     |                           |     |       |     |        |       |
|            |             | 4         | 150  | 20   | 60   |           | GOLD STAR                       |     | 927                       | 31  | 947   | 31  | 619    | 829   |
|            |             |           |      |      |      | 1         | Selecta                         | MLG | 249                       | 31  | 219   | 31  | 123    | 210   |
|            |             |           |      |      |      | 2         | Batu 20 kV                      | MLG | 273                       | 31  | 213   | 31  | 133    | 154   |
|            |             |           |      |      |      | 3         | Dinoyo                          | MLG | 208                       | 31  | 274   | 31  | 179    | 249   |
|            |             |           |      |      |      | 4         | Tegal Gondo                     | MLG | 273                       | 31  | 300   | 31  | 190    | 255   |

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.6

Penerepan *Setting* OCR Trafo Distribusi UPT Malang 2010



**PT. PLN (PERSERO) P3B  
REGION JAWA TIMUR DAN BALI  
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG**

| GARDU<br>INDUK | N<br>O | MERK   | DAYA | TEGANGAN<br>(kV) |    | ARUS<br>NOMINAL |      | IMP   | OCR Sekunder (S51) |                          |                  |                               |                  |
|----------------|--------|--------|------|------------------|----|-----------------|------|-------|--------------------|--------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
|                |        |        |      |                  |    | (Ampere)        |      |       | CT S               | SETELAN HASIL<br>SCANING |                  | SETELAN PENERAPAN             |                  |
|                |        |        |      | P                | S  | P               | S    | (%)   |                    | I> (A)                   | t> (dt)          | I> (A)                        | t> (dt)          |
| SENGKALING     | 3      | UNINDO | 30   | 150              | 20 | 115             | 866  | 12.5% | 2000/5             | 2,5 A = 1000<br>A        | TD. 0,2 (SI)     | 0,5.In =<br>2,5 A =<br>1000A  | TD. 0,2 (SI)     |
|                | 4      | TELK   | 60   | 150              | 20 | 115             | 1732 | 12.2% | 2000/5             | 5,2 A = 2080<br>A        | TD. 0,18<br>(SI) | 1,04.In =<br>5,2 A =<br>1000A | TD. 0,18<br>(SI) |

Sumber: APP Malang

## Lampiran II.7

### Setting Relay Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang 2014

| Trafo     |             |           |      | Cubicle /<br>MV. Cell<br>Penyulang | AMP<br>/<br>I.set<br>(Amp) | CT  | O C R  |       |           |          | D G R |            |       |         |       |           |          |       |           |               |      |      |           |  |
|-----------|-------------|-----------|------|------------------------------------|----------------------------|-----|--------|-------|-----------|----------|-------|------------|-------|---------|-------|-----------|----------|-------|-----------|---------------|------|------|-----------|--|
| No<br>Trf | Prim<br>150 | Sec<br>20 | Daya |                                    |                            |     | Merk   | Type  | No. Serie | Is>      | td>   | Is>>       | td>>  | Merk    | Type  | No. Serie | Io>      | to>   | Vo        | Degr<br>sudut | Ia>> | ta>> |           |  |
|           |             |           |      |                                    |                            |     |        |       |           | (A)      | (det) | (A)        | (det) |         |       |           | (A)      | (det) | (volt)    |               |      |      |           |  |
| 3         | 150         | 20        | 30   | <b>MERLIN GERIN</b>                | 1000                       |     |        |       |           |          |       |            |       |         |       |           |          |       |           |               |      |      |           |  |
|           |             |           |      | 1                                  | Jun Rejo                   | 320 | 400/5  | Micom | P127      | 36007937 | 320   | 0.05<br>SI | 2000  | Instant | Micom | P127      | 36007937 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      | 2                                  | Pujon                      | 320 | 400/5  | Micom | P127      | 36008074 | 320   | 0.05<br>SI | 2000  | Instant | Micom | P127      | 36008074 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      | 3                                  | Karang Ploso               | 320 | 400/5  | Micom | P127      | 36007983 | 320   | 0.05<br>SI | 2000  | Instant | Micom | P127      | 36007983 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      | 4                                  | Wastra Indah               | 320 | 400/5  | Micom | P127      | 36007991 | 320   | 0.05<br>SI | 2000  | Instant | Micom | P127      | 36007991 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      |                                    | kopel MG ke GS             |     | 1000/5 | GEC   | MCGG82    | 793470D  | 850   | 0.175      |       |         |       |           |          |       |           |               |      |      |           |  |
|           |             |           |      |                                    | Spare                      |     |        | GEC   | MCGG      |          |       |            |       |         |       |           |          |       |           |               |      |      |           |  |
|           |             |           |      |                                    | Spare 2                    |     |        | GEC   | MCGG      |          |       |            |       |         |       |           |          |       |           |               |      |      |           |  |
| 4         | 150         | 20        | 60   | <b>GOLD STAR</b>                   | 1732                       |     |        |       |           |          |       |            |       |         |       |           |          |       |           |               |      |      |           |  |
|           |             |           |      | 1                                  | Dinoyo                     | 400 | 400/5  | Micom | P127      | 36008062 | 400   | 0.05<br>SI | 3500  | Instant | Micom | P127      | 36008062 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      | 2                                  | Batu 20 kV                 | 400 | 400/5  | Micom | P127      | 36008042 | 400   | 0.05<br>SI | 3500  | Instant | Micom | P127      | 36008042 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      | 3                                  | Selecta                    | 400 | 400/5  | Micom | P127      | 36007931 | 400   | 0.05<br>SI | 3500  | Instant | Micom | P127      | 36007931 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      | 4                                  | Tegal Gondo                | 400 | 400/5  | Micom | P127      | 36009376 | 400   | 0.05<br>SI | 3500  | Instant | Micom | P127      | 36009376 | 2     | 0.3<br>SI | 2             | 0    | 4    | 0.4<br>SI |  |
|           |             |           |      |                                    | Spare                      |     |        | GEC   | MCGG      |          |       |            |       |         | GEC   | KCEU      |          |       |           |               |      |      |           |  |
|           |             |           |      |                                    | Spare 2                    |     |        | GEC   | MCGG      |          |       |            |       |         | GEC   | KCEU      |          |       |           |               |      |      |           |  |

Sumber: APJ Malang



## Lampiran II.8

### Kawat Penghantar

| Kode dan Nama<br>Penyulang |       | Panjang Total<br>Saluran TM |        | A3C   |        |       |       |        |       |       |      |      |
|----------------------------|-------|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|------|------|
|                            |       | (ms)                        | (kms)  | 3x240 | 3x150  | 3x110 | 3x95  | 3x70   | 3x55  | 3x50  | 3x35 | 3x25 |
| Junrejo                    | JREJO | 23085                       | 23.085 | 0     | 23.085 | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0    | 0    |
| Karang Ploso               | KRPLS | 40079                       | 40.079 | 0     | 0      | 0     | 0.02  | 34.781 | 0     | 5.278 | 0    | 0    |
| Pujon                      | PUJON | 60260                       | 60.26  | 0     | 13.836 | 3.071 | 0     | 32.323 | 9.712 | 1.318 | 0    | 0    |
| Wastra Indah               | WSTIN | 20074                       | 20.074 | 0     | 5.557  | 0     | 3.438 | 5.814  | 4.244 | 1.021 | 0    | 0    |

Sumber: APJ Malang

## Lampiran II.9

### Laporan Harian Gangguan Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang Periode 1 Januari-31 Desember 2013

| PENYULANG       | GANGGUAN  |        |              |                |               |                       |               | CUACA            | PENYEBAB   |
|-----------------|-----------|--------|--------------|----------------|---------------|-----------------------|---------------|------------------|--|
|                 | TANGGAL   | JAM    |              |                |               | TEMPORER/<br>PERMANEN | RELE<br>KERJA |                  |  |
|                 |           | LEPAS  | PMT<br>MASUK | MASUK<br>TOTAL | LAMA<br>PADAM |                       |               |                  |  |
| DINOYO          | 1/1/2013  | 21:08  | 21:49        | 22:24          | 0:41          | PERMANEN              | DGR           | HUJAN            | ARRESTER RUSAK DI M.401 PHASA R  |
| JUNREJO         | 9/01/13   | 14:14  | 14:19        |                | 0:05          | TEMPORER              | OCR           | HUJAN<br>ANGIN   | SUTM TERTIMPA POHON TUMBANG  |
| DINOYO          | 12/1/2013 | 22:27  | 22:48        | 23:45          | 0:21          | PERMANEN              | OCR           | HUJAN<br>ANGIN   | jamperan ketiga CO dan oli trafo bocor di GTT 179  |
| KARANG<br>PLOSO | 28/01/13  | 13:50  | 15:13        | 22:25          | 1:23          | PERMANEN              | OCR           | HUJAN<br>ANGIN   | ANGIN PUTTING BELIUNG POHON ROBOH DI GREENHILL, BARONGAN POHON BAMBURU ROBOH DI RRI                                      |
| DINOYO          | 28/01/13  | 13:54  | 15:01        | 15:54          | 1:07          | PERMANEN              | DGR           | HUJAN<br>ANGIN   | ANGIN PUTTING BELIUNG BANYAK POHON TUMBANG, POHON ROBOH JL. HOGOMAS  |
| TEGAL<br>GONDO  | 28/01/13  | 13:56  | 15:21        | 16:14          | 1:25          | PERMANEN              | OCR           | HUJAN<br>ANGIN   | ANGIN PUTTING BELIUNG POHON ROBOH DI JL.TUNGGULWULUNG  |
| JUNREJO         | 29/01/13  | 16:12  | 16:15        | 16:55          | 0:03          | TEMPORER              | OCR           | HUJAN<br>ANGIN   | CUACA HUJAN DERAS DAN ANGIN KENCANG BERTAHAP MASUK BAIK  |
| DINOYO          | 1/02/2013 | 14:26  | 14:42        |                | 0:16          | PERMANEN              | OCR           | HUJAN &<br>PETIR | LBS MOTORIZED SEMANDING RUSAK KARENA TERSAMBAR PETIR   |
| TEGAL<br>GONDO  | 4/2/2013  | 22:47  | 23:35        | 3:44           | 0:48          | PERMANEN              | DGR           | HUJAN            | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN |
| KARANG<br>PLOSO | 12/2/2013 | 2:17   | 2:20         | 4:40           | 0:03          | TEMPORER              | OCR           | CERAH            | GW PUTUS DI DESA TASIKMADU   |
| JUNREJO         | 23/02/13  | 9:45   | 10:10        | 14:10          | 0:25          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | HUJAN<br>ANGIN   | CUACA HUJAN DERAS DAN ANGIN KENCANG BERTAHAP MASUK BAIK  |
| DINOYO          | 23/02/13  | 16:18  | 17:03        | 17:05          | 0:45          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | HUJAN<br>ANGIN   | RANTING BAMBURU TERBAWA ANGIN MENIMPA SUTM DI PERUM MUARA INDAH ROW >10 MTR  |
| JUNREJO         | 23/02/13  | 12:45  | 14:10        |                | 0:25          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | HUJAN<br>ANGIN   | CUACA HUJAN DERAS DAN ANGIN KENCANG BERTAHAP MASUK BAIK  |
| SELECTA         | 25/03/13  | 9:13   | 10:00        |                | 0:47          | PERMANEN              | DGR           | CERAH            | KONDUKTOR LEPAS DARI HANG ISOLATOR T 92 D2 DES PENDEM  |
| TEGAL<br>GONDO  | 30/03/13  | 13:23  | 13:24        | 14:57          | 0:01          | TEMPORER              | DGR           | HUJAN<br>PETIR   | BERSAMAAN DENGAN PETIR DI WILAYAH TIDAR  |
| WASTRA<br>INDAH | 20/04/13  | 10:13  | 10:18        | 12:00          | 0:05          | TEMPORER              | OCR<br>INST   | MENDUNG          | CO JURUSAN WAKIR PUTUS PHASA RT DESA KLEREK  |
| JUNREJO         | 20/04/13  | 16: 40 | 16: 45       | 19: 57         | 0:05          | TEMPORER              | DGR           | HUJAN            | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN |
| TEGAL<br>GONDO  | 30/04/13  | 12:02  | 12:02        | 12:02          | 0:00          | TEMPORER              | DGR           | CERAH            | PEMASUKAN LBS RECL PEMANDIAN TIDAK SEREMPAK  |
| WASTRA<br>INDAH | 15/05/13  | 15:50  | 16:21        |                | 0:31          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | CERAH            | BENANG LAYANG-LAYANG DARI KAWAT MENGENAI SUTM DI JL PATIMURA BATU  |

## Lanjutan Lampiran II.9

| PENYULANG       | GANGGUAN  |       |              |                |               |                       |               | CUACA                   | PENYEBAB   |
|-----------------|-----------|-------|--------------|----------------|---------------|-----------------------|---------------|-------------------------|--|
|                 | TANGGAL   | JAM   |              |                |               | TEMPORER/<br>PERMANEN | RELE<br>KERJA |                         |  |
|                 |           | LEPAS | PMT<br>MASUK | MASUK<br>TOTAL | LAMA<br>PADAM |                       |               |                         |  |
| JUNREJO         | 26/05/13  | 13:24 | 14:26        | 19:13          | 1:02          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | HUJAN<br>DERAS<br>PETIR | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN  |
| JUNREJO         | 26/05/13  | 20:45 | 21:10        | 1:22           | 0:25          | PERMANEN              | DGR           | HUJAN<br>DERAS<br>PETIR | PIN ISOLATOR PECAH TERSAMBAR PETIR DI HT POOL T.107 DS.TEGALWARU   |
| DINOYO          | 6/6/2013  | 12:39 | 13:43        |                | 1:04          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | HUJAN<br>PETIR          | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI DAN BERSAMAAN DENGAN SAMBARAN PETIR   |
| JUNREJO         | 26/6/2013 | 9:29  | 9:35         |                | 0:06          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | CERAH                   | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN  |
| WASTRA<br>INDAH | 23/08/13  | 12:43 | 13:04        |                | 0:21          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | CERAH                   | RANTING POHON MENGENAI SUTM DI JL BEJI   |
| SELECTA         | 2/9/2013  | 17:45 | 18:25        |                | 0:40          | PERMANEN              | DGR           | CERAH                   | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN  |
| JUNREJO         | 3/9/2013  | 11:57 | 12:11        |                | 0:14          | PERMANEN              | OCR           | CERAH                   | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN  |
| JUNREJO         | 23/09/13  | 13:44 | 14:12        |                | 0:28          | PERMANEN              | OCR           | CERAH                   | SUTM TERKENA LAYANG - LAYANG   |
| WASTRA<br>INDAH | 24/09/13  | 11:48 | 12:16        |                | 0:28          | PERMANEN              | OCR           | CERAH                   | SUTM BLENGKET DESA TUTUP   |
| WASTRA<br>INDAH | 28/09/13  | 12:11 | 12:13        |                | 0:02          | TEMPORER              | DGR           | CERAH                   | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN |
| DINOYO          | 3/10/2013 | 7:53  | 8:33         |                | 0:40          | PERMANEN              | OCR           | CERAH                   | BINATANG BAJING MENGENAI SUTM DI GTT T.1310 DI JI. JETIS   |
| PUJON           | 8/10/2013 | 19:23 | 19:23        |                | 0:00          | TEMPORER              | DGR           | CERAH                   | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP , PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN |
| KARANG<br>PLOSO | 16/10/13  | 9:10  | 9:34         | 10:44          | 0:24          | PERMANEN              | OCR           | CERAH                   | GELINGGANG TERBANG TERBAWA ANGIN MENGENAI SUTM DI T.120 B3 DI DS. TLOGOSARI AMPELDENTO                                   |
| PUJON           | 17/10/13  | 11:05 | 11:05        |                | 0:00          | TEMPORER              | DGR           | CERAH<br>ANGIN          | SUTM TERKENA RANTING POHON TREMBESI YANG TERBAWA ANGIN DI DESA JUNREJO   |
| JUNREJO         | 17/10/13  | 15:21 | 16:16        |                | 0:55          | PERMANEN              | DGR           | CERAH<br>ANGIN          | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN  |
| JUNREJO         | 26/10/13  | 16:28 | 17:05        |                | 0:37          | PERMANEN              | OCR           | HUJAN                   | GW PUTUS DI T.221 B1 DS.SUMBER SEKAR KARENA TERKENA PETIR  |
| JUNREJO         | 28/10/13  | 12:30 | 12:42        |                | 0:12          | PERMANEN              | OCR<br>INST   | HUJAN<br>PETIR          | BERSAMAAN HUJAN DERAS ANGIN DAN PETIR  |
| WASTRA<br>INDAH | 8/12/13   | 17:00 | 17:00        |                | 0:00          | TEMPORER              | DGR           | HUJAN                   | GANGGUAN TIDAK DIKETAHUI ( GANGGUAN TETAP , TETAPI SETELAH DITELUSURI DAN DIMASUKKAN BERTAHAP, PENYEBAB TIDAK DITEMUKAN  |
| JUNREJO         | 18/12/13  | 15:30 | 16:03        |                | 0:33          | PERMANEN              | OCR           | HUJAN<br>PETIR          | HUJAN LEBAT BERSAMAAN DENGAN PETIR   |
| SELECTA         | 30/12/13  | 22:56 | 23:33        |                | 0:37          | PERMANEN              | OCR           | ANGIN                   | PELEPAH DAUN KELAPA TERTIUP ANGIN MENGENAI SUTM DI DESA DONOWAREH  |

Sumber: APJ Malang

## Lampiran II.10

### Rekapitulasi Gangguan Penyulang Bulanan Periode: Bulan Desember 2013

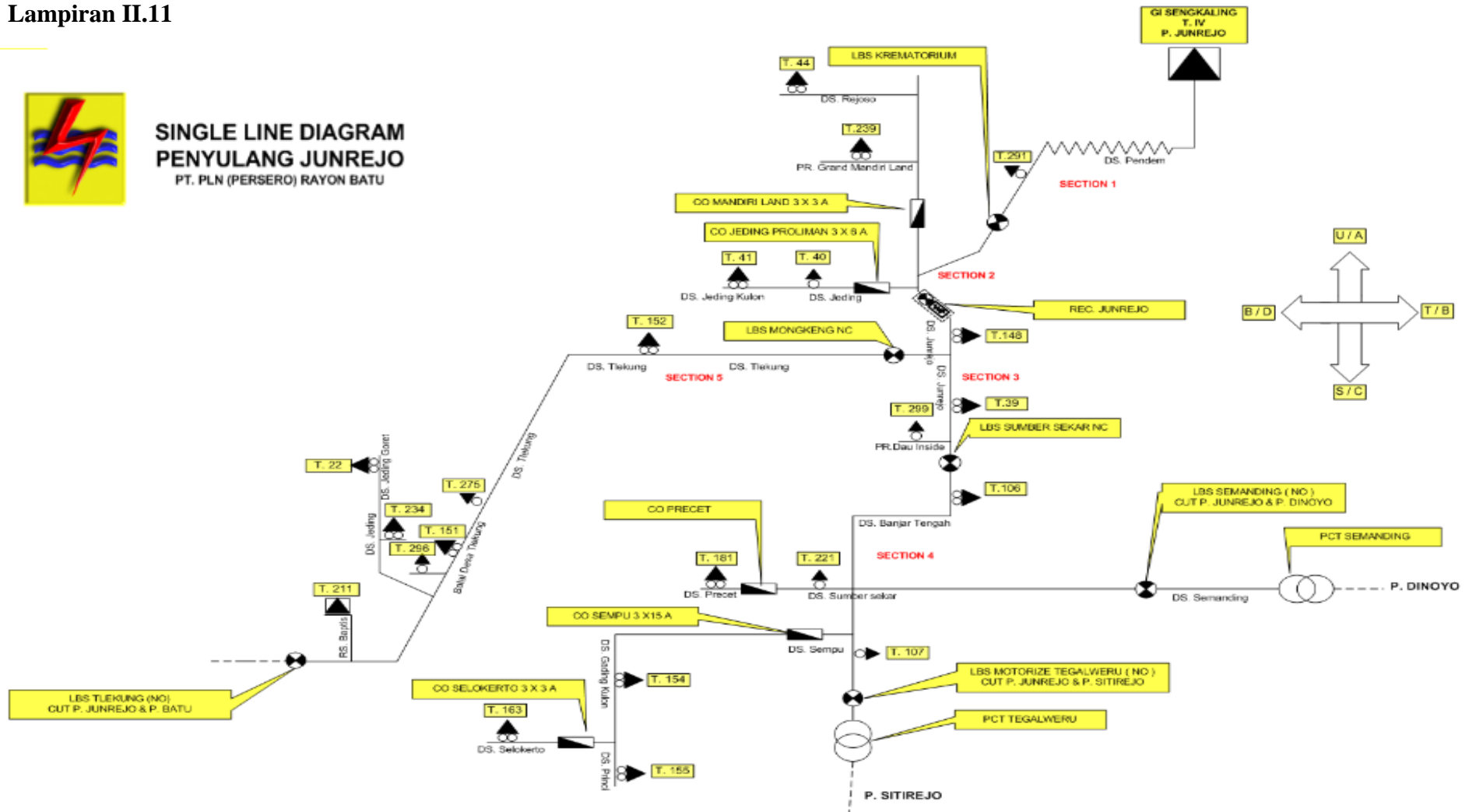
| PENYULANG         | RAYON       | GANGGUAN ( KALI ) |          |       | BULAN ( KALI ) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|-------------|-------------------|----------|-------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   |             | TEMPORER          | PERMANEN | TOTAL | JAN            | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC |
| Abd. Rahman Saleh | BLIMBING    |                   | 2        | 2     |                |     |     |     | 1   |     |     |     |     | 1   |     |     |
| Banjarejo         | BLIMBING    |                   | 2        | 1     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1   |
| Batu              | BATU        |                   |          | 0     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Bunul             | MALANG KOTA |                   | 2        | 1     | 1              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Dinoyo            | DINOYO      |                   | 8        | 7     | 3              | 2   |     |     |     | 1   |     |     |     | 1   |     |     |
| Jodipan           | MALANG KOTA | 1                 | 1        | 2     |                | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1   |
| Junrejo           | BATU        | 3                 | 11       | 14    | 2              | 2   |     | 1   | 2   | 1   |     |     | 2   | 3   |     | 1   |
| Kedung Kandang    | BLIMBING    |                   | 1        | 1     |                |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |
| Lowok Waru        | MALANG KOTA |                   | 8        | 7     |                | 2   |     |     |     | 1   |     |     | 2   | 1   |     | 1   |
| Matos             | DINOYO      |                   | 1        | 1     | 1              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mawar             | DINOYO      | 3                 | 3        | 6     | 2              | 1   |     |     | 2   |     |     |     |     |     | 1   |     |
| MOG               | MALANG KOTA |                   |          | 0     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Pandanwangi       | BLIMBING    |                   |          | 0     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Patimura          | MALANG KOTA |                   | 5        | 5     |                | 1   | 1   |     | 1   |     |     |     |     | 1   |     | 1   |
| Pujon             | BATU        | 2                 | 1        | 2     |                |     |     |     |     |     |     |     |     | 2   |     |     |
| Selecta           | BATU        |                   | 1        | 2     |                |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     | 1   |
| Tegal Gondo       | DINOYO      | 2                 | 3        | 4     | 1              | 1   | 1   | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Telkom            | DINOYO      |                   | 1        | 0     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Wastra Indah      | BATU        | 2                 | 4        | 6     |                |     |     | 1   | 1   |     |     | 1   | 2   |     |     | 1   |

Sumber: APJ Malang

Lampiran II.11



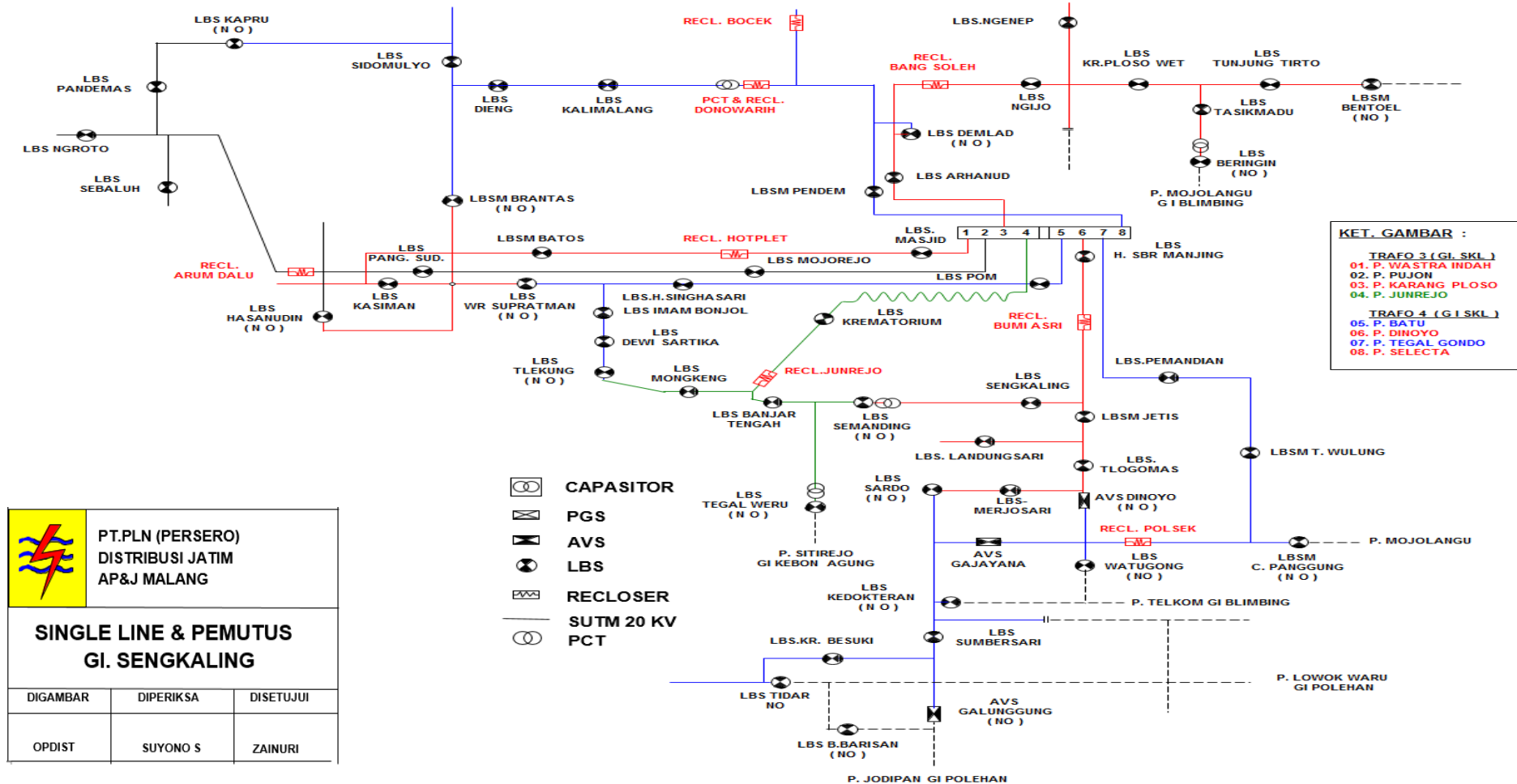
**SINGLE LINE DIAGRAM  
PENYULANG JUNREJO**  
PT. PLN (PERSERO) RAYON BATU



Gambar II.11 Diagram Satu Garis Penyulang Junrejo

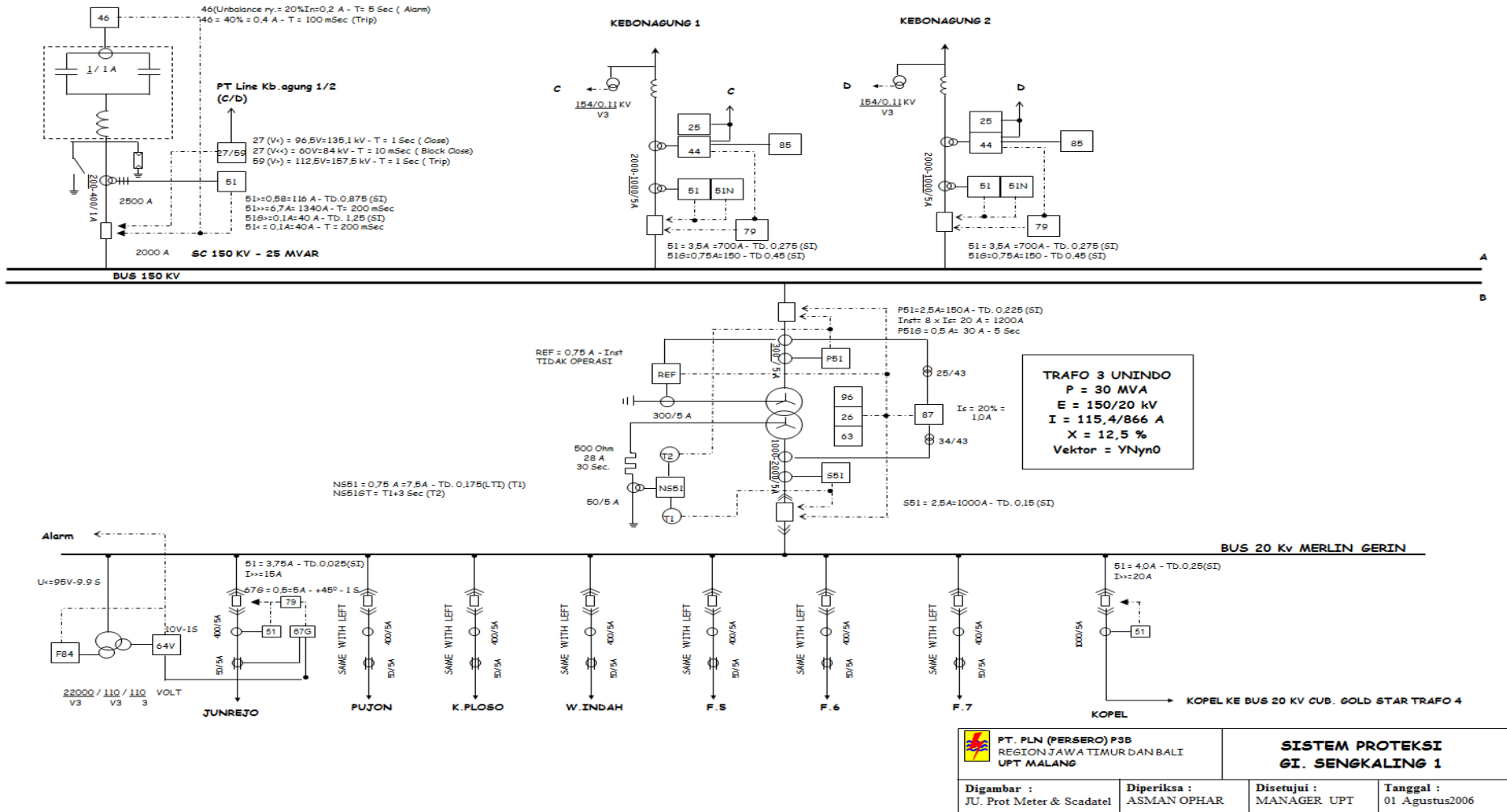
Sumber: APJ Malang

## Lampiran II.12



Gambar II.2 Diagram Satu Garis Proteksi Penyulang Gardu Induk Sengkaling Malang  
Sumber: APJ Malang

# Lampiran II.13



Gambar II.13 Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi Transformator Daya III Gardu Induk Sengkaling Malang  
 Sumber: APP Malang