

SKRIPSI

ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL DI GARDU INDUK BUMICOKRO PENYULANG APOLO



Disusun Oleh :

HELMI PRIYONO

02.12.095



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

MARET 2008

ABSTRAKSI

ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL DI GARDU INDUK BUMICOKRO PENYULANG APOLO

Helmi Priyono
Ir. Teguh Herbasuki, MT
Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT

Kata Kunci : I_{hs} 3 ϕ , PMT, Pelebur.

Dalam operasi sistem tenaga listrik terjadinya gangguan tidak dapat dihindarkan. Gangguan yang biasanya terjadi pada saluran distribusi adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, oleh sebab itu diperlukan peralatan proteksi untuk mengatasinya. Penyulang Apolo dari G.I Bumicokro merupakan penyulang 20 KV tipe radial yang berada di Kota Pasuruan. Sistem pengamanan penyulang ini menggunakan PMT, dan Pelebur.

Dari hasil Analisa Kerja Peralatan Proteksi didapatkan besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik 1 I_{hs} maks sebesar 673,274 Ampere, I_{hs} min 290,312 Ampere, sedangkan pada titik ke 2 I_{hs} maks sebesar 664,921 Ampere, I_{hs} min 289,543 Ampere. Hal tersebut menyatakan bahwa pada titik satu ke titik yang lainnya berbeda-beda bergantung pada jarak gangguan dari G.I, begitu pula dengan jenis pelebur yang digunakan harus disesuaikan dengan arus beban yang mengalir pada jaringan distribusi.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan Puji Syukur Kehadirat ALLAH SWT atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan, sehingga sangat diharapkan adanya saran dan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk membantu penyelesaian penyusunan skripsi ini. Dalam penyusunan laporan skripsi ini, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
3. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Irtine Budi Sulistiawati, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II
5. Orang Tua Tercinta yang selalu memberikan semangat, dan dukungan serta do'a.
6. Kakak dan Adikku Tercinta yang selalu memberi motivasi di dalam penyusunan skripsi ku ini.
7. Teman-temanku yang telah memberikan bantuan serta saran dan kritik yang membangun.

8. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya pada jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, 2008

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Pembahasan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metode Pembahasan	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi	5

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2. Sistem Pengaman Pada Jaringan Distribusi	7
2.2.1. Pengaman Arus Lebih	8

2.3. Relay Pengaman	10
2.4. Komponen-Komponen Simetris	12
2.5. Gangguan Pada Sistem Distribusi	15
2.6. Gangguan Hubung Singkat	15
2.6.1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah	16
2.6.2. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa	17
2.6.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah	18
2.6.4. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	19
2.7. Impedansi Pada Sistem Distribusi	20
2.7.1. Impedansi Sumber	20
2.7.2. Impedansi Trafo Tenaga	21
2.7.3. Impedansi Pengetanahan	22
2.7.4. Impedansi Gangguan	22
2.8. Koordinasi Sistem Pengaman Jaringan	23
2.8.1. Koordinasi Pelebur dengan Pelebur	24
2.8.2. Koordinasi PMT dengan Pelebur	25

BAB III SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG APOLO

3.1. Sistem Distribusi 20 KV Penyulang Apolo	26
3.2. Pengaman jaringan di Gardu Induk	27
3.2.1. PMT	27
3.2.2. Over Current Relay	28
3.2.3. Reclosing Relay	32

3.3. Pelebur	32
3.4. Algoritma Pemecahan Masalah	38

**BAB IV ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA SISTEM
DISTRIBUSI 20 KV DI G.I BUMI COKRO**

4.1. Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Gardu Induk Bumi Cokro Penyulang Apolo.....	39
4.2. Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	40
4.3. Analisis Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	43
4.4. Analisis Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.....	49
4.5. Analisis Kinerja Sistem Pengaman Jaringan Distribusi di G.I Bumicokro Penyulang Apolo Untuk Gangguan Tiga Fasa	56
4.6. Analisis Kinerja Sistem Pengaman Jaringan Distribusi di G.I Bumicokro Penyulang Apolo Untuk Gangguan Antar Fasa.....	58

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	6
Gambar 2.2. Pelebur	9
Gambar 2.3. PMT Udara	9
Gambar 2.4. Satu Himpunan Fasor yang merupakan komponen simetris Dari tiga fasor tak seimbang	12
Gambar 2.5. Penjumlahan Secara Grafis Komponen Seimbang untuk mendapatkan Fasor tak seimbang.....	13
Gambar 2.6. Diagram Fasor berbagai pangkat dari operator a.....	13
Gambar 2.7. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	16
Gambar 2.8. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.....	17
Gambar 2.9. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah	18
Gambar 2.10. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	19
Gambar 2.11. Koordinasi Pelebur dengan Pelebur.....	24
Gambar 2.12. Koordinasi PMT dengan Pelebur	25
Gambar 3.1. Single Line Penyulang Apolo	26
Gambar 3.2. Kurva Karakteristik Relay OCR.....	31
Gambar 3.3. Kurva Karakteristik Pelebur Waktu Leleh Minimum.....	34
Gambar 3.4. Kurva Karakteristik Pelebur Waktu Leleh Maximum	35
Gambar 3.5. Flow Chart Algoritma Pemecahan Masalah	38
Gambar 4. Single Line Diagram Penyulang Apolo	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. Arus Gangguan Hubung Singkat.....	19
Tabel 3.1. Data Pengujian Arus Kerja	30
Tabel 3.2. Koordinasi Antar Pelebur Jenis Letupan	36
Tabel 3.3. Impedansi Urutan Positif dan Nol Penghantar AAAC	37
Tabel 3.4. Jenis Pelebur Tipe T dan Kapasitas Arus Pemutusan Maksimumnya.....	37
Tabel 4. Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Maksimum dan Minimum serta Kapasitas Pemutusan Arus Dan Jenis Pelebur yang Digunakan	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam operasi sistem tenaga listrik terjadinya gangguan tidak dapat dihindarkan. Gangguan yang biasanya terjadi pada saluran distribusi adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, untuk mengatasinya diperlukan peralatan proteksi yaitu PMT dan pelebur. Suatu sistem tenaga listrik dapat terjamin keandalannya jika suatu sistem tersebut mampu mengisolir bagian yang terganggu secepat mungkin ketika terjadi gangguan sehingga efek yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut tidak meluas dan meminimalkan kerugian yang terjadi dalam sistem.

Penyulang Apolo dari G.I Bumi Cokro merupakan penyulang 20 KV tipe radial yang berada di Kota Pasuruan. Sistem pengamanan penyulang Apolo menggunakan PMT yaitu saklar yang di desain untuk memutus arus gangguan yang kerjanya diperintah oleh OCR (*Over Current Relay*) dan pelebur yaitu alat pengaman arus lebih yang berfungsi memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam waktu yang cukup. Kedua peralatan tersebut berfungsi untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan distribusi beserta peralatannya.

1.2. Rumusan Masalah

Melihat pentingnya peralatan tersebut untuk mengatasi gangguan hubung singkat tiga fasa, maka permasalahan yang akan dikaji dalam skripsi ini adalah :

Berapa besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan sejauh mana kemampuan kerja peralatan proteksi (PMT dan pelebur) pada saat terjadi gangguan tiga fasa. Sehubungan dengan hal itu, maka skripsi ini diberi judul :

**"ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL
DI GARDU INDUK BUMICOKRO PENYULANG APOLO"**

1.3. Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan dari pembahasan skripsi adalah :

1. Menghitung besarnya arus hubung singkat tiga fasa.
2. Menganalisa kerja peralatan proteksi pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa.

1.4. Batasan Masalah

Permasalahan pada jaringan sistem distribusi adalah merupakan permasalahan yang luas sehingga dalam menganalisa suatu permasalahan perlu diadakan pembatasan-pembatasan yang sesuai dengan permasalahan tersebut.

Didalam penulisan skripsi ini pembatasan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Jaringan distribusi primer yang dibahas adalah penyulang Apolo yang merupakan salah satu out going Gardu Induk Bumi Cokro di PT. PLN (Persero) Pasuruan Jawa Timur.
2. Setting PMT dan pelebur di Gardu Induk Bumi Cokro Penyulang Apolo.
3. Analisa dilakukan pada saat jaringan distribusi mengalami gangguan.
4. Analisis perhitungan gangguan hubung singkat tiga fasa.
5. Menganalisa kerja pelebur pada saat terjadi gangguan.

1.5. Metode Pembahasan

Metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi adalah :

1. Studi Literatur, yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.
 2. Pengambilan data sebagai acuan dalam melengkapi parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisis masalah.
 - Data Kuantitatif yaitu data yang dapat dihitung atau berupa angka-angka, yang terdiri dari :
 - a. Data beban
 - b. Data saluran
 - Data Kualitatif yaitu data yang berbentuk diagram, dalam hal ini *single line diagram*.
-

3. Melakukan analisis

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah yang tepat mengenai hal-hal yang akan dibahas maka dalam skripsi ini disusun sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang meliputi latar belakang yang melandasi skripsi yang dibahas, rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Disini akan diuraikan mengenai sistem jaringan distribusi, sistem pengaman pada jaringan distribusi, relay pengaman, komponen-komponen simetris, gangguan pada sistem distribusi, Impedansi pada sistem distribusi dan koordinasi sistem pengaman jaringan.

BAB III : SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA PENYULANG APOLO

Pada bab ini berisi tentang data jaringan serta data peralatan proteksi yang terdiri dari pelebur dan PMT pada sistem distribusi 20 KV Penyulang Apolo.

BAB IV : ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI GARDU IINDUK BUMI COKRO PENYULANG APOLO.

Pada bab ini akan dibahas tentang besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa serta kemampuan kerja dari peralatan proteksi pada saat terjadi gangguan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab terakhir yang merupakan intisari dan hasil pembahasan, berisikan kesimpulan dan saran-saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

1.7. Relevansi

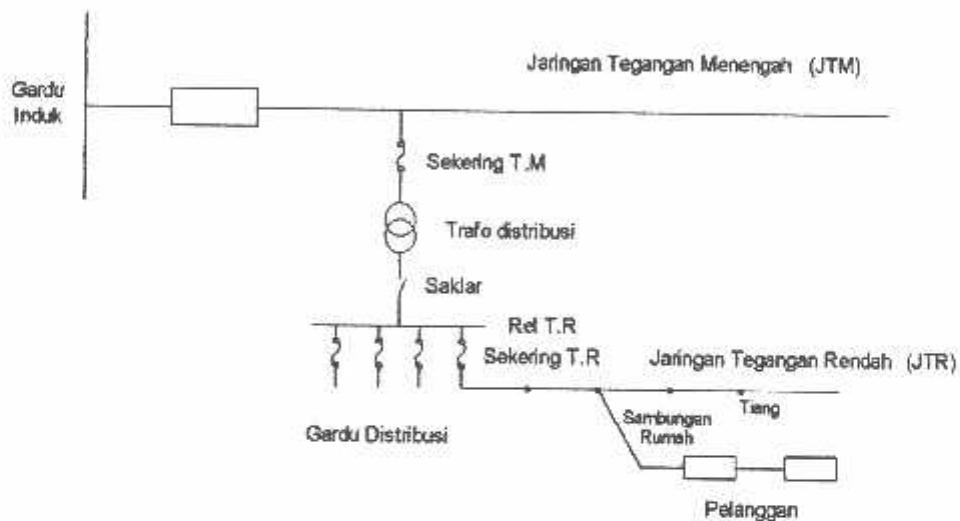
Dengan penggunaan peralatan proteksi (PMT dan Pelebur) pada jaringan distribusi diharapkan dapat menghilangkan gangguan hubung singkat tiga fasa. Semakin cepat reaksi peralatan proteksi yang digunakan maka akan sedikit pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik^[7]

Jaringan distribusi berada pada akhir sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen melalui gardu distribusi.



Gambar 2.1.

Jaringan distribusi tegangan menengah (JTM), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan rumah ke Pelanggan

Jaringan setelah dari G.I disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk

selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah atau pelanggan PLN melalui sambungan rumah.

Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikannya menjadi dua bagian sistem berdasarkan tingkat tegangan distribusinya yaitu :

- a. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)
- b. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

2.2. Sistem Pengaman Pada Jaringan Distribusi^[7]

Pada jaringan distribusi peralatan pengaman yang dipakai dapat dibedakan menjadi :

1. Pengaman Arus Lebih
2. Pengaman Tegangan Lebih

Yang dimaksud proteksi atau pengaman terhadap peralatan adalah sistem pengaman yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi dan Distribusi terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri. Yang dimaksud dengan kondisi abnormal antara lain :

- Hubung singkat
 - Tegangan lebih / kurang
 - Beban lebih
 - Frekuensi sistem turun /naik
-

Adapun fungsi dari sistem proteksi adalah :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi peralatan proteksi yang digunakan, maka akan sedikit pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.
- Untuk cepat melokalisasi luas zone / daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listrik yang baik.
- Untuk mengamankan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

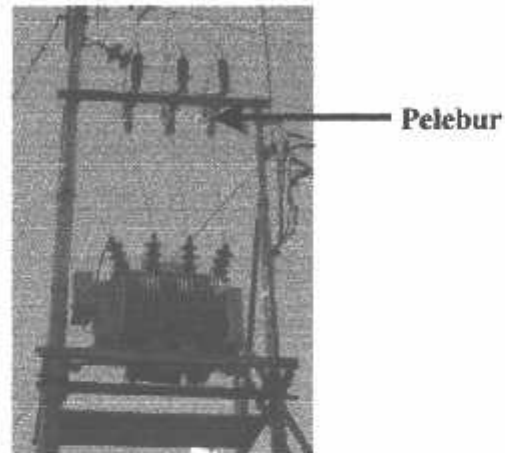
Agar sistem proteksi / pengaman dikatakan baik dan benar (dapat bereaksi dengan cepat dan tepat), maka diperlukan pemilihan dengan seksama dan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut :

- Macam saluran yang diamankan
- Pentingnya saluran dilindungi
- Kemungkinan banyaknya terjadi gangguan
- Tekno-ekonomis sistem yang digunakan

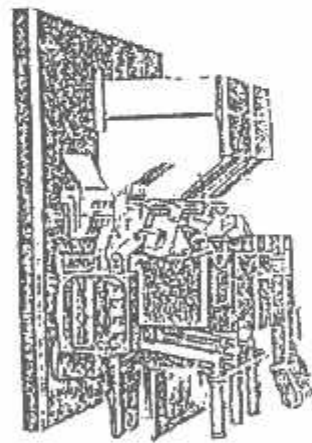
2.2.1. Pengaman Arus Lebih

Pada jaringan distribusi pengaman arus lebih adalah merupakan peralatan pengaman yang utama karena gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi adalah gangguan hubung singkat.

Ada beberapa sistem pengaman untuk jaringan distribusi diantaranya adalah menggunakan relay arus lebih pada PMT, dan Pelebur yang saling dikoordinasikan dalam operasinya.



Gambar 2.2. Pelebur



Gambar 2.3. PMT Udara

2.3. Relay Pengaman^[6]

Relay pengaman adalah peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memerintahkan pemutus beban terbuka, untuk memisahkan bagian dari peralatan yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel.

Pemutus dalam hal ini mempunyai kemampuan untuk memutus arus hubung singkat maksimum yang melewatinya dan juga harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat dan kemudian membukanya kembali.

Arus lebih yang terjadi akibat hubung singkat ini besar sekali harus dihindari supaya tidak merusak peralatan maupun jaringan

Syarat-syarat agar relay pengaman dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar adalah :

1. Cepat bereaksi

Relay harus cepat bekerja atau bereaksi bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relay adalah saat relay merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *Circuit Breaker* (CB) karena perintah dari relay. Relay yang bekerja pada saat gangguan akan mengurangi kerusakan peralatan serta membatasi daerah yang terjadi gangguan. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan bersifat sementara, maka relay yang semestinya bereaksi dengan cepat perlu di perlambat.

2. Selektif

Relay pengaman dikatakan selektif bila relay tersebut memiliki kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan. Hal ini menyangkut koordinasi pengaman dari sistem secara keseluruhan.

3. Peka/*Sensitive*

Relay harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan di daerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban atau respon.

4. Andal/*Reliability*

Keandalan relay dihitung dengan jumlah relay yang bekerja/mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relay dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99 %.

Keandalan dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu :

Dependability : Relay harus dapat diandalkan setiap saat.

Security : Tidak boleh salah kerja/ tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

5. Sederhana/*Simplicity*

Makin sederhana sistem relay semakin baik, mengingat setiap peralatan atau komponen relay kemungkinan mengalami kerusakan. Jadi sederhana maksudnya kemungkinan terjadi kerusakan kecil.

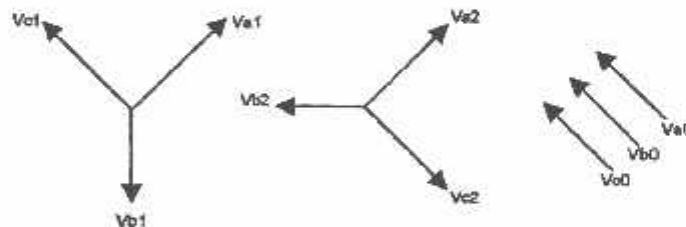
6. Murah/*Economy*

Relay sebaiknya yang murah, tanpa meninggalkan persyaratan-persyaratan yang ada.

2.4. Komponen-Komponen Simetris^[1]

Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah :

1. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120^0 dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.



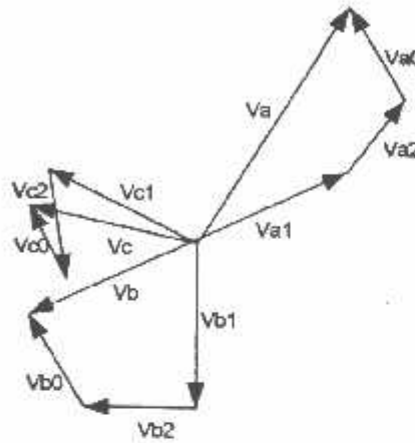
Gambar 2.4. Satu himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak seimbang

Penulisan Subskrip 0, 1 dan 2 menunjukkan urutan nol, urutan positif dan urutan negatif. Oleh karena itu, tiga fasor tak seimbang tegangan fasa V_a , V_b , V_c dapat dinyatakan dalam komponen simetrisnya sebagai berikut :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (2-1)$$

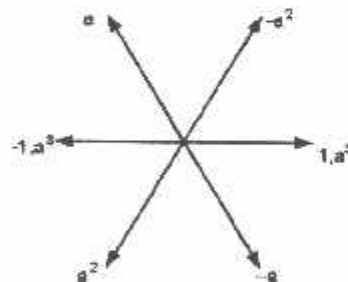
$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \dots\dots\dots (2-3)$$



Gambar 2.5. Penjumlahan secara grafis komponen seimbang untuk mendapatkan fasor tak seimbang

Huruf a biasanya digunakan untuk menunjukkan operator yang menyebabkan perputaran 120° dalam arah yang berlawanan arah dengan arah jarum jam. Operator semacam ini adalah bilangan kompleks yang besarnya satu dan sudutnya 120° .



Gambar 2.6. Diagram Fasor berbagai pangkat dari operator a

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1$$

Dengan menggunakan operator a , persamaan 2-1 sampai 2-3 dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (2-6)$$

Dalam bentuk matriks

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a \\ 1 & a^2 & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dari persamaan 2-8 diperoleh

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \dots\dots\dots (2-9)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \dots\dots\dots (2-10)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \dots\dots\dots (2-11)$$

Dari persamaan untuk tegangan diatas dapat ditulis persamaan untuk arus sebagai berikut :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

2.5. Gangguan Pada Sistem Distribusi⁽¹⁾

Macam gangguan (*fault*) pada sistem distribusi diatas tanah (saluran udara) dapat dibagi atas dua kelompok yaitu :

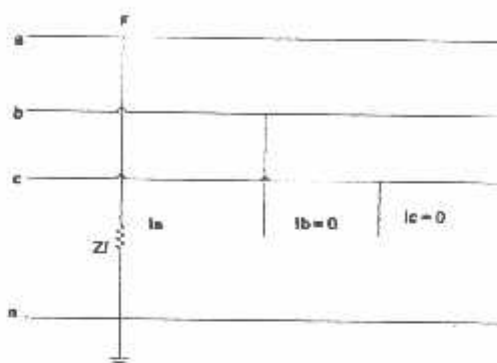
1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya.
2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

2.6. Gangguan Hubung Singkat⁽¹⁾

Ada empat macam gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada sistem distribusi yaitu :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
 2. Gangguan hubung singkat antar fasa
 3. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah
 4. Gangguan hubung singkat tiga fasa.
-

2.6.1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 2.7. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Gangguan terjadi pada fasa a

V_f = Tegangan di titik gangguan sebelum terjadi gangguan.

Z_1, Z_2, Z_0 = Impedansi urutan positif, negatif dan nol ditinjau dari titik gangguan.

$$I_b = 0$$

$$V_n = 0$$

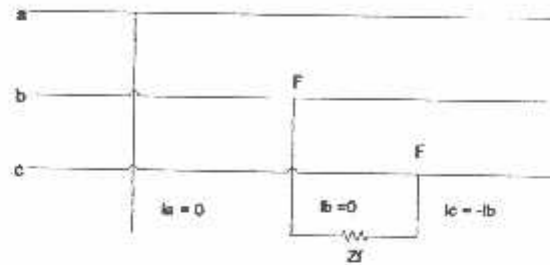
$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$I_a = 3 \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$I_a = 3 \frac{V_f}{2Z_1 + Z_0 + 3Z_f} \dots\dots\dots (2-20)$$

2.6.2. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa



Gambar 2.8. Gangguan hubung singkat antar fasa

Persamaan keadaan :

$$V_b = V_c \quad I_a = 0$$

$$I_b = -I_c \quad I_{a0} = 0$$

$$V_{a1} = V_{a2}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_f)} \dots \dots \dots (2-21)$$

$$Z_1 = Z_2 \text{ maka } I_{a1} = \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \dots \dots \dots (2-22)$$

$$I_b = -I_c = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \dots \dots \dots (2-23)$$

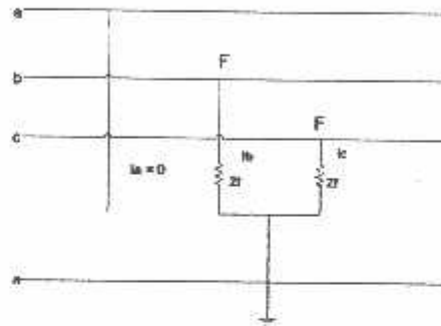
$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

$$I_b = (a^2 - a) I_{a1}$$

$$I_b = -j I_{a1} \sqrt{3} \dots \dots \dots (2-24)$$

$$= -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots (2-25)$$

2.6.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah



Gambar 2.9. Gangguan hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan terjadi antara fasa b dan c

$$V_b = V_c = 0$$

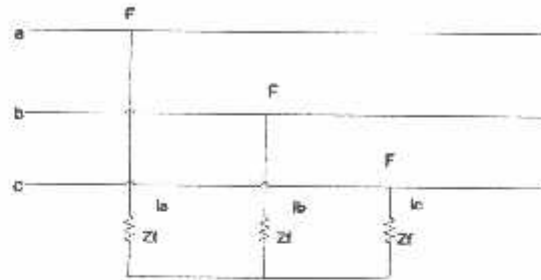
$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0}$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_f) + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f)}{(Z_0 + Z_2 + 2Z_f)}} \dots\dots\dots (2-26)$$

2.6.4. Gangguan Hubung singkat Tiga fasa



Gambar 2.10. Gangguan hubung singkat tiga fasa

$$V_a = V_b = V_c$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots (2-27)$$

Tabel 2. Arus Gangguan Hubung Singkat

Jenis Gangguan Hubung Singkat	Arus Gangguan Hubung Singkat
Satu fasa ke tanah	$I_f = 3 \frac{V_f}{2Z_1 + Z_0 + 3Z_f}$
Antar fasa	$I_f = -j\sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f}$
Dua fasa ke tanah	$I_f = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_f) + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f)}{(Z_0 + Z_2 + 2Z_f)}}$
Tiga fasa	$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f}$

2.7. Impedansi Pada Sistem Distribusi

2.7.1. Impedansi Sumber

Impedansi sumber di sisi tegangan tinggi dapat dihitung apabila diketahui $MVA_{\text{hubung singkat}}$ dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_s = \frac{kV_{TT}^2}{MVA_{hs}} \dots\dots\dots (2-28)$$

dimana :

Z_s = Impedansi sumber (Ω)

kV_{TT} = Tegangan pada sisi tegangan tinggi (kV)

MVA_{hs} = MVA hubung singkat (MVA)

Karena selanjutnya dilakukan analisis pada sistem tegangan menengah, dalam hal ini 20 kV, maka impedansi sumber pada sisi tegangan tinggi harus di transfer ke sisi tegangan menengah, dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_s = \frac{kV_{TT}^2}{MVA_{hs}} \times \frac{kV_{TM}^2}{kV_{TT}^2} \dots\dots\dots (2-29)$$

dimana :

Z_s = Impedansi sumber (Ω)

kV_{TT} = Tegangan pada sisi tegangan tinggi (kV)

kV_{TM} = Tegangan pada sisi tegangan menengah (kV)

MVA_{hs} = MVA hubung singkat (MVA)

2.7.2. Impedansi Trafo Tenaga

Jika impedansi trafo tenaga di Gardu Induk dalam prosentase diketahui, maka impedansi trafo dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_T = \frac{(\%Z_T)(kV_{TM}^2)}{MVA_T} \dots\dots\dots (2-30)$$

dimana :

Z_T = Impedansi trafo tenaga (Ω)

$\%Z_T$ = Impedansi trafo tenaga (%)

kV_{TM} = Tegangan pada sisi tegangan menengah (kV)

MVA_{ts} = Daya trafo tenaga (MVA)

Impedansi yang dihasilkan merupakan impedansi urutan positif dan urutan negatif. Impedansi urutan nol trafo dapat ditentukan dengan memperhatikan ada atau tidaknya belitan delta pada trafo.

- Trafo tenaga di G.I dengan berhubungan Yy dan mempunyai belitan delta didalamnya, nilai impedansi urutan nol trafo sama dengan tiga kali impedansi urutan positif.

$$Z_{TO} = 3 \times Z_{TI}$$

- Trafo tenaga di G.I dengan hubungan Yy dan tidak mempunyai belitan delta didalamnya, nilai impedansi urutan nol trafo berkisar antara 9 sampai dengan 14 kali impedansi urutan positif.

2.7.3. Impedansi Pengetanahan

Impedansi Pengetanahan besarnya tergantung pada jenis pengetanahan dair sistem, dimana untuk pengetanahan dengan tahanan nilai impedansi pengetanahan sebanding dengan tiga kali nilai tahanan pengetanahan.

$$Z_n = 3 R_N \dots\dots\dots (2-31)$$

Dimana :

Z_N = Impedansi Pengetanahan (Ω)

R_N = Tahanan Pengetanahan (Ω)

Sistem distribusi 20 kV di Jawa Timur menggunakan pengetanahan netral melalui tahanan tinggi dengan nilai tahaan sebesar 500 (Ω), sehingga :

$$Z_n = 3 \times 500 = 1.500 (\Omega)$$

2.7.4. Impedansi Gangguan

Impedansi gangguan besarnya sangat bervariasi tergantung pada jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan distribusi dan pentanahan jaringan distribusi. Arus gangguan hubung singkat maksimum terjadi saat impedansi gangguan minimum, untuk gangguan antar fasa yaitu $Z_f = 0 (\Omega)$. Sedangkan arus gangguan hubung singkat minimum terjadi saat impedansi gangguan maksimum untuk gangguan antar fasa, $Z_f = 35 (\Omega)$.

2.8. Koordinasi Sistem Pengaman Jaringan^[7]

Proses pemilihan peralatan pengaman arus lebih dengan beberapa setting waktu arus dan susunan yang tepat secara seri sepanjang jaringan distribusi agar jaringan dan peralatan bebas dari gangguan menurut urutan operasi yang telah ditentukan sebelumnya disebut koordinasi. Saat dua peralatan pengaman yang dipasang seri mempunyai karakteristik yang sesuai dengan urutan operasi disebut terkoordinasi atau kolektif. Peralatan yang diset untuk beroperasi pertama untuk mengisolir gangguan (atau memutus arus gangguan) disebut peralatan pemroteksi. Alat ini digunakan untuk pengaman peralatan ditribusi pada sistem dari gangguan. Alat yang mem *back_up* pengamanan, tetapi hanya beroperasi jika peralatan pemroteksi gagal beroperasi untuk membersihkan gangguan disebut peralatan yang diproteksi.

Sistem pengamanan distribusi bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya, dan keselamatan umum yang disebabkan karena gangguan dan meningkatkan kelangsungan pelayanan pada konsumen. Cara macam dan tingkat pengamanan yang diterapkan tergantung pada banyak faktor (antara lain : sistem yang ada termasuk cara pentanahannya, peralatan, kondisi dan peraturan setempat dan macam beban) dan merupakan kompromi praktis yang memungkinkan untuk cukup memenuhi kebutuhan dan yang sebanding dengan biayanya.

2.8.1 Koordinasi pelebur dengan pelebur

Pemilihan rating pelebur agar memberikan pengamanan yang memadai pada jaringan dimana pelebur ditempatkan tergantung beberapa faktor antara lain pelebur yang dipilih harus mampu dilewati arus beban penuh dan harus selektif dengan peralatan pengamanan yang terpasang seri dengannya. Pelebur juga harus mempunyai jangkauan pengamanan yang cukup, yaitu mempunyai kemampuan untuk menghilangkan arus gangguan minimum yang terjadi pada daerah jangkauannya dalam waktu yang ditentukan



Gambar 2.11. Koordinasi Pelebur dengan pelebur

Prinsip koordinasi antara dua pelebur adalah memberi kesempatan kepada pelebur sisi beban pelebur pemroteksi) yang berada di depan terdekat dari titik gangguan untuk bekerja sepenuhnya (memutus rampung) terlebih dahulu, sebelum pelebur sebelah hulu (sisi sumber, yang diproteksi) berikutnya yang bertindak sebagai cadangan mulai bekerja.

Waktu pemutusan pelebur ada tiga, yaitu:

1. Waktu prabusur atau waktu leleh (*Pre Arcing Time or Melting Time*)

Yaitu waktu antara permulaan timbulnya arus gangguan yang menyebabkan rusaknya elemen pelebur sampai timbulnya busur permulaan.

2. Waktu busur (*Arcing Time*)

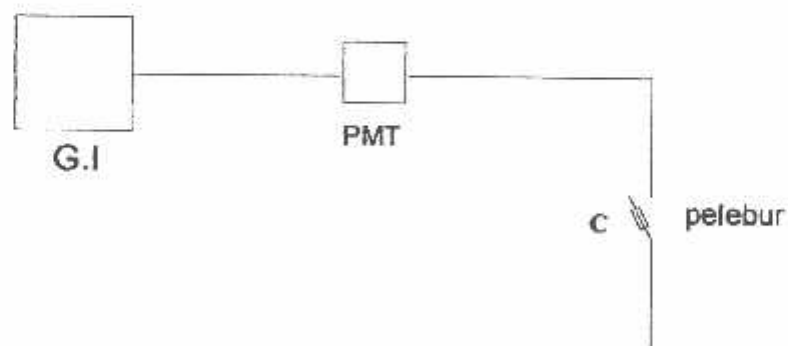
Yaitu waktu antara saat timbulnya busur permulaan sampai saat padamnya busur.

3. Total waktu pemutusan (*Total Clearing Time*)

Yaitu waktu antara mulai timbulnya arus gangguan sampai saat pemutusan arus gangguan, atau jumlah waktu prabusur dan waktu busur.

2.8.2. Koordinasi PMT dengan Pelebur

Prinsip koordinasi antara PMT dan Pelebur adalah memberikan kesempatan pada pelebur yang berada di dekat titik gangguan untuk bekerja sepenuhnya (memutus rampung) terlebih dahulu, sebelum PMT bekerja



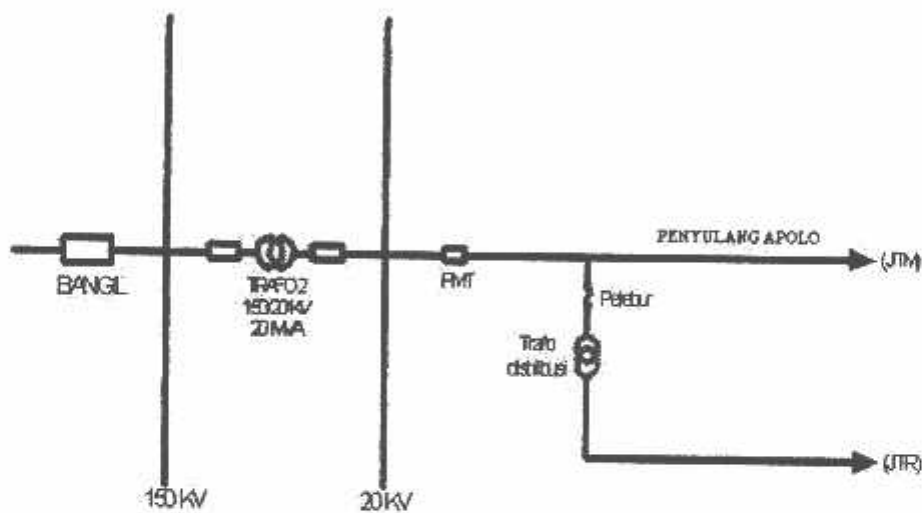
Gambar 2.12. Koordinasi PMT dengan pelebur

BAB III

SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG APOLO

3.1. Sistem Distribusi 20 KV Penyulang Apolo

Penyulang Apolo merupakan penyulang tipe radial yang memiliki panjang saluran terjauh di antara beberapa penyulang yang lain. Penyulang ini memperoleh pasokan energi dari Gardu Induk Bumi Cokro. Sedangkan Gardu Induk Bumi Cokro memperoleh saluran transmisi dari Gardu Induk Bangil.



Gambar 3.1. Single Line Diagram Penyulang APOLO

Gardu Induk Bumi Cokro memiliki dua buah trafo tenaga untuk menurunkan tegangan tinggi 150 KV menjadi tegangan menengah 20 KV. Pada penyulang Apolo menggunakan trafo 2 yaitu trafo mobil fuji. Trafo tenaga tersebut mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

MVA Trf	: 20 MVA
X reaktansi	: 13,18 %
In P Trf (A)	: 77 A

In S Trf (A)	: 577 A
Vector	: Ynd1
Ratio CT p	: 400/5 A
Ratio CT s	: 2000/5 A
Tahanan Pembumian	: 500 Ω
MVA _{hs}	: 525 MVA

Jaringan distribusi penyulang Apolo menggunakan penghantar AAAC 150 mm². Jaringan distribusi penyulang Apolo berada dibawah wewenang Kantor PT. PLN (PERSERO) APJ Pasuruan Jawa Timur.

3.2. Pengaman Jaringan di Gardu Induk

Pengaman jaringan di Gardu Induk Bumi Cokro untuk penyulang Apolo meliputi PMT sebagai pemutus rangkaian listrik yang dalam operasinya mendapatkan instruksi membuka atau menutup dari beberapa relay yaitu OCR dan relay penutup balik.

3.2.1. PMT

PMT atau pemutus tenaga adalah suatu pemutus rangkaian listrik yang mampu dioperasikan dalam keadaan beban nominal ataupun pada saat terjadi gangguan.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus tenaga adalah :

1. Harus mampu menutup dan dialiri arus beban penuh dalam waktu lama.
 2. Membuka otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih
 3. Harus memutus cepat bila terjadi hubung singkat.
-

4. Celah (*gap*) harus tahan terhadap tegangan rangkaian, bila kontak membuka.
5. Mampu dialiri arus hubung singkat gangguan hilang.
6. Mampu menahan efek dari arching kontakannya. Gaya elektromagnetik atau kondisi thermal yang tinggi akibat hubung singkat.

Keuntungan pemutus tenaga dengan ruang hampa sebagai peredam busur api adalah :

1. Pemadaman busur api cepat
2. Noise kecil
3. Umur kontak lebih panjang
4. Mengurangi kemungkinan ledakan
5. Sedikit pemeliharaannya.
6. Dapat dipakai di semua lokasi.

Data spesifikasi PMT yang digunakan untuk proteksi Penyulang Apolo yaitu :

Pabrik	: GOLDSTAR
Jenis	: VCB
Type	: GVB-M/600-1000/20MFI-W
I_p	: 630 ampere
V_n	: 24 kV

3.2.2. Over Current Relay

Relay ini pada dasarnya mengamankan adanya arus lebih pada sistem atau peralatan, tetapi supaya tidak dikacaukan dengan pengaman beban lebih yang dikaitkan dengan kemampuan thermal dari peralatan yang diamankan,

tetapi relay ini terutama menghilangkan adanya gangguan yang sifatnya hubung singkat. Pengamanan dengan menggunakan relay arus lebih mempunyai beberapa keuntungan, yaitu :

1. Dapat mengamankan arus lebih, yang terjadi karena hubung singkat atau beban lebih.
2. Dapat berfungsi sebagai pengaman utama dan juga merupakan pengaman cadangan.
3. Penyetelannya mudah untuk jaringan yang radial.
4. Harganya relatif murah.

Adapun beberapa kerugian pengamanan dengan relay arus lebih yaitu :

1. Jangkauan relay berubah-ubah tergantung jumlah pembangkitan.
2. Untuk relay arus lebih waktu terbalik kerjanya dipengaruhi oleh jumlah pembangkitan.
3. Untuk jaringan dengan sirkuit ganda tanpa dilengkapi relay arah tidak dapat selektif.
4. Untuk jaringan radial yang dipasok dari dua pusat pembangkit, sistem pengamanan keseluruhan tidak selektif.
5. Untuk jaringan yang interkoneksi tidak dapat sebagai pengaman utama, karena sukar untuk dapat selektif.

Over Current Relay yang digunakan untuk menginstruksikan trip pada PMT penyulang Apolo di GI Bumi Cokro yaitu produksi dari ABB type SPAJ 140C. Relay ini mempunyai beberapa fungsi, yaitu :

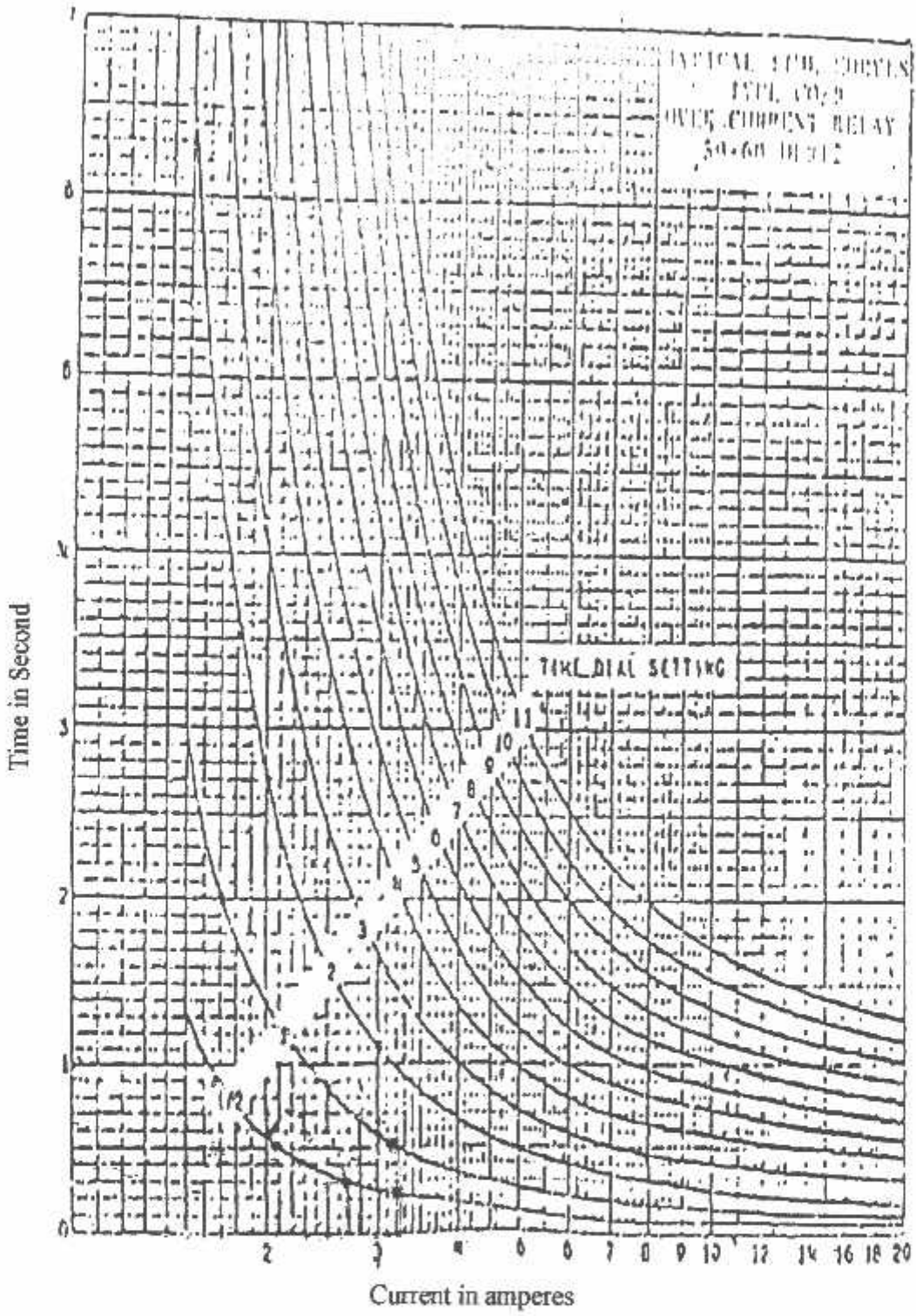
1. Fungsi sebagai proteksi adalah mendeteksi gangguan dan memberikan perintah trip PMT melalui kontaknya.
2. Fungsi sebagai meter adalah fasilitas relay yang dapat digunakan untuk melihat arus yang mengalir saat itu (arus sekunder).
3. Fungsi sebagai perekam arus gangguan adalah mencatat besarnya arus gangguan yang terjadi sebelum PMT trip.

Data spesifikasi OCR yang digunakan untuk memberikan perintah trip pada PMT penyulang Apolo yaitu :

Pabrik	: ABB
Type	: SPAJ 140C
Seri	: 30608
Ratio CT-ZCT	: 400/5
Data setting	
$I >$	: 300 ampere
$t >(TD)$	: 0,5 detik
$I >>$	: 1200 ampere
$t >>$	: 0,04 detik
I_0	: 0,15 ampere
t_0	: 3,0 detik

Tabel 3.1. Data Pengujian Arus Kerja

TAP (A) %	Phasa	Pick up	110 %	150 %	200 %	300 %	400 %	instan
Waktu kerja (OCR)	R	3,8	3,058	0,957	0,514	0,328	0,050	0,050
	S	3,8	2,998	1,131	0,537	0,335	0,050	0,050
	T	3,8	3,728	1,051	0,526	0,347	0,058	0,058



Gambar 3.2. Kurva Karakteristik Relay OCR

3.2.3. Reclosing Relay

Reclosing Relay atau relay penutup balik yang digunakan untuk menutup kembali PMT Penyulang Apolo di GI Bumi Cokro yaitu *Auto reclose Relay* Type WTX910 produksi dari Fuji Electric. Relay ini disetting untuk dua kali langsung trip to lockout (mengunci) dengan waktu padam 60 detik.

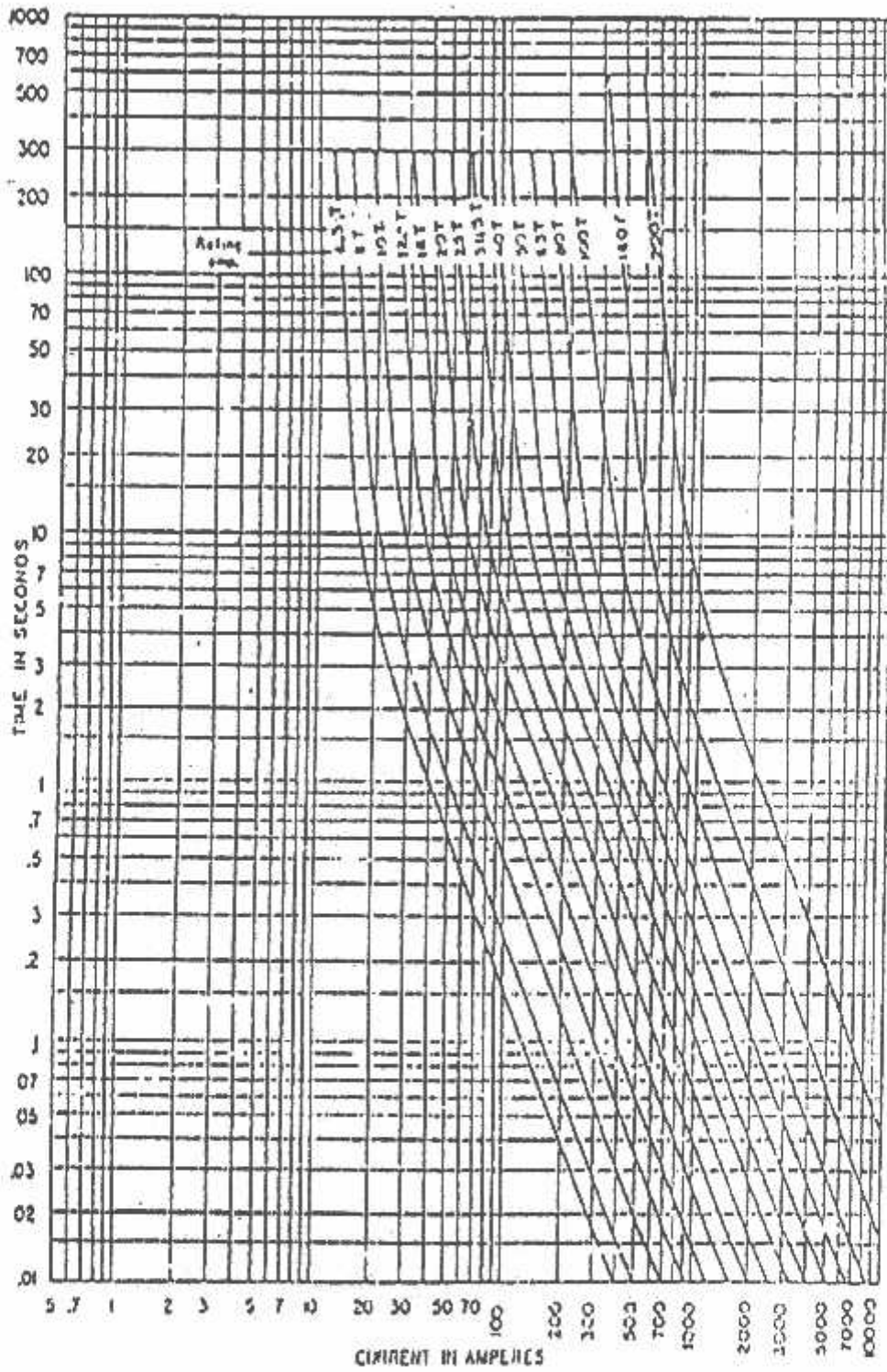
3.3. Pelebur

Pelebur adalah peralatan proteksi arus lebih yang akan membuka jaringan tenaga listrik dengan cara meleburkan bagian elemen proteksinya, karena terjadinya panas sebagai akibat adanya arus lebih akibat adanya gangguan pada jaringan tersebut. Untuk memperbaikinya kembali setelah gangguan hilang, dilakukan dengan jalan mengganti elemen yang sudah melebur dengan elemen baru yang mempunyai rating yang sama. Pelebur dipasang pada titik percabangan antara saluran utama (*trunk line*) dan saluran cabang. Pelebur gunanya untuk mengamankan jaringan dan peralatan yang berada di sebelah hilirnya terhadap gangguan permanen antar fasa dan tidak mengamankan gangguan fasa-tanah.

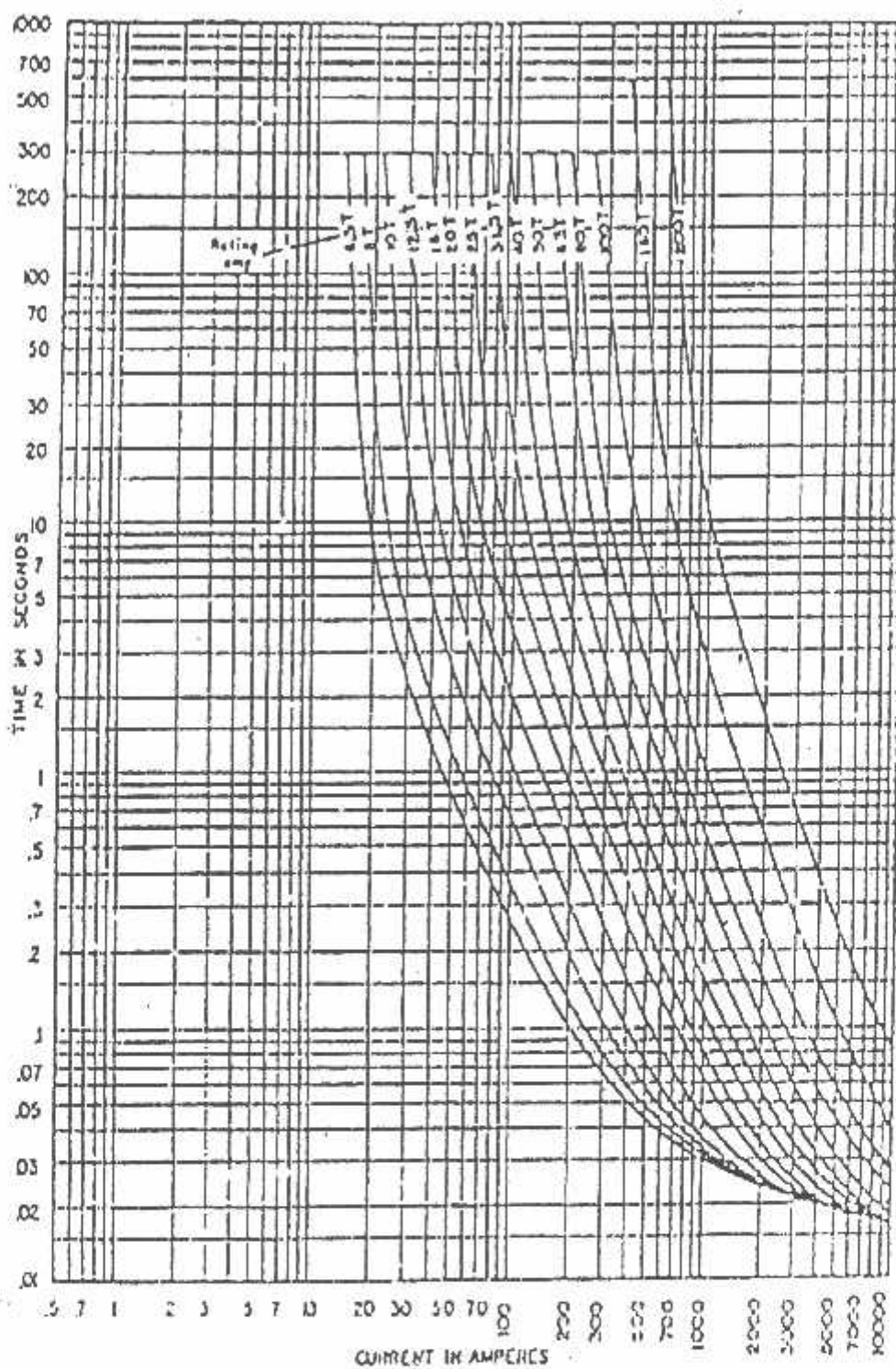
Pemilihan pelebur sebagai pengaman saluran cabang distribusi tegangan menengah harus didasarkan atas faktor-faktor sebagai berikut :

1. Kemampuan pelebur terhadap arus beban maksimum yang terus menerus, yang mencakup : arus beban normal, beban lebih, harmonis tetap dan perkiraan cadangan untuk pertumbuhan beban yang akan datang.
-

2. Koordinasi alat pengaman (PMT dan Pelebur) baik yang berada di sisi hulu (sumber) maupun di sisi hilir (beban) nya.
 3. Kemampuan pemutusan dari pelebur, khususnya bagi pelebur jenis letupan yang dipasang dekat G.I/Sumber daya.
 4. Batas ketahanan penghantar arus hubung singkat.
-



Gambar 3.3. Kurva Karakteristik Pelebur Waktu Leleh Minimum.



Gambar 3.4. Kurva Karakteristik Pelebur Waktu Leleh Maksimum

Tabel 3.3. Impedansi urutan positif dan nol penghantar AAAC

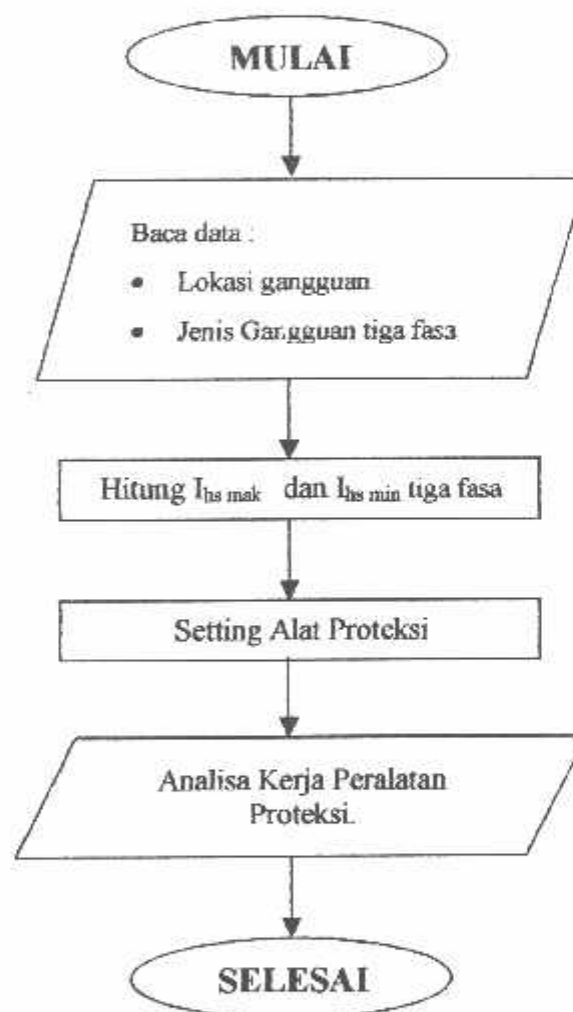
Penampang Nomial (mm^2)	Jari-jari (mm)	Jumlah Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km)	Impedansi urutan nol (ohm/km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161+j0,4036	1,1641+j1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903+j0,3895	1,4384+j1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217+j0,3790	1,0697+j1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452+j0,3678	0,7932+j1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608+j0,3572	0,6088+j1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396+j0,3449	0,4876+j1,6324
120	6,1791	19	4,6807	0,2688+j0,3376	0,4168+j1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162+j0,3305	0,3441+j1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744+j0,3239	0,3224+j1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344+j0,3158	0,2824+j1,6033

Tabel 3.4. Jenis Pelebur Tipe T Dengan Kapasitas Arus Tenaganya

Jenis Pelebur Tipe T	Kapasitas Arus Tenaganya
6,3 T	9,45 Ampere
8 T	12 Ampere
10 T	15 Ampere
16 T	24 Ampere
20 T	30 Ampere
25 T	37,5 Ampere
31,5 T	47,25 Ampere
40 T	60 Ampere
50 T	75 Ampere
63 T	94,5 Ampere
80 T	120 Ampere
100 T	150 Ampere
160 T	240 Ampere
200 T	300 Ampere

3.4. Algoritma pemecahan masalah :

1. Baca data meliputi lokasi gangguan dan jenis gangguan tiga fasa.
2. Hitung arus hubung singkat maksimal dan arus hubung singkat minimal tiga fasa.
3. Setting alat proteksi pada penyulang Apolo dari G.I. Bumicokro.
4. Analisa kerja peralatan proteksi mengatasi gangguan tiga fasa
5. Selesai.

**Gambar 3.5. Flow Chart Algoritma Pemecahan Masalah**

BAB IV
ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI
PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI GARDU INDUK
BUMICOKRO PENYULANG APOLO

4.1 Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Gardu Induk Bumicokro

Penyulang Apolo

Data :

Kapasitas	: 20 MVA
Tegangan	: 150/20 KV
Reaktans	: 13,18 %
In P Trafo	: 77 Ampere
In S Trafo	: 577 Ampere
Ratio CTP	: 400/5 Ampere
Ratio CTS	: 2000 /5 Ampere
Tahanan Pembumian	: 500 Ω
MVA _{hs}	: 525 MVA

Impedansi Sumber

$$Z_s = \frac{KV_{TT}^2}{MVA_{hs}} \times \frac{KV_{TM}^2}{KV_{TT}^2} \Omega = \frac{150^2}{525} \times \frac{20^2}{150^2} = j 0,762 \Omega$$

Impedansi Trafo Tenaga

$$Z_{T1} = Z_{T2} = X_T \times \frac{KV_{TM}^2}{MVA_{trafo}} \Omega = 13,18 \% \times \frac{20^2}{20} = j 2,63 \Omega$$

Karena Trafo tenaga mempunyai hubungan Y-Y dimana kumparan sisi primer dan sisi sekunder di ketanahkan, serta mempunyai belitan delta dengan kapasitas sepertiga kapasitas primer (sekunder) maka :

$$Z_{T0} = 3 \times Z_{T1}$$

$$Z_{T0} = 3 \times j 2,63 = 7,89 \Omega$$

Impedansi Saluran Utama (AAAC 150 mm²)

$$Z_{L1} = 0,2162 + j0,3305 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{L2} = 0,2162 + j0,3305 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{L0} = 0,3441 + j1,6180 \Omega/\text{km}$$

Impedansi Pengantanan titik netral sistem

$$Z_{N1} = 3 \times R_N = 3 \times 500 = 1500 \Omega$$

4.2. Analisis Gangguan hubung singkat tiga fasa

- Gangguan pada titik 1 (jarak 4,156 km dari GI)

$$Z_{L1} = (0,2162 + j 3,305) \times 4,156$$

$$= 0,898 + j 13,735 \Omega$$

$$Z_1 = Z_S + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$= j 0,762 + j 2,63 + 0,898 + j 13,735 \Omega$$

$$= 0,898 + j 17,127 \Omega$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,898 + j17,127} = 673,274 \quad \angle -86,99^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,898 + j17,127 + 35} = 290,312 \quad \angle -25,50^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 2 (jarak 4,221 km dari GI)

$$Z_{L1} = (0,2162 + j 3,305) \times 4,221$$

$$= 0,912 + j 13,950 \Omega$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\
 &= j 0,762 + j 2,63 + 0,912 + j 13,950 \Omega \\
 &= 0,912 + j 17,342 \Omega
 \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,912 + j17,342} = 664,921 \quad \angle -86,98^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,912 + j17,342 + 35} = 289,543 \quad \angle -25,77^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 3 (jarak 4,467 km dari GI)

$$\begin{aligned}
 Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 4,467 \\
 &= 0,965 + j 14,763 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\
 &= j 0,762 + j 2,63 + 0,965 + j 14,763 \Omega \\
 &= 0,965 + j 18,155 \Omega
 \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,965 + j18,155} = 635,126 \quad \angle -86,95^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,965 + j18,155 + 35} = 286,614 \quad \angle -26,78^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 4 (jarak 4,556 km dari GI)

$$\begin{aligned}
 Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 4,556 \\
 &= 0,985 + j 15,057 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\
 &= j 0,762 + j 2,63 + 0,985 + j 15,057 \Omega \\
 &= 0,985 + j 18,449 \Omega
 \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,985 + j18,499} = 624,997 \quad \angle -86,94^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{0,985 + j18,499 + 35} = 285,543 \quad \angle -27,14^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 5 (jarak 4,692 km dari GI)

$$\begin{aligned}
 Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 4,692 \\
 &= 1,014 + j 15,507 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\
 &= j 0,762 + j 2,63 + 1,014 + j 15,507 \Omega \\
 &= 1,014 + j 18,899 \Omega
 \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,014 + j18,899} = 610,107 \quad \angle -86,92^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,014 + j18,899 + 35} = 283,908 \quad \angle -27,68^\circ \text{ Ampere}$$

Gangguan hubung singkat tiga fasa maksimum dan minimum pada titik 6 sampai titik 78 dapat dilihat pada tabel 4

Analisis Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

- Gangguan pada titik 1 (jarak 4,156 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} = Z_{L2} &= (0,2162 + j 3,305) \times 4,156 \\ &= 0,898 + j 13,735 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{L0} &= (0,3441 + j 1,6180) \times 4,156 \\ &= 1,430 + j 6,724 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 0,898 + j 13,735 \Omega \\ &= 0,898 + j 17,127 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_{T0} + 3 Z_{NT} + Z_{L0} \\ &= j 7,89 + (3 \times 500) + 1,430 + j 6,724 \Omega \\ &= 1501,43 + j 14,614 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{bs} maksimum dan $Z_f = 5000 \Omega$ untuk I_{bs} minimum

$$\begin{aligned} I_{bs} \text{ maksimum} &= \frac{3 V_f}{2Z_1 + Z_0 + 3Z_f} \\ &= \frac{3(20.000/\sqrt{3})}{2(0,898 + j17,127) + (1501,43 + j14,614)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(1,796 + j34,254) + (1501,43 + j14,614)} \\ &= \frac{34641,016}{1503,226 + j48,868} \\ &= 23,032 \angle -1,86^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{bs} \text{ minimum} &= \frac{3 V_f}{2Z_1 + Z_0 + 3Z_f} \\ &= \frac{3(20.000/\sqrt{3})}{2(0,898 + j17,127) + (1501,43 + j14,614) + 3(5000)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{1503,226 + j48,868 + 3(5000)} \\ &= \frac{34641,016}{16503,226 + j48,868} \\ &= 2,099 \angle -0,17^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 16 (jarak 6,037 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} = Z_{L2} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,037 \\ &= 1,305 + j 19,952 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{L0} &= (0,3441 + j 1,6180) \times 6,037 \\ &= 2,077 + j 9,767 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,305 + j 19,952 \Omega \\ &= 1,305 + j 23,344 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_{T0} + 3 Z_{NT} + Z_{L0} \\ &= j 7,89 + (3 \times 500) + 2,077 + j 9,767 \Omega \\ &= 1502,077 + j 17,657 \Omega \end{aligned}$$

$Z_r = 0$ untuk I_{ba} maksimum dan $Z_r = 5000 \Omega$ untuk I_{ba} minimum

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ maksimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_r} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2(1,305 + j 23,344) + (1502,077 + j 17,657)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(2,61 + j 46,688) + (1502,077 + j 17,657)} \\ &= \frac{34641,016}{1504,687 + j 64,345} \\ &= 23,001 \angle -2,44^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ minimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_r} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2(1,305 + j 23,344) + (1502,077 + j 17,657) + 3(5000)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(2,61 + j 46,688) + (1502,077 + j 17,657) + (15000)} \\ &= \frac{34641,016}{1504,687 + j 64,345 + 15000} \\ &= \frac{34641,016}{16504,687 + j 64,345} \\ &= 2,098 \angle -0,22^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 17 (jarak 6,532 km dari G.1)

$$Z_{L1} = Z_{L2} = (0,2162 + j 3,305) \times 6,532$$

$$= 1,412 + j 21,588 \Omega$$

$$Z_{L0} = (0,3441 + j 1,6180) \times 6,532$$

$$= 2,247 + j 10,568 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_8 + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$= j 0,762 + j 2,63 + 1,412 + j 21,588 \Omega$$

$$= 1,412 + j 24,98 \Omega$$

$$Z_0 = Z_{T0} + 3 Z_{NT} + Z_{L0}$$

$$= j 7,89 + (3 \times 500) + 2,247 + j 10,568 \Omega$$

$$= 1502,247 + j 18,458 \Omega$$

$Z_f = 0$ untuk I_{ba} maksimum dan $Z_f = 5000 \Omega$ untuk I_{ba} minimum

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ maksimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_f} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2 \cdot (1,412 + j 24,98) + (1502,247 + j 18,458)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(2,824 + j 49,96) + (1502,247 + j 18,458)} \\ &= \frac{34641,016}{1505,071 + j 68,418} \\ &= 22,992 \angle - 2,60^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ minimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_f} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2 \cdot (1,412 + j 24,98) + (1502,247 + j 18,458) + 3(5000)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(2,824 + j 49,96) + (1502,247 + j 18,458) + (15000)} \\ &= \frac{34641,016}{1505,071 + j 68,418 + 15000} \\ &= \frac{34641,016}{16505,071 + j 68,418} \\ &= 2,098 \angle - 0,23^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 31 (jarak 8,222 km dari G.1)

$$Z_{L1} = Z_{L2} = (0,2162 + j 3,305) \times 8,222$$

$$= 1,777 + j 27,173 \Omega$$

$$Z_{L0} = (0,3441 + j 1,6180) \times 8,222$$

$$= 2,829 + j 13,303 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_S + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$= j 0,762 + j 2,63 + 1,777 + j 27,173 \Omega$$

$$= 1,777 + j 30,565 \Omega$$

$$Z_0 = Z_{T0} + 3 Z_{NT} + Z_{L0}$$

$$= j 7,89 + (3 \times 500) + 2,829 + j 13,303 \Omega$$

$$= 1502,829 + j 21,193 \Omega$$

$Z_f = 0$ untuk I_{ba} maksimum dan $Z_f = 5000 \Omega$ untuk I_{ba} minimum

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ maksimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_f} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2(1,777 + j 30,565) + (1502,829 + j 21,193)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(3,554 + j 61,13) + (1502,829 + j 21,193)} \\ &= \frac{34641,016}{1506,383 + j 82,323} \\ &= 22,961 \angle -3,13^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ minimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_f} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2(1,777 + j 30,565) + (1502,829 + j 21,193) + 3(5000)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(3,554 + j 61,13) + (1502,829 + j 21,193) + (15000)} \\ &= \frac{34641,016}{1506,383 + j 82,323 + 15000} \\ &= \frac{34641,016}{16506,383 + j 82,323} \\ &= 2,098 \angle -0,28^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 47 (jarak 8,890 km dari G.1)

$$Z_{L1} = Z_{L2} = (0,2162 + j 3,305) \times 8,890$$

$$= 1,922 + j 29,381 \Omega$$

$$Z_{L0} = (0,3441 + j 1,6180) \times 8,890$$

$$= 3,059 + j 14,384 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_N + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$= j 0,762 + j 2,63 + 1,922 + j 29,381 \Omega$$

$$= 1,922 + j 32,773 \Omega$$

$$Z_0 = Z_{T0} + 3 Z_{NT} + Z_{L0}$$

$$= j 7,89 + (3 \times 500) + 3,059 + j 14,384 \Omega$$

$$= 1503,059 + j 22,274 \Omega$$

$Z_f = 0$ untuk I_{bn} maksimum dan $Z_f = 5000 \Omega$ untuk I_{bn} minimum

$$\begin{aligned} I_{bn} \text{ maksimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_f} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2(1,922 + j32,773) + (1503,059 + j22,274)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(3,844 + j65,546) + (1503,059 + j22,274)} \\ &= \frac{34641,016}{1506,903 + j87,82} \\ &= 22,950 \angle -3,28^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{bn} \text{ minimum} &= \frac{3 V_f}{2 Z_1 + Z_0 + 3 Z_f} \\ &= \frac{3 \cdot (20.000 / \sqrt{3})}{2(1,922 + j32,773) + (1503,059 + j22,274) + 3(5000)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(3,844 + j65,546) + (1503,059 + j22,274) + (15000)} \\ &= \frac{34641,016}{1506,903 + j87,82 + 15000} \\ &= \frac{34641,016}{16506,903 + j87,82} \\ &= 2,098 \angle -0,30^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 78 (jarak 13,078 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} = Z_{L2} &= (0,2162 + j 3,305) \times 13,078 \\ &= 2,827 + j 43,222 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{L0} &= (0,3441 + j 1,6180) \times 13,078 \\ &= 4,50 + j 21,160 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= Z_s + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,827 + j 43,222 \Omega \\ &= 2,827 + j 46,614 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= Z_{T0} + 3 Z_{NT} + Z_{L0} \\ &= j 7,89 + (3 \times 500) + 4,50 + j 21,160 \Omega \\ &= 1504,5 + j 29,05 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{lb} maksimum dan $Z_f = 5000 \Omega$ untuk I_{lb} minimum

$$\begin{aligned} I_{lb} \text{ maksimum} &= \frac{3 V_f}{2.Z_1 + Z_0 + 3.Z_f} \\ &= \frac{3.(20.000/\sqrt{3})}{2.(2,827 + j46,614) + (1504,5 + j29,05)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(5,654 + j93,228) + (1504,5 + j29,05)} \\ &= \frac{34641,016}{1510,154 + j122,278} \\ &= 22,863 \angle -4,63^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{lb} \text{ minimum} &= \frac{3 V_f}{2.Z_1 + Z_0 + 3.Z_f} \\ &= \frac{3.(20.000/\sqrt{3})}{2.(2,827 + j46,614) + (1504,5 + j29,05) + 3(5000)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{34641,016}{(5,654 + j93,228) + (1504,5 + j29,05) + (15000)} \\ &= \frac{34641,016}{1510,154 + j122,278 + 15000} \\ &= \frac{34641,016}{16510,154 + j122,278} \\ &= 2,098 \angle -0,42^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Analisis Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

- Gangguan pada titik 1 (jarak 4,156 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 4,156 \\ &= 0,898 + j 13,735 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 0,898 + j 13,735 \Omega \\ &= 0,898 + j 17,127 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35 \Omega$ untuk I_{hs} minimum

$$\begin{aligned} I_{hs} \text{ maksimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(0,898 + j 17,127)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{(1,796 + j 34,254)} \\ &= 583,072 \angle -86,99^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{hs} \text{ minimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(0,898 + 17,127) + 35} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{36,796 + j 34,254} \\ &= 397,834 \angle -24,96^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 16 (jarak 6,037 km dari G.1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,037 \\ &= 1,305 + j 19,952 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,305 + j 19,952 \Omega \\ &= 1,305 + j 23,344 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35 \Omega$ untuk I_{hs} minimum

$$\begin{aligned} I_{hs} \text{ maksimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(1,305 + j 23,344)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{(2,61 + j 46,688)} \\ &= 427,707 \angle -86,80^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{hs} \text{ minimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(1,305 + j 23,344) + 35} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{37,61 + j 46,688} \\ &= 333,598 \angle -51,14^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 17 (jarak 6,532 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,532 \\ &= 1,412 + j 21,588 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,412 + j 21,588 \Omega \\ &= 1,412 + j 24,98 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{ba} maksimum dan $Z_f = 35 \Omega$ untuk I_{ba} minimum

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ maksimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000/\sqrt{3}}{2(1,412 + j 24,98)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{(2,824 + j 49,96)} \\ &= 399,682 \angle -86,76^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ minimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000/\sqrt{3}}{2(1,412 + j 24,98) + 35} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{37,824 + j 49,96} \\ &= 319,167 \angle -52,87^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 31 (jarak 8,222 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 8,222 \\ &= 1,777 + j 27,173 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,777 + j 27,173 \Omega \\ &= 1,777 + j 30,565 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{ba} maksimum dan $Z_f = 35 \Omega$ untuk I_{ba} minimum

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ maksimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2 \cdot Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(1,777 + j 30,565)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{(3,554 + j 61,13)} \\ &= 326,619 \angle -86,67^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{ba} \text{ minimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2 \cdot Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(1,777 + j 30,565) + 35} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{38,554 + j 61,13} \\ &= 276,731 \angle -57,76^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 47 (jarak 8,890 km dari G.I)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 8,890 \\ &= 1,922 + j 29,381 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_g + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,922 + j 29,38 \Omega \\ &= 1,922 + j 32,773 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{bs} maksimum dan $Z_f = 35 \Omega$ untuk I_{bs} minimum

$$\begin{aligned} I_{bs} \text{ maksimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(1,922 + j 32,773)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{(3,844 + j 65,546)} \\ &= 304,605 \angle -86,64^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{bs} \text{ minimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(1,922 + j 32,773) + 35} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{38,844 + j 65,546} \\ &= 262,496 \angle -59,34^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Gangguan pada titik 78 (jarak 13,078 km dari G.D)

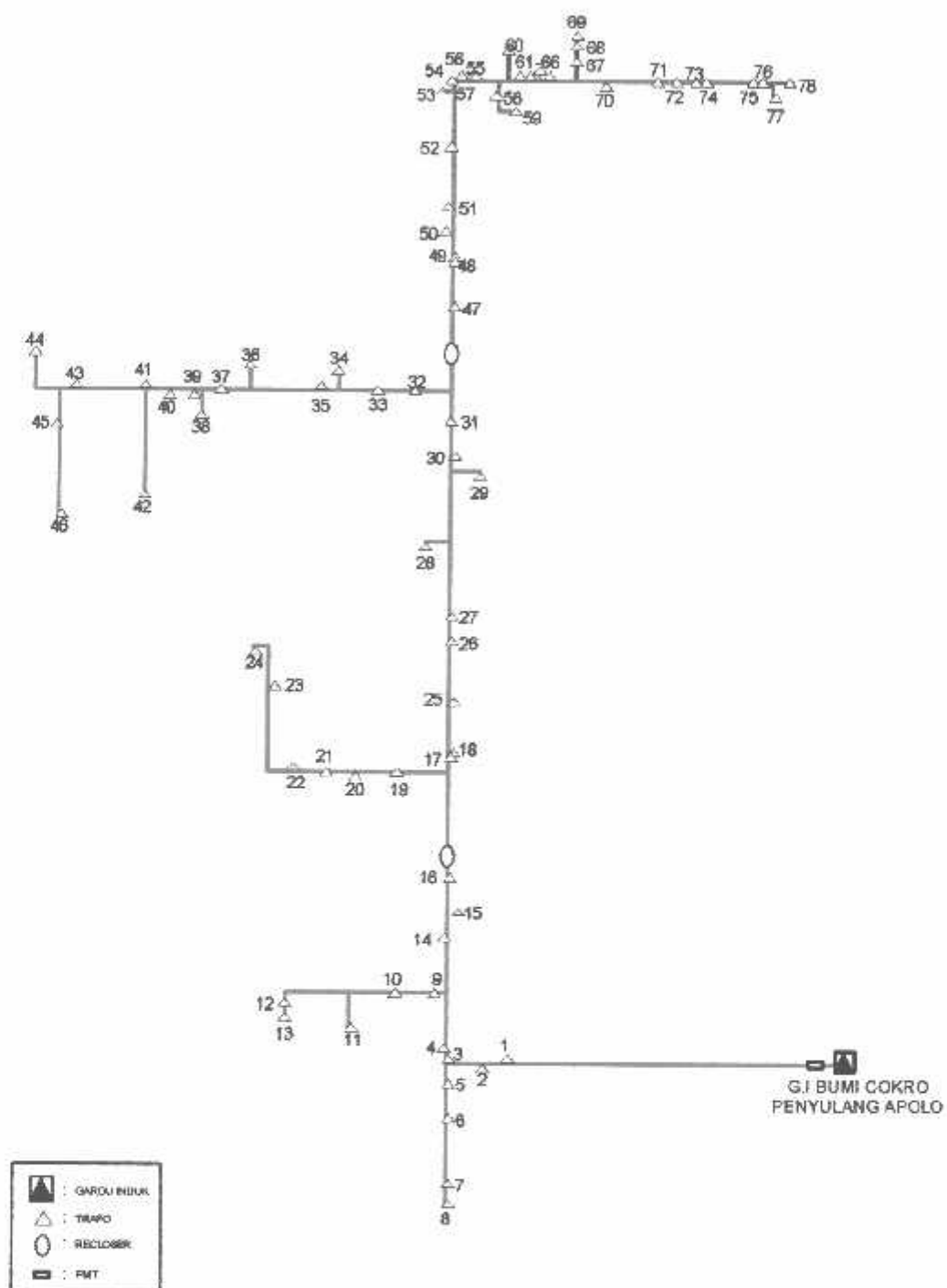
$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 13,078 \\ &= 2,827 + j 43,222 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,827 + j 43,222 \Omega \\ &= 2,827 + j 46,614 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35 \Omega$ untuk I_{hs} minimum

$$\begin{aligned} I_{hs} \text{ maksimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(2,827 + j 46,614)} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{(5,654 + j 93,228)} \\ &= 214,134 \angle -86,53^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{hs} \text{ minimum} &= -j \sqrt{3} \frac{V_f}{2Z_1 + Z_f} \\ &= -j \sqrt{3} \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2(2,827 + j 46,614) + 35} \text{ Ampere} \\ &= \frac{11547 \times \sqrt{3}}{40,654 + j 93,228} \\ &= 196,644 \angle -66,43^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$



Gambar 4.
Single Line Diagram Penyulang Apolo

4.3. Analisis Kerja Sistem Pengaman Jaringan Distribusi di G.1 Bumi Cokro Penyulang Apolo Untuk Gangguan Tiga Fasa.

- Pada titik 1 mengalir arus beban 4,36 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 673,274 ampere dalam waktu 0,37 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 290,312 Ampere dalam waktu 0,67 detik.
 - Pada titik 2 mengalir arus beban 1,19 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 664,921 ampere dalam waktu 0,37 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 289,543 Ampere dalam waktu 0,67 detik.
 - Pada titik 3 mengalir arus beban 25 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 20 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 20 = 30$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 635,126 Ampere dalam waktu 1,12 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 286,614 Ampere dalam waktu 4,02 detik.
 - Pada titik 4 mengalir arus beban 3,03 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 624,997 Ampere dalam waktu 0,38 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 285,543 Ampere dalam waktu 0,69 detik.
-

- Pada titik 5 mengalir arus beban 4,73 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 610,107 Ampere dalam waktu 0,38 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 283,908 Ampere dalam waktu 0,69 detik.
- Pada titik 6 mengalir arus beban 2,38 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 718,576 Ampere dalam waktu 0,34 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 292,666 Ampere dalam waktu 0,67 detik.

Kinerja peralatan proteksi dan jenis pelebur yang digunakan pada tiap-tiap titik dapat dilihat pada tabel 4.

4.4. Analisis Kerja Sistem Pengaman Jaringan Distribusi di G.I Bumi

Cokro Penyulang Apolo Untuk Gangguan Antar Fasa.

- Pada titik 1 mengalir arus beban 4,36 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 583,072 Ampere dalam waktu 0,39 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 397,834 Ampere dalam waktu 0,66 detik.
 - Pada titik 16 mengalir arus beban 1,96 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 427,707 Ampere dalam waktu 0,48 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 333,598 Ampere dalam waktu 0,62 detik.
 - Pada titik 17 mengalir arus beban 9,5 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 16 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 399,682 Ampere dalam waktu 0,50 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 319,167 Ampere dalam waktu 0,63 detik.
 - Pada titik 31 mengalir arus beban 4,76 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 326,619 Ampere dalam waktu 0,63 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 276,731 Ampere dalam waktu 0,74 detik.
-

- Pada titik 47 mengalir arus beban 2,85 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 304,605 Ampere dalam waktu 0,65 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 262,496 Ampere dalam waktu 0,77 detik.
 - Pada titik 78 mengalir arus beban 1,76 Ampere, sehingga digunakan pelebur dengan kapasitas 6,3 T, dengan kapasitas arus pemutusan $150\% \times 6,3 = 9,45$ Ampere. Pelebur ini dapat memadamkan arus gangguan maksimum 214,134 Ampere dalam waktu 0,95 detik dan pelebur dan dapat memadamkan arus gangguan minimum 196,644 Ampere dalam waktu 1,03 detik.
-

Tabel 4.
Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Maksimum dan Minimum serta Kerja Peralatan Proteksi dan Jenis Pelebur yang digunakan

Titik	Alamat Gardu	Jarak (km)	Daya (KVA)	Arus Beban (A)	Gangguan Tiga Fasa		Jenis Pelebur	Kerja Peralatan Proteksi (detik)	
					I _h Max (A)	I _h Min (A)		I _h Max	I _h Min
1	Karang Ploso Ngerong	4,156	151	4,36	673,274	290,312	6,3 T	0,37	0,67
2	PT. Hermun Puji Astuti	4,221	41,5	1,19	664,921	289,543	6,3 T	0,37	0,67
3	PT. Surya Nusa Abadi	4,467	865	25	635,126	286,614	20 T	1,12	4,02
4	PT. Aria Lestari	4,556	105	3,03	624,997	285,543	6,3 T	0,38	0,69
5	Perusahaan Off set	4,692	164	4,73	610,107	283,908	6,3 T	0,38	0,69
6	DN CARAT	4,852	82,5	2,38	718,576	292,666	6,3 T	0,34	0,67
7	PT. Evarindo Mega M	5,107	1110	32,04	568,816	278,87	25 T	2,02	7,81
8	Ngerong	5,206	84	2,42	559,78	277,67	6,3 T	0,40	0,73
9	SPBU Ngerong	5,189	17	5,0	561,30	277,88	6,3 T	0,40	0,73
10	Palem Jeruk Purut	5,448	123	3,55	538,96	271,43	6,3 T	0,41	0,74
11	Jeruk Purut	6,402	113	3,26	469,600	263,078	6,3 T	0,43	0,77
12	PT. Gugung Artha Mng	6,546	105	3,03	460,66	261,33	6,3 T	0,44	0,77
13	PT. Amarta	6,688	555	16,02	452,246	259,907	16 T	1,47	3,75
14	PT. Indofood Sukses Makmur	5,287	1385	40	552,286	276,685	31,5 T	3,51	7,48
15	PS. Ngetal	5,584	168	4,84	527,734	273,058	6,3 T	0,41	0,74
16	PS. Ngetal	6,037	68	1,96	493,874	267,524	6,3 T	0,43	0,76
17	Pn. Legufit	6,532	33	9,5	461,513	261,499	6,3 T	0,44	0,77
18	Tol Bulusari	6,699	162	4,67	451,530	259,477	6,3 T	0,45	0,77
19	Bulu Sari	6,729	121	3,49	449,786	259,117	6,3 T	0,45	0,77
20	Bulu Sari	7,067	141	4,07	430,994	255,050	6,3 T	0,47	0,78
21	PT. Ocean Gomindo	7,262	865	24,97	420,702	252,685	20 T	2,11	6,13

Titik	Alamat Gardu	Jarak (km)	Daya (KVA)	Arus Beban (A)	Gangguan Tiga Fasa		Jenis Pelebur	Kerja Peralatan Proteksi (detik)	
					I _b Max (A)	I _b Min (A)		I _{ba} Max	I _{ba} Min
22	PS. Tempel Gempol	7,498	96	2,77	409,198	249,916	6,3 T	0,49	0,80
23	PT. Irwanto	8,445	164	4,73	368,246	238,91	6,3 T	0,56	0,61
24	Komplek Zidam	8,959	43	1,24	349,297	233,126	6,3 T	0,60	0,62
25	Muka Kec Gempol	6,878	90	2,60	441,309	257,318	6,3 T	0,46	0,78
26	PT. Brantas Abipraya	7,021	114	3,29	433,458	255,302	6,3 T	0,47	0,78
27	Pandean	7,173	141	4,07	452,423	253,77	6,3 T	0,45	0,79
28	PT. Chopindo	7,683	164	4,73	400,494	247,733	6,3 T	0,50	0,82
29	Muka Dolog Japanan	8,016	191	5,51	385,745	243,846	6,3 T	0,53	0,83
30	Raya Japanan	7,925	165	4,76	389,659	244,902	6,3 T	0,52	0,83
31	Raya Japanan	8,222	165	4,76	377,148	241,467	6,3 T	0,55	0,83
32	PT. Wijaya Karya II	8,546	240	6,92	364,375	237,764	6,3 T	0,57	0,85
33	PT. Telkom Gempol	8,761	825	2,38	356,362	235,334	6,3 T	0,59	0,85
34	Gempol	8,978	64	1,84	348,631	232,911	6,3 T	0,60	0,86
35	PT. Pandowo Polish II	9,121	197	5,68	343,723	231,332	6,3 T	0,61	0,86
36	Ps. Raos Baru	10,192	198	5,71	310,893	219,845	6,3 T	0,64	0,90
37	PT. Pendowo Polis I	10,420	197	5,68	304,695	217,488	6,3 T	0,65	0,90
38	Lapang Gunung prahu	11,284	4	1,1	283,306	208,845	6,3 T	0,70	0,92
39	PS. Carat	10,684	102	2,94	297,827	214,801	6,3 T	0,67	0,93
40	Lawang/Watu Kosek	11,156	60	1,73	286,283	210,097	6,3 T	0,68	0,95
41	Pusdik Brimob	11,659	16	4,6	274,930	205,237	6,3 T	0,72	0,98
42	PS. Sumber Rejo	12,642	95	2,74	255,150	196,180	6,3 T	0,79	1,01
43	Watu Kosek	12,235	191	5,51	262,983	199,858	6,3 T	0,77	1,00
44	DS. Caat	12,523	66	1,90	257,390	197,245	6,3 T	0,78	1,00
45	Brimob Watu Kosek Tengah	12,769	11	3,1	252,799	195,053	6,3 T	0,80	1,01
46	Brimob Watu Kosek Atas	13,687	7	2,0	237,022	187,182	6,3 T	0,85	1,05

Titik	Alamat Gardu	Jarak (km)	Daya (KVA)	Arus Beban (A)	Gangguan Tiga Fasa		Jenis Pelebur	Kerja Peralatan Proteksi (detik)	
					I_{ba} Max (A)	I_{ba} Min (A)		I_{ba} Max	I_{ba} Min
47	Bandulan	8,890	99	2,85	351,728	233,891	6,3 T	0,60	0,86
48	SPBU Pabean	9,197	110	3,17	341,158	230,491	6,3 T	0,61	0,87
49	PT. Agip Lurindo	9,226	2180	62,93	340,201	230,176	50 T	1,87	4,02
50	Raya Melikan	9,445	149	4,30	333,081	227,784	6,3 T	0,62	0,89
51	PT. Wijaya Karya I	9,671	240	6,92	326,041	225,349	6,3 T	0,63	0,89
52	PS. Tanjung	9,867	45	1,30	320,170	223,257	6,3 T	0,63	0,90
53	Jl. Raya Carat	10,256	100	2,88	309,124	219,178	6,3 T	0,64	0,90
54	Gempol	10,316	105	3,03	307,491	218,558	6,3 T	0,64	0,91
55	Muka Pasar Gempol	10,542	60	1,73	301,481	216,238	6,3 T	0,65	0,92
56	PS. Kauman Baru	10,593	80	2,30	300,154	215,718	6,3 T	0,65	0,92
57	PT. Aneka Banu Sakti	10,681	865	24,97	297,896	214,826	20 T	3,99	8,34
58	GWLS Wono Ayu	11,274	250	7,21	283,53	208,942	6,3 T	0,70	0,93
59	Gempol Citra Asri	11,488	127	3,66	278,687	206,872	6,3 T	0,72	0,94
60	Gempol Joyo	11,314	126	3,63	282,617	208,552	6,3 T	0,70	0,94
61	Pabean	11,268	57	1,64	283,675	209,001	6,3 T	0,71	0,94
62	PT. Sari Rajut Indah	11,297	555	16,02	283,020	208,723	16 T	3,12	5,03
63	PT. Halim Jaya/Handk	11,381	555	16,02	281,087	207,902	16 T	3,12	5,03
64	PT. Awico Indosteel P	11,420	197	5,68	280,205	207,527	6,3 T	0,70	0,94
65	PT. Pandowo Polish III	11,577	865	24,97	276,720	206,020	20 T	5,10	8,77
66	PT. Berkas Sarana 6	11,608	197	5,68	276,037	205,721	6,3 T	0,72	0,94
67	DS. Ngerong	11,779	88	2,54	272,350	204,099	6,3 T	0,74	0,94
68	PT. Focon Indonesia	11,981	645	9,95	268,117	202,203	8 T	0,97	1,51
69	PT. Jatim Autocom	12,035	890	25,69	267,011	201,704	20 T	5,12	9,02
70	PT. Andrigiri	11,849	105	3,03	271,062	203,522	6,3 T	0,74	1,00
71	PS. Tempel Gempol	12,244	100	2,88	262,803	199,775	6,3 T	0,77	1,00

Titik	Alamat Gardu	Jarak (km)	Daya (KVA)	Arus Beban (A)	Gangguan Tiga Fasa		Jenis Pelebur	Kerja Peralatan Proteksi (detik)	
					I_{hs} Max (A)	I_{hs} Min (A)		I_{hs} Max	I_{hs} Min
72	PT. Charles Singgih	12,341	138	4,0	260,893	198,889	6,3 T	0,77	1,01
73	DS. Wono Ayu	12,461	128	3,69	258,574	197,803	6,3 T	0,80	1,01
74	Patuk Gempol	12,500	163	4,70	257,828	197,452	6,3 T	0,80	1,01
75	PT. Lubianto Tahoyo	12,714	33	1,90	256,813	195,541	6,3 T	0,80	1,02
76	PT. Cahaya Sejati C	12,800	197	5,68	252,259	194,968	6,3 T	0,81	1,02
77	PT. Tirta Perkasa Abd	13,129	240	6,92	246,367	191,908	6,3 T	0,83	1,03
78	Kebon Sari Gempol	13,078	61	1,76	247,260	192,349	6,3 T	0,83	1,03

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil Analisa Kerja Peralatan Proteksi Pada Sistem Distribusi 20 KV Tipe Radial Penyulang Apolo dari G.I. Bumicokro dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik 1 I_{hs} max sebesar 673,274 Ampere, I_{hs} min 290,312 Ampere, sedangkan pada titik ke 2 I_{hs} max sebesar 664,921 Ampere, I_{hs} min 289,543 Ampere. Hal tersebut menyatakan bahwa pada titik satu ke titik yang lainnya berbeda-beda bergantung pada jarak gangguan dari Gardu Induk.
- 2) Pada titik 1 arus beban sebesar 4,36 Ampere, maka jenis pelebur yang digunakan adalah 6,3 T. Pelebur ini akan bekerja 0,37 detik pada I_{hs} max dan bekerja 0,67 detik pada I_{hs} min sedangkan pada titik 3 arus beban sebesar 25 Ampere maka jenis pelebur yang digunakan adalah 20 T, pelebur ini akan bekerja 1,12 detik pada I_{hs} max dan bekerja 4,02 detik pada I_{hs} min. Hal tersebut menyatakan bahwa Jenis pelebur yang digunakan harus disesuaikan dengan arus beban yang mengalir pada jaringan distribusi.

5.2. Saran

Perlu adanya pengecekan secara berskala mengenai besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan daya yang terpakai oleh pelanggan supaya bisa menentukan jenis pelebur yang akan digunakan pada jaringan distribusi dan memastikan sistem benar-benar dalam keadaan yang terkondisikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stevenson, William D. Jr. 1996. "*Analisis Sistem Tenaga*". Penerbit Erlangga edisi keempat
 - [2] Basri, Hasan. 1990. "*Sistem Distribusi*". Balai Penerbit dan Humas ISTN
 - [3] K.A. STROUD, Sucipto, Erwin. 1997. "*Matematika Untuk Teknik*". : Penerbit Erlangga edisi keempat
 - [4] Zuhail, 1995. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*". Jakarta : PT. Gramedia Utama
 - [5] Ditjeng, Maesudi. 1990. "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*". Balai Penerbit dan Humas ISTN
 - [6] Priatmono, Joyo. "*Sistem Proteksi*". Malang : Institut Teknologi Nasional Malang
 - [7] Hidayat, Taufik. "*Sistem Distribusi*". Malang : Institut Teknologi Nasional Malang
 - [8] Choiri, "*Analisis Sistem Daya II*". Malang : Institut Teknologi Nasional Malang
 - [9] PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Jaringan Pandaan, Pasuruan
 - [10] PT. PLN (Persero) Area Pengatur distribusi Surabaya
-

LAMPIRAN-LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. **Nama** : HELMI PRIYONO
2. **NIM** : 02.12.095
3. **Jurusan** : Teknik Elektro S-1
4. **Konsentrasi** : Teknik Energi Listrik
5. **Judul Skripsi** : ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL DI GARDU INDUK BUMICOKRO PENYULANG APOLO.

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 19 Maret 2008
Dengan Nilai : 80,34 (A) *Ref*

Panitia Ujian Skripsi



Ketua Majelis Penguji,

Ir. Mochtar Asroni, MSME
NIP. Y. 101 8100 036

Sekretaris Majelis Penguji,

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 103 9500 274

Anggota Penguji

Penguji Pertama,

Ir. Widodo Pudji M, MT
NIP. Y. 102 8700 171



Penguji Kedua,

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.Y. 101 8800 188



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : HELMI PRIYONO
NIM : 02.12.095
Masa Bimbingan : 12 Desember 2007 sampai 12 Juni 2008
Judul Skripsi : ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA
JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL
DI GARDU INDUK BUMICOKRO PENYULANG
APOLO

No.	Tanggal	Uraian	Paraf
1.		Perlu di analisa juga untuk gangguan 1 fasa ke tanah dan gangguan antar fasa. Karena jenis gangguan yang sering terjadi justru gangguan 1 fasa ke tanah.	
2.		Tambahkan analisa koordinasi antar sistem proteksi yang ada (koordinasi proteksi)	

Penguji Pertama :



Ir. Widodo Pudji M, MT
NIP. Y. 102 8700 171

Dosen Pembimbing I :



Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 103 8900 209

Dosen Pembimbing II :



Irrine Budi S, ST, MT
NIP. 132 314 400



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : HELMI PRIYONO
NIM : 02.12.095
Masa Bimbingan : 12 Desember 2007 sampai 12 Juni 2008
Judul Skripsi : ANALISA KERJA PERALATAN PROTEKSI PADA
JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL
DI GARDU INDUK BUMICOKRO PENYULANG
APOLO

No.	Tanggal	Uraian	Paraf
1.		Persepsi kinerja harus diluruskan	
2.		Koordinasi peralatan proteksi <i>tdk. ada Kond.</i>	

Penguji Kedua :

Ir. M Abdul Hamid, MT
NIP. Y. 101 8800 188

Dosen Pembimbing I :

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 103 8900 209

Dosen Pembimbing II :

Irrine Budi S, ST, MT
NIP. 132 314 400



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Helmi Priyono
Nim : 02.12.095
Masa Bimbingan : 12 Desember 2007 s/d 12 Juni 2008
Judul Skripsi : **ANALISA KINERJA PERALATAN PROTEKSI
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV
TIPE RADIAL DI GARDU INDUK BUMI COKRO
PENYULANG APOLO**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	08/02 08	Revisi tujuan, latar belakang.	
2.	14/02 08	Penulisan sistematika tak tepat	
3.	20/02 08	Tujuan revisi !!	
4.	26/02 08	Tujuan & kesimpulan disesuaikan	
5.	03/03 08	Membuat Makalah Seminar	
6.	08/03 08	Acc seminar.	
7.	15/03 08	Acc ujian	
8.			
9.			
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing I

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)
NIP. Y. 1038900209

Form. S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Helmi Priyono
Nim : 02.12.095
Masa Bimbingan : 12 Desember 2007 s/d 12 Juni 2008
Judul Skripsi : **ANALISA KINERJA PERALATAN PROTEKSI
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV
TIPE RADIAL DI GARDU INDUK BUMI COKRO
PENYULANG APOLO**

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	17/01/08	Perubahan judul sesuai isi	
2.	23/01/08	Penyempurnaan data & bab II dgn gambar reduksi, skema & tabel-tabel teknis & kerangka bab II.	
3.	4/02/08	Bab II: dgn ketidakepatuhan ditambahkan dgn skema.	
4.		penyempurnaan pembagian & distribusi pemutus tenaga / pemutus pemutus tenaga lain-lain!	
5.	6/02/08	See bab II	
6.	8/02/08	kerangka bab II & kerangka bab III diperjelas & data yg digunakan	
7.	11/02/08	See bab II	
8.	20/02/08	Revisi bab II & bab III dgn data yg lain & gambar kerangka bab II	
9.		See kerangka	
10.			

Malang, 17 Maret 08
Dosen Pembimbing II

(Irine Budi S. ST MT)
NIP.132314400

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura No.2
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Helmi Priyono
Nim : 02.12.095
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposals terlampir) :

**PEMODELAN PERALATAN PROTEKSI UNTUK MEREDUKSI
VOLTAGE SAG PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI G.I BUMI
COKRO MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB SIMULINK**

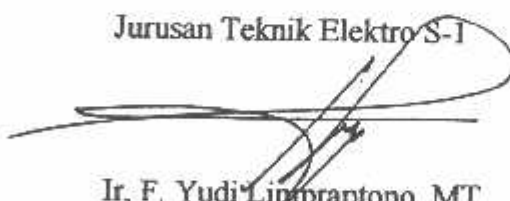
Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.


Malang, November 2007

Hormat kami,

Ketua

Jurusan Teknik Elektro S-1


Ir. F. Yudi Lippraptono, MT
NIP. Y 4039500274



Helmi Priyono
Nim: 02.12.095

Form S-3a

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan sigura-gura No.2
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas
Pembimbing skripsi

Kepada : Yth. Ibu **Irrine Budi S,ST MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Helmi Priyono
Nim : 02.12.095
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Pendamping, untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

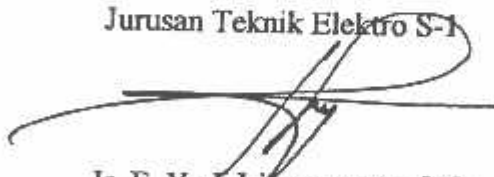
**PEMODELAN PERALATAN PROTEKSI UNTUK MEREDUKSI
VOLTAGE SAG PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI G.I BUMI
COKRO MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB SIMULINK**

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.
Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, November 2007

Ketua

Jurusan Teknik Elektro S-1


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y 1039500274

Hormat kami,



Helmi priyono
Nim: 02.12.095

Form S-3a

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Helmi Priyono
Nim : 02.12.095
Semester : XI (sebelas)
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

PEMODELAN PERALATAN PROTEKSI UNTUK MEREDUKSI VOLTAGE SAG PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI G.I BUMI COKRO MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB SIMULINK

Demikian surat Pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, November 2007

Kami yang membuat pernyataan,



Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y 1038900209

Catatan :



Setelah disetujui agar formulir ini
Diserahkan mahasiswa yang bersangkutan
Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.

Form S-3b



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)




1.	Nama Mahasiswa: <u>Helmi Priyono</u>	Nim: <u>02.12.096</u>
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: <u>20</u>
		Bulan: <u>08</u>
Tahun: <u>2007</u>		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
3.	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik <input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainnya
	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*)	
4.	<u>Ir. Teguh Herbasuki, MT</u>	Ketua Jurusan  <u>Ir. F. Yudi Limprapiono, MT</u> NIP. P. 1039500274
	Judul yang diajukan mahasiswa:	
5.	<u>* Penambahan Perulatan proteksi untuk mereduksi voltage sag pada sistem Distribusi 20 kv di Gili Bumi Cakra menggunakan software matlab simulink</u>	
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	
Catatan:		
7.	Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui <u>25-08/2007</u> Dosen  <u>TEGUH. H.</u>

Perhatian:

1. Formulir pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
 **) dilingkari a, b, c,atau g sesuai bidang keahlian

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Spesialisasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

Nama Mahasiswa: <u>Helmi Priyono</u>		Nim: <u>02.12.095</u>	
Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
Pelaksanaan	<u>12-12-2007</u>	<u>13.00</u>	<u>Ruang: 6.3</u>
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang**)			
a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>PEMODELAN PERALATAN PROTEKSI UNTUK MEREDUKSI VOLTAGE SAG PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV.....</u> <u>D: G.I. BOMI COKRO MENGGUNAKAN SOFTWARE.....</u> <u>MATLAB.....</u>		
Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	.....	
Catatan:	.....	
Catatan:	.....	
Persetujuan Judul Skripsi			
Disetujui, Dosen Keahlian I  <u>Ir. H. Almiyan A, MSCE</u>	Disetujui, Dosen Keahlian II		
Mengetahui, Ketua Jurusan  <u>Ir. F. Yudi Lampraptono, MT</u> NIP. P. 1039500274	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs  <u>Ir. Teguh Herbanli, MT</u>		

Catatan:
 Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
 **) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian

- Gangguan pada titik 6 (jarak 4,852 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 4,852 \\ &= 1,049 + j 16,035 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 1,049 + j 2,63 + 1,049 + j 16,035 \Omega \\ &= 1,049 + j 19,427 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,049 + j16,035} = 718,576 \quad \angle -86,25^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,049 + j16,035 + 35} = 292,666 \quad \angle -23,98^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 7 (jarak 5,107 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 5,107 \\ &= 1,104 + j 16,878 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,104 + j 16,878 \Omega \\ &= 1,104 + j 20,27 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,104 + j20,27} = 568,816 \quad \angle -86,88^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,104 + j20,27 + 35} = 278,87 \quad \angle -29,31^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 8 (jarak 5,206 km dari G1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 5,206 \\ &= 1,125 + j 17,205 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,125 + j 17,205 \Omega \\ &= 1,125 + j 20,597 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,125 + j 20,597} = 559,78 \quad \angle -86,87^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,125 + j 20,597 + 35} = 277,67 \quad \angle -29,68^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 9 (jarak 5,189 km dari G1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 5,189 \\ &= 1,121 + j 17,149 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,121 + j 17,149 \Omega \\ &= 1,121 + j 20,541 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,121 + j 20,541} = 561,30 \quad \angle -86,87^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,121 + j 20,541 + 35} = 277,88 \quad \angle -29,62^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 12 (jarak 6,546 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,546 \\ &= 1,415 + j 21,634 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,415 + j 21,634 \Omega \\ &= 1,415 + j 25,026 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,415 + j 25,026} = 460,66 \quad \angle -86,76^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,415 + j 25,026 + 35} = 261,33 \quad \angle -34,50^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 13 (jarak 6,688 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,688 \\ &= 1,445 + j 22,103 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,445 + j 22,103 \Omega \\ &= 1,445 + j 25,495 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,384 + j 25,495} = 452,246 \quad \angle -86,90^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,384 + j 25,495 + 35} = 259,907 \quad \angle -35,01^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 14 (jarak 5,287 km dari G1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 5,287 \\ &= 1,143 + j 17,473 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,143 + j 17,473 \Omega \\ &= 1,143 + j 20,865 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,143 + j 20,865} = 552,586 \quad \angle -86,86^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,143 + j 20,865 + 35} = 276,685 \quad \angle -29,99^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 15 (jarak 5,584 km dari G1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 5,584 \\ &= 1,207 + j 18,455 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,207 + j 18,455 \Omega \\ &= 1,207 + j 21,847 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,207 + j 21,847} = 527,734 \quad \angle -86,85^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,207 + j 21,847 + 35} = 273,058 \quad \angle -31,10^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 16 (jarak 6,037 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,037 \\ &= 1,305 + j 19,952 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,305 + j 19,952 \Omega \\ &= 1,305 + j 23,344 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,305 + j 23,344} = 493,874 \quad \angle -86,80^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,305 + j 23,344 + 35} = 267,524 \quad \angle -32,74^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 17 (jarak 6,532 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,532 \\ &= 1,412 + j 21,588 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,412 + j 21,588 \Omega \\ &= 1,412 + j 24,98 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,412 + j 24,98} = 461,513 \quad \angle -86,76^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,412 + j 24,98 + 35} = 261,499 \quad \angle -34,45^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 18 (jarak 6,699 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,699 \\ &= 1,448 + j 22,140 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,448 + j 22,140 \Omega \\ &= 1,448 + j 25,532 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,448 + j 25,532} = 451,530 \quad \angle -86,75^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,448 + j 25,532 + 35} = 259,477 \quad \angle -35,01^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 19 (jarak 6,729 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,729 \\ &= 1,454 + j 22,239 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,454 + j 22,23 \Omega \\ &= 1,454 + j 25,631 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,454 + j 25,631} = 449,786 \quad \angle -86,75^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,454 + j 25,631 + 35} = 259,117 \quad \angle -35,11^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 20 (jarak 7,067 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 7,067 \\ &= 1,527 + j 23,356 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,527 + j 23,356 \Omega \\ &= 1,527 + j 26,748 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,527 + j 26,748} = 430,994 \quad \angle -86,73^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,527 + j 26,748 + 35} = 255,050 \quad \angle -36,21^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 21 (jarak 7,262 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 7,262 \\ &= 1,570 + j 24,01 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,570 + j 24,01 \Omega \\ &= 1,570 + j 27,402 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,570 + j 27,402} = 420,702 \quad \angle -86,72^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,570 + j 27,402 + 35} = 252,685 \quad \angle -36,84^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 22 (jarak 7,498 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 7,498 \\ &= 1,621 + j 24,780 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,621 + j 24,780 \Omega \\ &= 1,621 + j 28,172 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,621 + j 28,172} = 409,198 \quad \angle -86,70^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,621 + j 28,172 + 35} = 249,916 \quad \angle -37,57^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 23 (jarak 8,445 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 8,445 \\ &= 1,825 + j 27,910 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,825 + j 27,910 \Omega \\ &= 1,825 + j 31,302 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,825 + j 31,302} = 368,264 \quad \angle -86,66^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,825 + j 31,302 + 35} = 238,91 \quad \angle -40,36^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 24 (jarak 8,959 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 8,959 \\ &= 1,936 + j 29,609 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,936 + j 29,609 \Omega \\ &= 1,936 + j 33,001 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,936 + j 33,001} = 349,297 \quad \angle -86,64^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,936 + j 33,001 + 35} = 233,126 \quad \angle -41,77^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 25 (jarak 6,878 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 6,878 \\ &= 1,487 + j 22,731 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,487 + j 22,731 \Omega \\ &= 1,487 + j 26,123 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,487 + j 26,123} = 441,309 \quad \angle -86,74^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,487 + j 26,123 + 35} = 257,318 \quad \angle -35,60^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 26 (jarak 7,021 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 7,021 \\ &= 1,517 + j 23,204 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,517 + j 23,204 \Omega \\ &= 1,517 + j 26,596 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,517 + j 26,596} = 433,458 \quad \angle -86,73^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,517 + j 26,596 + 35} = 255,602 \quad \angle -36,06^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 27 (jarak 7,173 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 7,173 \\ &= 1,551 + j 23,706 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,551 + j 23,706 \Omega \\ &= 1,551 + j 27,098 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,551 + j 27,098} = 425,423 \quad \angle -86,72^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,551 + j 27,098 + 35} = 253,77 \quad \angle -36,55^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 28 (jarak 7,683 km dari GI)

$$Z_{L1} = (0,2162 + j 3,305) \times 7,683$$

$$= 1,661 + j 25,392 \Omega$$

$$Z_i = Z_s + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$= j 0,762 + j 2,63 + 1,661 + j 25,392 \Omega$$

$$= 1,661 + j 28,784 \Omega$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,661 + j 28,784} = 400,494 \quad \angle -87,68^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,661 + j 28,784 + 35} = 247,733 \quad \angle -38,13^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 29 (jarak 8,016 km dari GI)

$$Z_{L1} = (0,2162 + j 3,305) \times 8,016$$

$$= 1,733 + j 26,492 \Omega$$

$$Z_i = Z_s + Z_{T1} + Z_{L1}$$

$$= j 0,762 + j 2,63 + 1,733 + j 26,492 \Omega$$

$$= 1,733 + j 29,884 \Omega$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,733 + j 29,884} = 385,745 \quad \angle -86,68^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,733 + j 29,884 + 35} = 243,846 \quad \angle -39,12^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 34 (jarak 8,978 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 8,978 \\ &= 1,941 + j 29,672 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_s + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,941 + j 29,672 \Omega \\ &= 1,941 + j 33,064 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,941 + j 33,064} = 348,631 \quad \angle -86,64^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,941 + j 33,064 + 35} = 232,911 \quad \angle -41,83^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 35 (jarak 9,121 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 9,121 \\ &= 1,971 + j 30,144 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_s + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,971 + j 30,144 \Omega \\ &= 1,97 + j 33,536 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,97 + j 33,536} = 343,723 \quad \angle -86,63^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,97 + j 33,536 + 35} = 231,332 \quad \angle -42,21^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 36 (jarak 10,192 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 10,192 \\ &= 2,203 + j 33,684 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,203 + j 33,684 \Omega \\ &= 2,203 + j 37,076 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,203 + j 37,076} = 310,893 \angle -86,59^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,203 + j 37,076 + 35} = 219,845 \angle -44,90^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 37 (jarak 10,420 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 10,420 \\ &= 2,252 + j 34,438 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,252 + j 34,438 \Omega \\ &= 2,252 + j 37,83 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,252 + j 37,83} = 304,695 \angle -86,59^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,252 + j 37,83 + 35} = 217,488 \angle -45,44^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 38 (jarak 11,284 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,284 \\ &= 2,439 + j 37,293 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,439 + j 37,293 \Omega \\ &= 2,439 + j 40,685 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,439 + j 40,685} = 283,306 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,439 + j 40,685 + 35} = 208,845 \quad \angle -47,37^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 39 (jarak 10,684 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 10,684 \\ &= 2,309 + j 35,310 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,309 + j 35,310 \Omega \\ &= 2,309 + j 38,702 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,309 + j 38,702} = 297,827 \quad \angle -86,58^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,309 + j 38,702 + 35} = 214,800 \quad \angle -46,04^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 40 (jarak 11,156 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,156 \\ &= 2,411 + j 36,870 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 22,411 + j 36,870 \ \Omega \\ &= 2,411 + j 40,262 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,411 + j 40,262} = 286,283 \quad \angle -86,57^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,411 + j 40,262 + 35} = 210,097 \quad \angle -47,10^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 41 (jarak 11,659 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,659 \\ &= 2,520 + j 38,532 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,520 + j 38,532 \ \Omega \\ &= 2,520 + j 41,924 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,520 + j 41,924} = 274,930 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,520 + j 41,924 + 35} = 205,237 \quad \angle -48,17^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 42 (jarak 12,642 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,642 \\ &= 2,733 + j 41,781 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,733 + j 41,781 \ \Omega \\ &= 2,733 + j 45,173 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,733 + j 45,173} = 255,150 \quad \angle -86,53^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,733 + j 45,173 + 35} = 196,180 \quad \angle -50,12^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 43 (jarak 12,235 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,235 \\ &= 2,645 + j 40,436 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,645 + j 40,436 \ \Omega \\ &= 2,645 + j 43,828 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,645 + j 43,828} = 262,983 \quad \angle -86,54^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,645 + j 43,828 + 35} = 199,858 \quad \angle -49,33^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 44 (jarak 12,523 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,523 \\ &= 2,707 + j 41,388 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,707 + j 41,388 \ \Omega \\ &= 2,707 + j 44,78 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,707 + j 44,78} = 257,390 \quad \angle -86,54^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,707 + j 44,78 + 35} = 197,245 \quad \angle -49,90^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 45 (jarak 12,769 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,769 \\ &= 2,760 + j 42,201 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,760 + j 42,201 \ \Omega \\ &= 2,760 + j 45,593 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,760 + j 45,593} = 252,799 \quad \angle -86,53^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,760 + j 45,593 + 35} = 195,053 \quad \angle -50,36^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 46 (jarak 13,687 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 13,687 \\ &= 2,959 + j 45,235 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,959 + j 45,235 \ \Omega \\ &= 2,959 + j 48,627 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,959 + j 48,627} = 237,022 \quad \angle -86,51^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,959 + j 48,627 + 35} = 187,182 \quad \angle -52,02^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 47 (jarak 8,890 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 8,890 \\ &= 1,922 + j 29,381 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 1,922 + j 29,381 \ \Omega \\ &= 1,922 + j 32,773 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,922 + j 32,773} = 351,728 \quad \angle -86,64^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{1,922 + j 32,773 + 35} = 233,891 \quad \angle -41,59^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 52 (jarak 9,867 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 9,867 \\ &= 2,133 + j 32,610 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_s + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,133 + j 32,610 \ \Omega \\ &= 2,133 + j 36,002 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,133 + j 36,002} = 320,170 \quad \angle -86,60^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,133 + j 36,002 + 35} = 223,257 \quad \angle -44,11^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 53 (jarak 10,256 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 10,256 \\ &= 2,217 + j 33,896 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_s + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,217 + j 33,896 \ \Omega \\ &= 2,217 + j 37,288 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,217 + j 37,288} = 309,124 \quad \angle -86,59^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,217 + j 37,288 + 35} = 219,178 \quad \angle -45,05^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 56 (jarak 10,593 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 10,593 \\ &= 2,290 + j 35,010 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,290 + j 35,010 \ \Omega \\ &= 2,290 + j 38,402 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,290 + j 38,402} = 300,154 \quad \angle -86,58^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,290 + j 38,402 + 35} = 215,718 \quad \angle -45,84^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 57 (jarak 10,681 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 10,681 \\ &= 2,309 + j 35,301 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,309 + j 35,301 \ \Omega \\ &= 2,309 + j 38,693 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,309 + j 38,693} = 297,896 \quad \angle -86,58^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,309 + j 38,693 + 35} = 214,826 \quad \angle -46,04^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 58 (jarak 11,274 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,274 \\ &= 2,437 + j 37,260 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_8 + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,437 + j 37,260 \ \Omega \\ &= 2,437 + j 40,652 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,437 + j 40,652} = 283,53 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,437 + j 40,652 + 35} = 208,942 \quad \angle -47,35^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 59 (jarak 11,488 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,488 \\ &= 2,483 + j 37,967 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_8 + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,483 + j 37,967 \ \Omega \\ &= 2,483 + j 41,359 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,483 + j 41,359} = 278,687 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,483 + j 41,359 + 35} = 206,872 \quad \angle -47,81^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 60 (jarak 11,314 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,314 \\ &= 2,446 + j 37,392 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,446 + j 37,392 \ \Omega \\ &= 2,446 + j 40,784 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,446 + j 40,784} = 282,617 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,446 + j 40,784 + 35} = 208,552 \quad \angle -47,44^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 61 (jarak 11,268 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,268 \\ &= 2,436 + j 37,240 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,436 + j 37,240 \ \Omega \\ &= 2,436 + j 40,632 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,436 + j 40,632} = 283,675 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,436 + j 40,632 + 35} = 209,001 \quad \angle -47,34^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 62 (jarak 11,297 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,297 \\ &= 2,442 + j 37,336 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,442 + j 37,336 \Omega \\ &= 2,442 + j 40,726 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,442 + j 40,726} = 283,020 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,442 + j 40,726 + 35} = 208,723 \quad \angle -47,40^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 63 (jarak 11,381 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,381 \\ &= 2,460 + j 37,614 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,460 + j 37,614 \Omega \\ &= 2,460 + j 41,006 \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,460 + j 41,006} = 281,087 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,460 + j 41,006 + 35} = 207,902 \quad \angle -47,58^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 64 (jarak 11,420 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,420 \\ &= 2,469 + j 37,743 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,469 + j 37,743 \ \Omega \\ &= 2,469 + j 41,135 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,469 + j 41,135} = 280,205 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,469 + j 41,135 + 35} = 207,523 \quad \angle -47,67^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 65 (jarak 11,577 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,577 \\ &= 2,502 + j 38,261 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,502 + j 38,261 \ \Omega \\ &= 2,502 + j 41,653 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,502 + j 41,653} = 276,720 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,502 + j 41,653 + 35} = 206,020 \quad \angle -48,00^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 66 (jarak 11,608 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,608 \\ &= 2,509 + j 38,364 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,509 + j 38,364 \ \Omega \\ &= 2,509 + j 41,756 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,509 + j 41,756} = 276,037 \quad \angle -86,56^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,509 + j 41,756 + 35} = 205,721 \quad \angle -48,06^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 67 (jarak 11,779 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,779 \\ &= 2,546 + j 38,92 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,546 + j 38,92 \ \Omega \\ &= 2,546 + j 42,321 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,546 + j 42,321} = 272,350 \quad \angle -86,55^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,546 + j 42,321 + 35} = 204,099 \quad \angle -48,42^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 68 (jarak 11,981 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,981 \\ &= 2,590 + j 39,597 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,590 + j 39,597 \ \Omega \\ &= 2,590 + j 42,989 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,590 + j 42,989} = 268,117 \quad \angle -86,55^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,590 + j 42,989 + 35} = 202,203 \quad \angle -48,83^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 69 (jarak 12,035 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,035 \\ &= 2,601 + j 39,775 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,601 + j 39,775 \ \Omega \\ &= 2,601 + j 43,167 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,601 + j 43,167} = 267,011 \quad \angle -86,55^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,601 + j 43,167 + 35} = 201,704 \quad \angle -48,94^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 70 (jarak 11,849 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 11,849 \\ &= 2,561 + j 39,160 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,561 + j 39,160 \ \Omega \\ &= 2,561 + j 42,552 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,561 + j 42,552} = 271,062 \quad \angle -86,55^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,561 + j 42,552 + 35} = 203,522 \quad \angle -48,54^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 71 (jarak 12,244 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,244 \\ &= 2,647 + j 40,466 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,647 + j 40,466 \ \Omega \\ &= 2,647 + j 43,858 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,647 + j 43,858} = 262,803 \quad \angle -86,54^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,647 + j 43,858 + 35} = 199,775 \quad \angle -49,35^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 72 (jarak 12,341 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,341 \\ &= 2,668 + j 40,787 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,668 + j 40,787 \ \Omega \\ &= 2,668 + j 44,179 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,668 + j 44,179} = 260,893 \quad \angle -86,54^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,668 + j 44,179 + 35} = 198,889 \quad \angle -49,54^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 73 (jarak 12,461 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,461 \\ &= 2,694 + j 41,183 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,694 + j 41,183 \ \Omega \\ &= 2,694 + j 44,575 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,694 + j 44,575} = 258,574 \quad \angle -86,54^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,694 + j 44,575 + 35} = 197,803 \quad \angle -49,78^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 74 (jarak 12,500 km dari G1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,500 \\ &= 2,702 + j 41,312 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_i &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,702 + j 41,312 \ \Omega \\ &= 2,702 + j 44,704 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,702 + j 44,704} = 257,828 \quad \angle -86,54^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,702 + j 44,704 + 35} = 197,452 \quad \angle -49,85^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 75 (jarak 12,714 km dari G1)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,714 \\ &= 2,748 + j 42,019 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_i &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,748 + j 42,019 \ \Omega \\ &= 2,748 + j 45,411 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,748 + j 45,411} = 253,813 \quad \angle -86,53^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_i + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,748 + j 45,411 + 35} = 195,541 \quad \angle -50,26^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 76 (jarak 12,800 km dari GI)

$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 12,800 \\ &= 2,676 + j 42,304 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,676 + j 42,304 \ \Omega \\ &= 2,676 + j 45,696 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,676 + j 45,696} = 252,259 \quad \angle -86,64^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,676 + j 45,696 + 35} = 194,968 \quad \angle -50,49^\circ \text{ Ampere}$$

- Gangguan pada titik 77 (jarak 13,129 km dari GI)

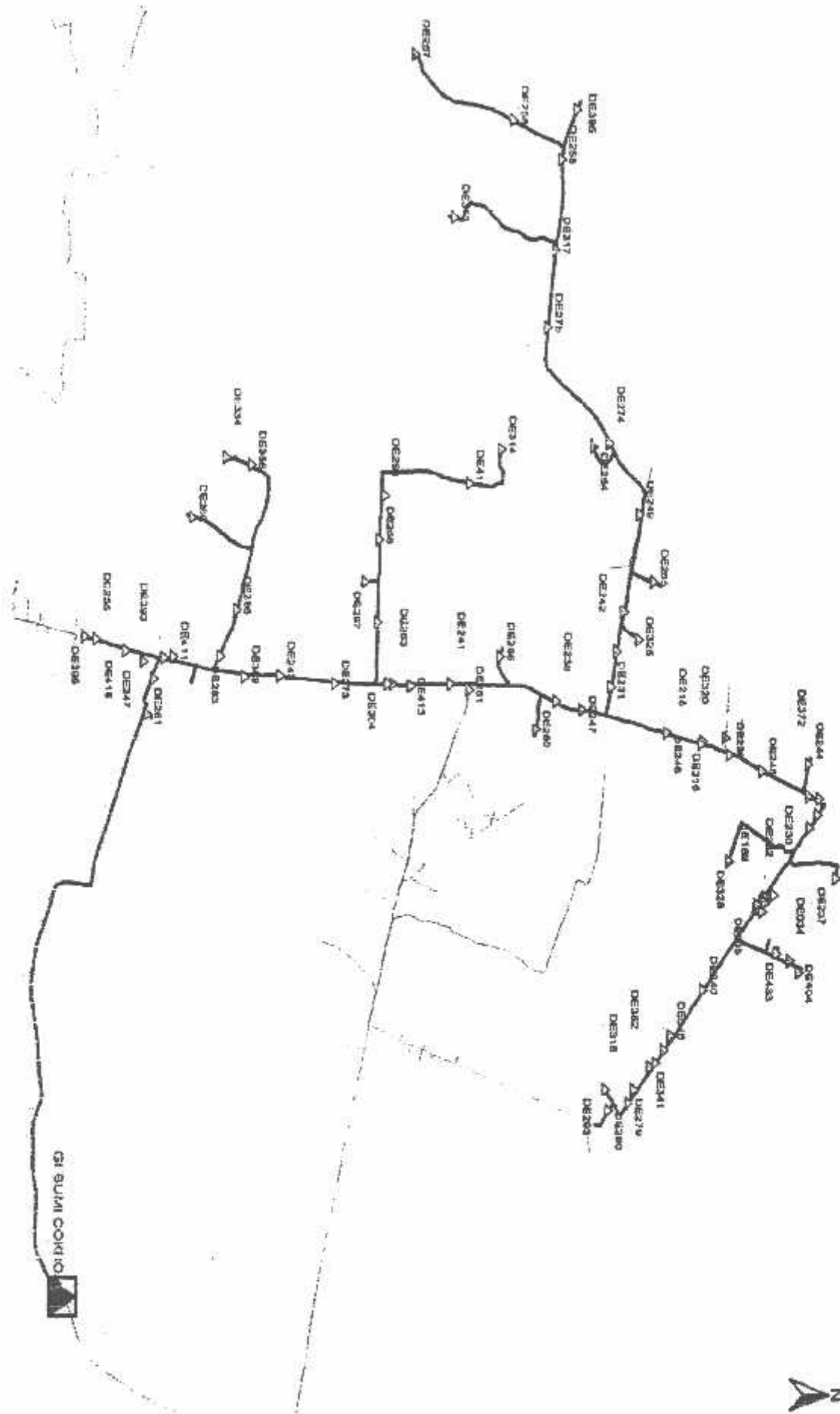
$$\begin{aligned} Z_{L1} &= (0,2162 + j 3,305) \times 13,129 \\ &= 2,838 + j 43,391 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \\ &= j 0,762 + j 2,63 + 2,838 + j 43,391 \ \Omega \\ &= 2,838 + j 46,783 \ \Omega \end{aligned}$$

$Z_f = 0$ untuk I_{hs} maksimum dan $Z_f = 35$ untuk I_{hs} minimum

$$I_{hs} \text{ maksimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,838 + j 46,783} = 246,367 \quad \angle -86,52^\circ \text{ Ampere}$$

$$I_{hs} \text{ minimum} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} = \frac{20.000 / \sqrt{3}}{2,838 + j 46,783 + 35} = 191,908 \quad \angle -51,03^\circ \text{ Ampere}$$



PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
APD SURABAYA

Gardu Induk	Bumicokro
Penyulang	Apollo
MV Cell 20 kV	Fuji trf mobil
Trafo	Trf Mobil-20 MVA
Tanggal	20-Nov-07

PENGUJIAN RELE
ARUS LEBIH (51) DAN GANGGUAN TANAH (67)

DATA RELE TERPASANG

OCR			DCR		
Pabrik :	ABB		:	Fuji Electric	
Type :	SPAJ140 C		:	DQAWA1H	
No. Seri (R) :			:		
No. Seri (T) :			:		
Ratio CT :	400/5		:	100/5	
<u>DATA SETING</u>					
I > :	300	A	Io :	2	A
t > (TD) :	0.5 SI	Curve	to :	1,0	sec
I >> :	1200	A	Vo :	10	V
t >> :	0,04	sec	Sudut :		deg
Io :	0,15	A	Io >> :		A
to :	3,0	sec	to >> :		sec

PENGUJIAN ARUS KERJA

Tap (A) %	Phasa	Pick Up	110%	150%	200%	300%	400%	Instant
OCR	R	3,8	3,058	0,957	0,514	0,328	0,050	0,050
	S	3,8	2,998	1,131	0,537	0,335	0,050	0,050
	T	3,8	3,728	1,051	0,526	0,347	0,058	0,058
Earth Fault	Io							
Tap (A) %		Pick Up						
DGR	Io >							
	Vo							
	Io >>							
		Sudut Kerja :						

RECLOSER

Pabrik :	Fuji Electric	Recloser 1 :	..... detik
Type :	DQRKA1HA	Recloser 2 :	..... detik
No. Seri :	K1J1364	Reclaim :	..... detik
		Dioperasikan :	OCR USE / UN USE DGR USE / UN USE

CATATAN : utk gangguan fasa tanah menggunakan GFR bukan DGR

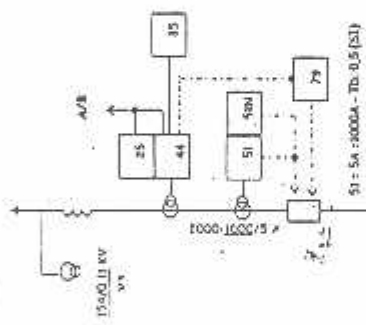
Mengetahui

Petugas Penguji

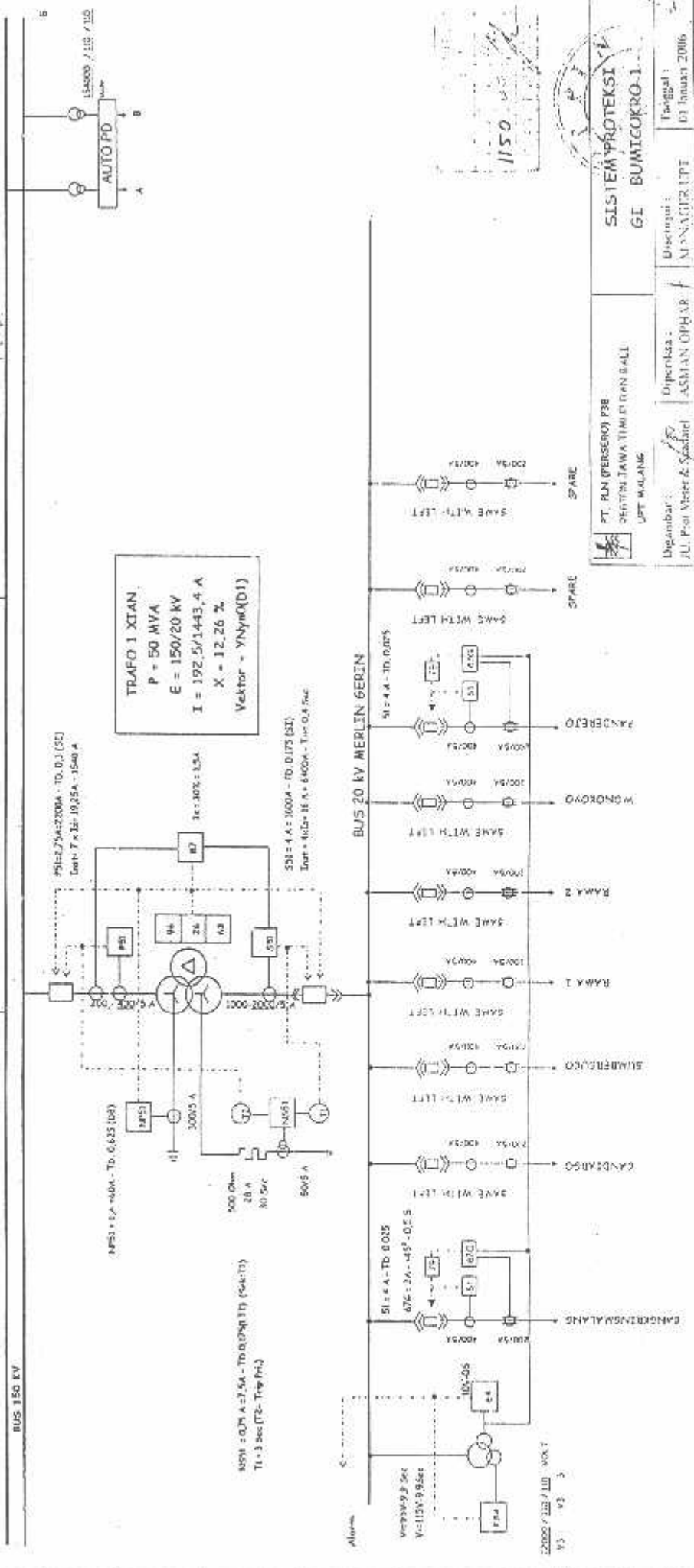
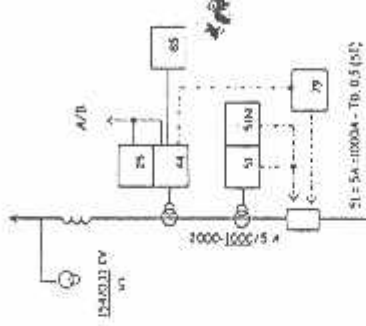
Hari Sularso Uray Aminin

id	kodepenyulang	kodegardu	alamatgardu	trafomilik	jumlahtrafo	kapasitastrafo1	DAYA	jenistrafo1	persenpengukuran
	APOLO	DE034	PT. CHARLES SINGGIH	PLN	1	100	13.2		79
	APOLO	DE218	SPBU Pabean Jpn	PLN	1	250			38
	APOLO	DE230	Muka Pasar Gempol	PLN	1	160			57
	APOLO	DE231	Raya Japanan	PLN	1	250			59
	APOLO	DE232	GWLS Wono Ayu	PELANGGAN	1	630	250	MOBIL	79
	APOLO	DE235	Ds Wono Ayu	PLN	1	160			73
	APOLO	DE236	Pabean	PLN	1	100			44
	APOLO	DE237	Gempol Joyo	PLN	1	160			80
	APOLO	DE238	Muka Dolog Japanan	PLN	1	250			58
	APOLO	DE240	Pefuk Gempol	PLN	1	200			68
	APOLO	DE241	Muka Kec. Gempol	PLN	1	250			33
	APOLO	DE242	PT Wijaya Karya I	PELANGGAN	1	400	240		79
	APOLO	DE243	Ds Ngetal	PLN	1	200			83
	APOLO	DE244	Gempol	PLN	1	100			93
	APOLO	DE245	Ds Tanjung	PLN	3	150			27
	APOLO	DE246	Bandulan	PLN	3	150			56
	APOLO	DE247	Raya Japanan	PLN	3	150			75
	APOLO	DE248	Gempol	PLN	1	250			17
	APOLO	DE248	Jl Raya Carat	PLN	3	150			56
	APOLO	DE251	Raya Melikan	PLN	1	160			50
	APOLO	DE254	Lapang Gunung Prah	PLN	1	100			3
	APOLO	DE255	Ngerong	PLN	1	160			42
	APOLO	DE256	Brimob Wt Kosek Tgh	PLN	1	160			6
	APOLO	DE257	Brimob Wt Kosek ats	PLN	1	160			3
	APOLO	DE258	Watu Kosek	PLN	1	200			82
	APOLO	DE260	PT Chopdo	PLN	1	200	164		79
	APOLO	DE261	PT Brantas Ablpraya	PLN	1	160	114		79
	APOLO	DE263	Tol Bulusari	PLN	1	250			58
	APOLO	DE265	Ds Raos Baru	PLN	1	250			75
	APOLO	DE266	Pandaan	PLN	1	160			85
	APOLO	DE267	Bulu sari	PLN	1	160			88
	APOLO	DE268	Bulu sari	PLN	1	160			65
	APOLO	DE269	Jeruk Purut	PLN	1	160			48
	APOLO	DE273	Ds Ngetal	PLN	3	75			80
	APOLO	DE274	Ds Carat	PLN	3	150			59
	APOLO	DE275	Lawang/Watu Kosek	PLN	3	150			36
	APOLO	DE279	Ds Tempel Gempol	PLN	1	100			89
	APOLO	DE280	Kebon Sari Gempol	PLN	3	150			48
	APOLO	DE281	Krg Ploso Ngerong	PLN	1	160			59
	APOLO	DE282	PT Sari rajut Indah	PELANGGAN	1	630	555		79
	APOLO	DE283	SPBU Ngerong	PLN	1	100			18
	APOLO	DE288	Patem Jeruk Purut	PLN	1	200			58
	APOLO	DE293	PT Tirta Perkasa Abd	PELANGGAN	1	630	240		79
	APOLO	DE294	Buku sari	PLN	1	100			101
	APOLO	DE295	PT Surya Nusa Abadi	PELANGGAN	1	1250	885		79
	APOLO	DE298	PT Ocean Gomindo	PELANGGAN	1	1000	885		79
	APOLO	DE299	PT Telkom Gempol	PLN	1	160	82,5		79
	APOLO	DE304	PT Aria Lestari	PLN	1	160	105		79
	APOLO	DE309	PT INDOFOOD SUKSES MAKMUR	PELANGGAN	1	1600	1385		79
	APOLO	DE312	PT Anaka Banu Sakti	PELANGGAN	1	1000	865		79
	APOLO	DE314	Komplek Zldam	PLN	1	160			21
	APOLO	DE317	Pusdik Brimob	PLN	1	100			14
	APOLO	DE318	PT Agip Lurindo	PELANGGAN	1	2500	2180		79
	APOLO	DE320	PT Halim Jaya/Handk	PELANGGAN	1	800	555		79
	APOLO	DE325	PT Wijaya Karya II	PELANGGAN	1	250	240		79
	APOLO	DE328	Gempol Citra Asri	PLN	1	160			67
	APOLO	DE334	PT Amarta	PELANGGAN	1	630	555		79
	APOLO	DE341	PT Cahaya Sejati C.	PLN	1	200	197		79
	APOLO	DE346	PT Lubianto Tanoyo	PLN	1	100	66		79
	APOLO	DE347	PT Evarindo Mega M	PELANGGAN	1	2000	1110		79
	APOLO	DE358	PT Gunung Arta Mng	PLN	1	160	105		79
	APOLO	DE365	PT Pandowo Polish I	PLN	1	200	197		79
	APOLO	DE372	Ds Kauman Baru	PLN	1	160			48
	APOLO	DE373	Ds Sumber Rejo	PLN	1	160			50
	APOLO	DE382	DN CARAT	PLN	1	100	82,5		79
	APOLO	DE383	PT Pandowo Polish II	PLN	1	200	197		79
	APOLO	DE385	PT Awico IndoSteel P	PLN	1	200	197		79
	APOLO	DE386	PT Pandowo Polish III	PELANGGAN	1	1000	885		79
	APOLO	DE389	Ds Tempel Gempol	PLN	1	160			49
	APOLO	DE392	PT Berkas Sarana G	PLN	1	200	197		79
	APOLO	DE393	PT Hermin Puji Astuti	PLN	1	50	41,5		79
	APOLO	DE395	Ds Carat	PLN	1	200	66		79
	APOLO	DE396	Ds Ngerong	PLN	1	100			85
	APOLO	DE404	PT JATIM AUTOCOM	PELANGGAN	1	1000	890		79
	APOLO	DE411	Perusahaan Off Set	PLN	1	200	164		79
	APOLO	DE418	PT Irwanto	PLN	1	100			79
	APOLO	DE423	PT FOCON Indonesia	PELANGGAN	1	630	345		79
	APOLO	DE433	PT ANDRIGIRI	PLN	1	250	105		79

BANGSIL 1



BANGSIL 2



1150

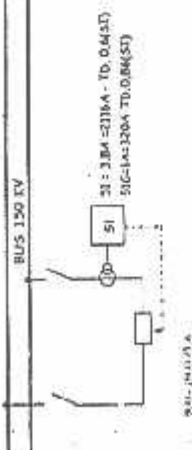
SISTEM PROTEKSI GI BUMICOKRO-1

PT. PLN (PERSERO) PJB
 SEKTOR JAWA TIMUR DAN BALL
 UPT MALANG

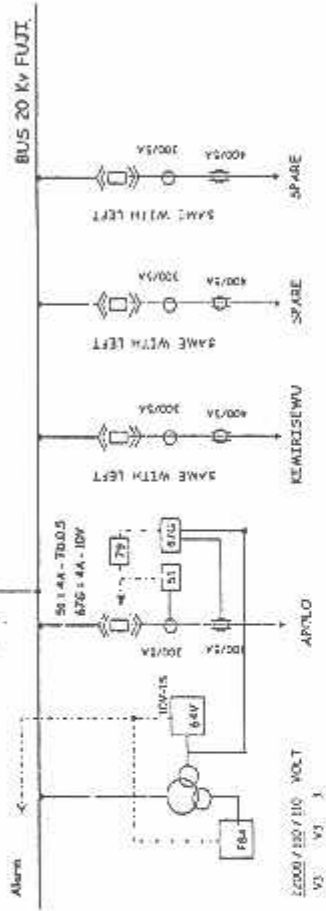
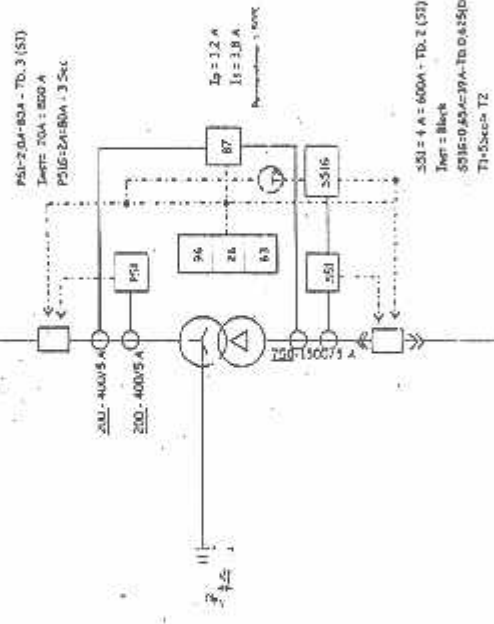
Diperiksa :
 ASMARI OPHAR

Dibuat :
 MURNAGI RUPIT

Tanggal :
 01 Januari 2006



TRAFO 7 TRAFO MOBIL FUJI
 $P = 20 \text{ MVA}$
 $E = 150/20 \text{ KV}$
 $I = 77/577 \text{ A}$
 $X = 13,18 \%$
 Vektor - YNd1



1150 150
 11-20-2018

SISTEM PROYEKSI
GI. BUMICIKRO 2

PT. PLN (PERSERO) P33
 REGION JAWA TIMUR DAN BANTU
 UPT MALANG

Digambar: J.U. Pratiwi & Suardana
 Diperiksa: ASMAN OPHAR

Diketahui: MANAGER UPT

Tanggal: 01 Januari 2018