

BAB IV

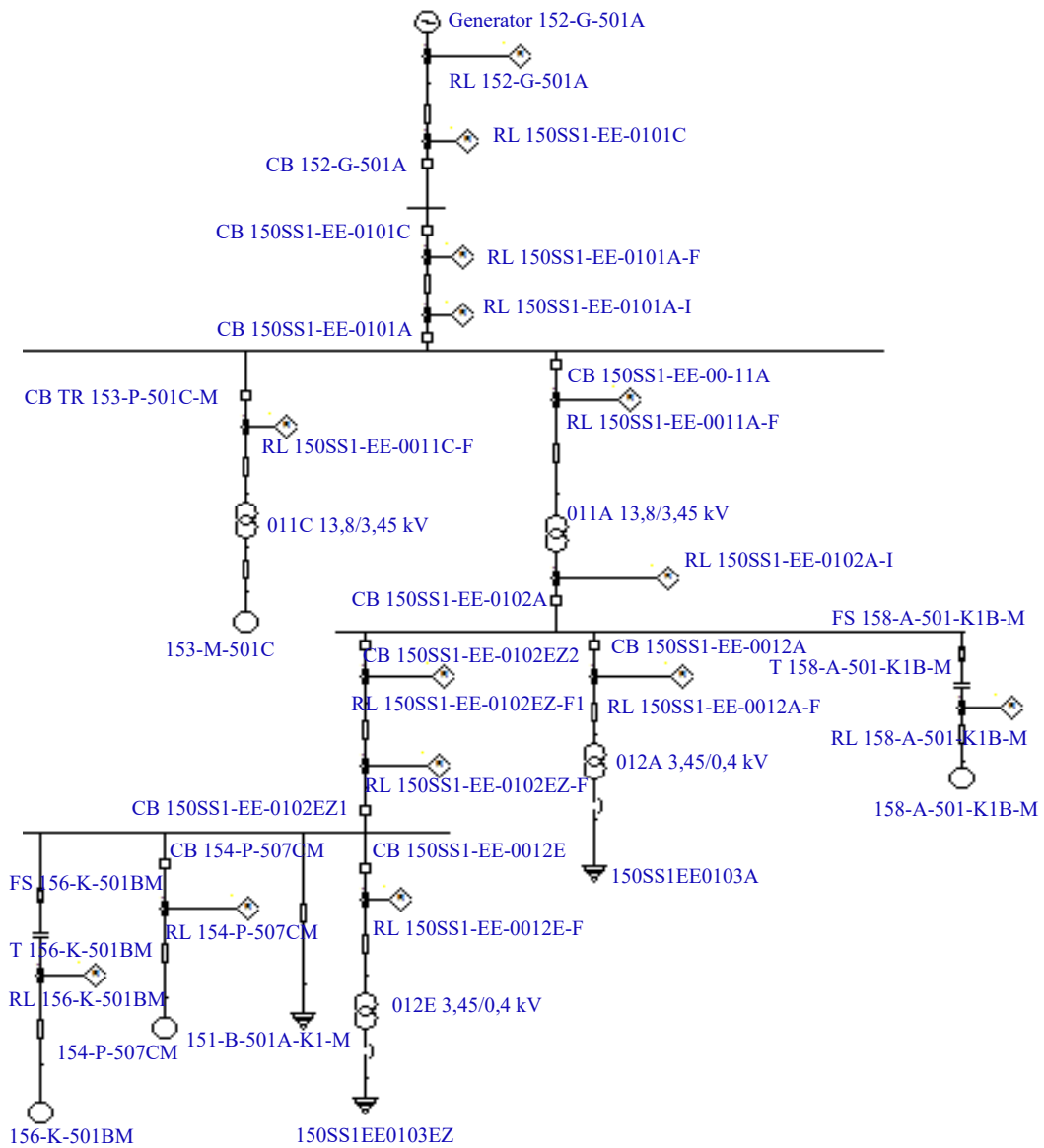
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Unjuk Kerja Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 150SS1 Pembangkitan Generator 152-G-501A Kilang RFCC

Pada pembahasan unjuk kerja proteksi relai arus lebih jaringan distribusi tenaga listrik 150SS1 Pembangkitan Generator 152-G-501A Kilang RFCC, proteksi relai arus lebih dibagi menjadi tiga belas zona proteksi yang terdiri dari empat belas relai arus lebih. Masing-masing zona proteksi terdiri dari proteksi utama dan proteksi cadangan. Idealnya proteksi utama dan proteksi cadangan akan bekerja secara terkoordinasi, yaitu proteksi utama yang akan bekerja terlebih dahulu dan jika proteksi utama mengalami kegagalan kerja, maka proteksi cadangan akan bekerja. Pada pembahasan ini akan dilakukan analisis terhadap unjuk kerja koordinasi proteksi relai arus lebih berdasarkan setting relai yang diterapkan di lapangan.

4.1.2 *Single Line* Diagram Proteksi Relai Arus Lebih Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 150SS1 Pembangkitan Generator 152-G-501A Kilang RFCC

Single line diagram proteksi relai arus lebih jaringan distribusi tenaga listrik 150SS1 pembangkitan Generator 152-G-501A kilang RFCC dibuat menggunakan *software* ETAP versi 12.6. *Single line* diagram dibuat berdasarkan data-data yang diperoleh di lapangan. *Single Line* diagram proteksi relai arus lebih jaringan distribusi tenaga listrik 150SS1 pembangkitan generator 152-G-501A kilang RFCC dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Single Line Diagram Proteksi Relai Arus Lebih

4.1.3 Data Setting Relai Arus Lebih

Data setting relai arus lebih yang terpasang dilapangan adalah sebagai berikut:

1. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0012E-F
Merek : Merlin Gerin
Model : Sepam 20
Rasio CT : 600/5
Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC – *Very Inverse*
Pick up I set primer = 438 Ampere
Pick up I set sekunder = 0.73 Ampere
Time Dial = 0.36
Setting Instant : *Pick up* I set primer = 5940 Ampere
Pick up I set sekunder = 9.9 Ampere
Time Delay = 0.05 Detik

2. Nama Relai : RL 154-P-507CM
Merek : Merlin Gerin
Model : Sepam 80
Rasio CT : 300/5
Setting *inverse* : *Curve Type* = *Thermal Overload Curve*
Pick up I set primer = 219 Ampere
Pick up I set sekunder = 0.73 Ampere
Setting Instant : *Pick up* I set primer = 2070 Ampere
Pick up I set sekunder = 6.9 Ampere
Time Delay = 0.05 Detik

3. Nama Relai : RL 156-K-501BM
Merek : Merlin Gerin
Model : Sepam 80
Rasio CT : 100/5
Setting *inverse* : *Curve Type* = *Thermal Overload Curve*

Pick up I set primer = 76 Ampere

Pick up I set sekunder = 0.76 Ampere

Setting Instant : -

4. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0102EZ-F

Merek : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Rasio CT : 1200/5

Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*

Pick up I set primer = 1500 Ampere

Pick up I set sekunder = 1.25 Ampere

Time Dial = 0.25

Setting Instant : -

5. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0102EZ-F1

Merek : Merlin Gerin

Model : Sepam 20

Rasio CT : 1200/5

Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*

Pick up I set primer = 1500 Ampere

Pick up I set sekunder = 1.25 Ampere

Time Dial = 0.3

Setting Instant : -

6. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0012A-F

Merek : Square D

Model : Sepam *series* 20

Rasio CT : 500/5

Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*

Pick up I set primer = 350 Ampere

Pick up I set sekunder = 0.7 Ampere

- | | | | |
|-----------------|-------------------------------|--------|--------|
| | <i>Time Dial</i> | = 0.8 | |
| Setting Instant | : <i>Pick up</i> I set primer | = 5350 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 10.7 | Ampere |
| | <i>Time Delay</i> | = 0.05 | Detik |
7. Nama Relai : RL 158-A-501-K1B-M
- Merek : Merlin Gerin
- Model : Sepam 80
- Rasio CT : 200/5
- Setting *inverse* : *Curve Type* = *Thermal Overload Curve*
- | | | | |
|--|-------------------------------|--------|--------|
| | <i>Pick up</i> I set primer | = 158 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 0.79 | Ampere |
- Setting Instant : -
8. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0102A-I
- Merek : Merlin Gerin
- Model : Sepam 80
- Rasio CT : 1600/5
- Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*
- | | | | |
|--|-------------------------------|--------|--------|
| | <i>Pick up</i> I set primer | = 1680 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 1.05 | Ampere |
| | <i>Time Dial</i> | = 0.5 | |
9. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0011A-F
- Merek : Merlin Gerin
- Model : Sepam 40
- Rasio CT : 600/5
- Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*
- | | | | |
|--|-------------------------------|-------|--------|
| | <i>Pick up</i> I set primer | = 420 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 0.7 | Ampere |
| | <i>Time Dial</i> | = 0.5 | |

- | | | | |
|-----------------|-------------------------------|--------|--------|
| Setting Instant | : <i>Pick up</i> I set primer | = 5880 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 9.8 | Ampere |
| | <i>Time Delay</i> | = 0.05 | Detik |
10. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0011C-F
- Merek : Merlin Gerin
- Model : Sepam 40
- Rasio CT : 300/5
- | | | | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------|
| Setting <i>inverse</i> | : <i>Curve Type</i> | = IEC - <i>Very Inverse</i> | |
| | <i>Pick up</i> I set primer | = 219 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 0.73 | Ampere |
| | <i>Time Dial</i> | = 1 | |
- | | | | |
|-----------------|-------------------------------|--------|--------|
| Setting Instant | : <i>Pick up</i> I set primer | = 876 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 2.92 | Ampere |
| | <i>Time Delay</i> | = 0.2 | Detik |
11. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0101A-I
- Merek : Merlin Gerin
- Model : Sepam 80
- Rasio CT : 2000/5
- | | | | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------|
| Setting <i>inverse</i> | : <i>Curve Type</i> | = IEC - <i>Very Inverse</i> | |
| | <i>Pick up</i> I set primer | = 2060 | Ampere |
| | <i>Pick up</i> I set sekunder | = 1.03 | Ampere |
| | <i>Time Dial</i> | = 0.6 | |
- Setting Instant : -
12. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0101A-F
- Merek : Merlin Gerin
- Model : Sepam 40
- Rasio CT : 2000/5
- | | | | |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| Setting <i>inverse</i> | : <i>Curve Type</i> | = IEC - <i>Very Inverse</i> | |
| | <i>Pick up</i> I set primer | = 2480 | Ampere |

Pick up I set sekunder = 1.24 Ampere

Time Dial = 0.7

Setting Instant : -

13. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0101C-I

Merek : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Rasio CT : 1000/5

Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*

Pick up I set primer = 1240 Ampere

Pick up I set sekunder = 1.24 Ampere

Time Dial = 0.5

Setting Instant : -

14. Nama Relai : RL 150SS1-EE-0101C-I

Merek : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Rasio CT : 1000/1

Setting *inverse* : *Curve Type* = IEC - *Very Inverse*

Pick up I set primer = 1240 Ampere

Pick up I set sekunder = 1.24 Ampere

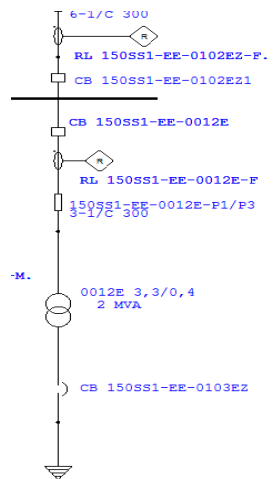
Time Dial = 1

Setting Instant : -

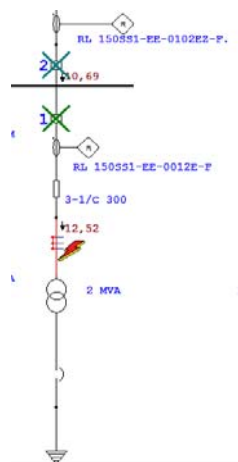
4.1.4 Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Berdasarkan Data Lapangan

1. Zona Proteksi 1

Sistem pengaman zona proteksi 1 digambarkan pada gambar 4.2. Pada gambar 4.2 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 1 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0012E-F dan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F. Pada zona proteksi 1 bila terjadi gangguan, Relai RL 150SS1-EE-0012E-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 105 SS1-EE012-F melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ melakukan *trip*.



Gambar 4.2 Single Line Zona Proteksi 1

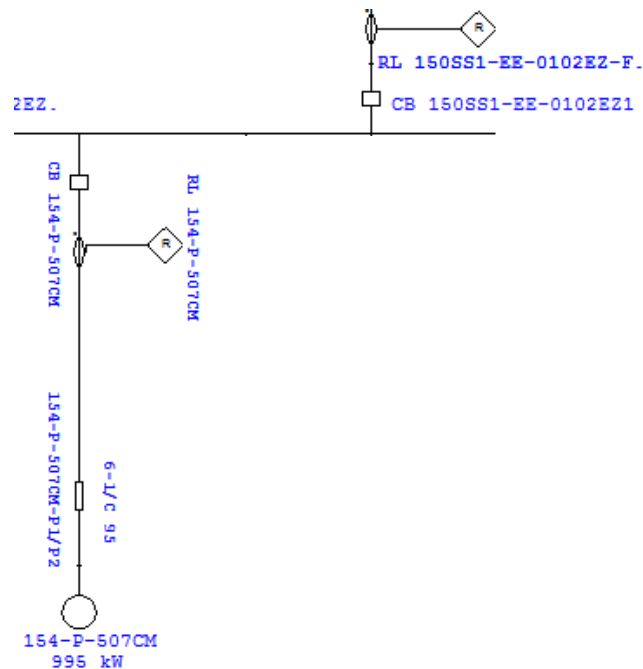


Gambar 4.3 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 1

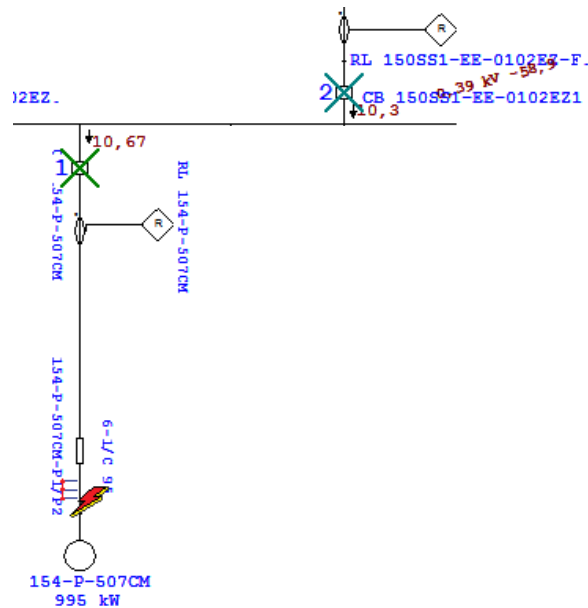
Gambar 4.3 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 1. Berdasarkan pada gambar 4.3 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 1, koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai RL 150SS1-EE-0012E-F bekerja terlebih dahulu untuk memberikan isyarat kepada CB 105 SS1-EE012E-F melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0012E-F mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip*.

2. Zona Proteksi 2

Sistem pengaman zona proteksi 2 digambarkan pada gambar 4.4. Pada gambar 4.4 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 2 terdiri dari relai RL 154-P-507CM dan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F. Pada zona proteksi 2 bila terjadi gangguan, Relai RL 154-P-507CM bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 154-P-507CM melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip*.



Gambar 4.4 Single Line Zona Proteksi 2

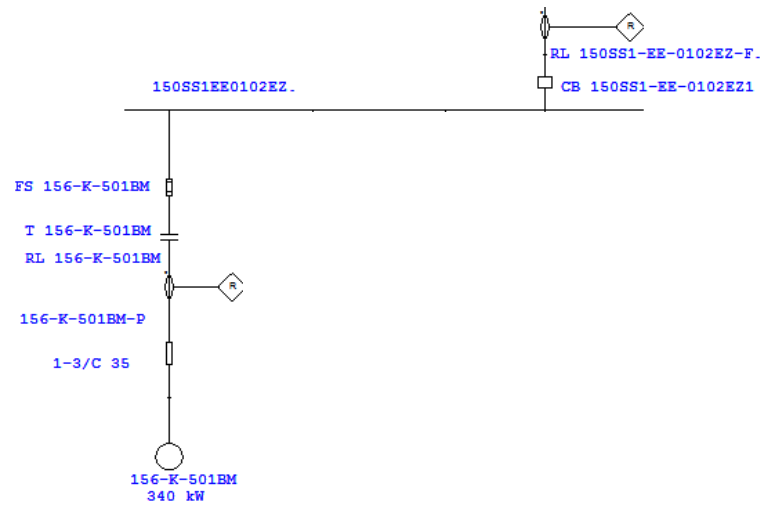


Gambar 4.5 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 2

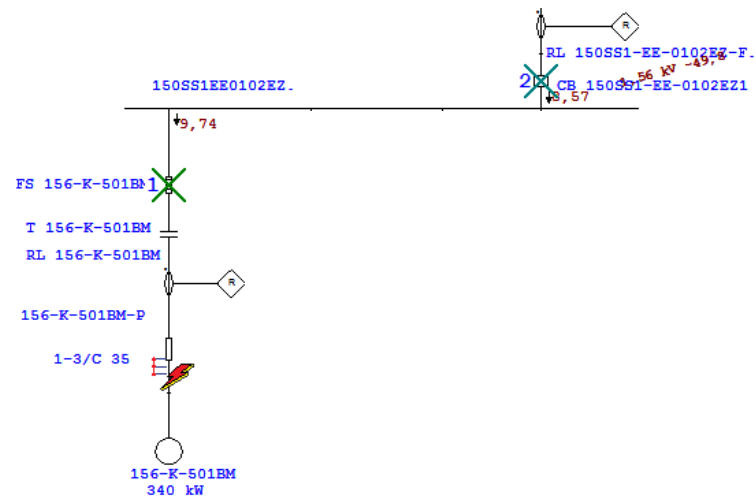
Gambar 4.5 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 2. Berdasarkan pada gambar 4.5 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 2, koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai RL 154-P-507CM bekerja terlebih dahulu untuk memberikan isyarat kepada CB 154-P-507CM melakukan *trip* dan jika relai RL 154-P-507CM mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip*.

3. Zona Proteksi 3

Sistem pengaman zona proteksi 3 digambarkan pada gambar 4.6. Pada gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 3 terdiri dari Fuse 156-K-501BM, relai RL 156-K-501BM dan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F. Pada zona proteksi 3 bila terjadi gangguan, Fuse 156-K-501BM bekerja sebagai pengaman utama bila terjadi gangguan hubung singkat dan Relai RL 156-K-501BM bekerja sebagai relai utama untuk mengisyaratkan kontaktor T 156-K-501BM bila terjadi gangguan beban lebih, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip*.



Gambar 4.6 Single Line Zona Proteksi 3

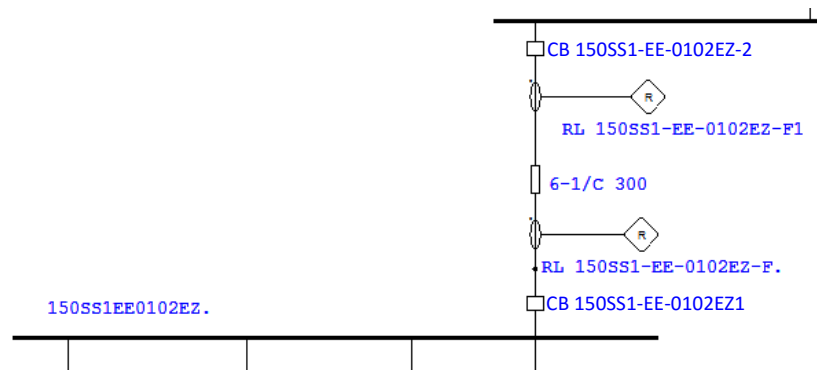


Gambar 4.7 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi

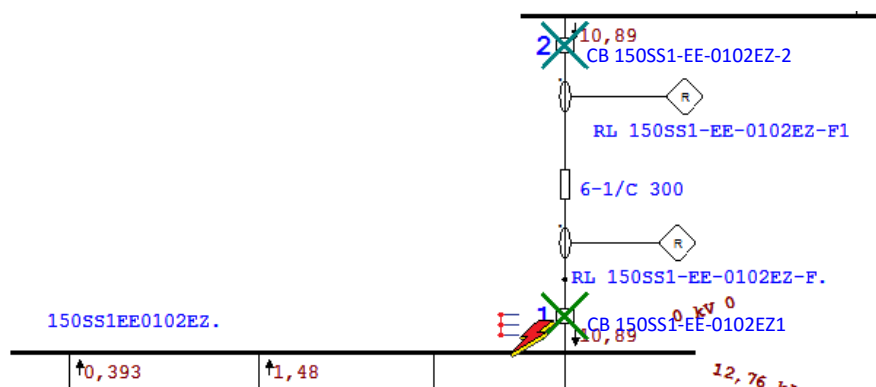
Gambar 4.7 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 3. Berdasarkan pada gambar 4.7 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 3, koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, Fuse 156-K-501BM bekerja terlebih dahulu dan jika Fuse RL 156-K-501BM mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip*.

4. Zona Proteksi 4

Sistem pengamanan zona proteksi 4 digambarkan pada gambar 4.8. Pada gambar 4.8 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 4 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F dan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1. Pada zona proteksi 4 bila terjadi gangguan, Relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ-2 melakukan *trip*.



Gambar 4.8 Single Line Zona Proteksi 4



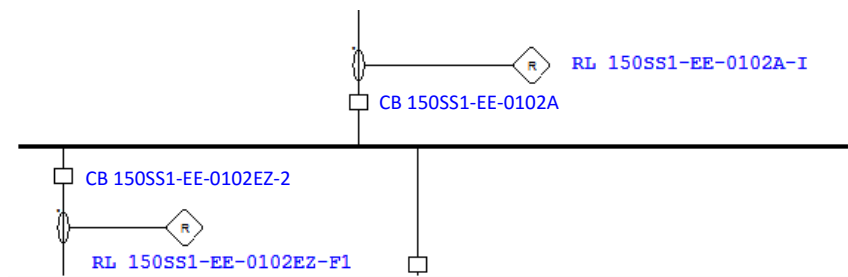
Gambar 4.9 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 4

Gambar 4.9 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 4. Berdasarkan pada gambar 4.9 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 4, koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai RL 150SS1-EE-

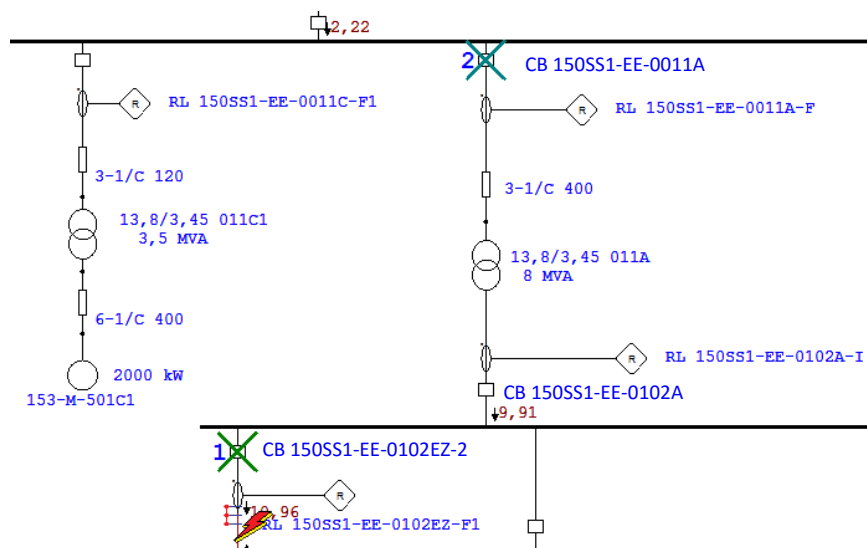
0102EZ-F bekerja terlebih dahulu untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ1 melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ-2 melakukan *trip*.

5. Zona Proteksi 5

Sistem pengaman zona proteksi 5 digambarkan pada gambar 4.10. Pada gambar 4.10 dijelaskan bahwa zona proteksi 5 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I. Pada zona proteksi 5 bila terjadi gangguan, Relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ-2 melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*.



Gambar 4.10 Single Line Zona Proteksi 5

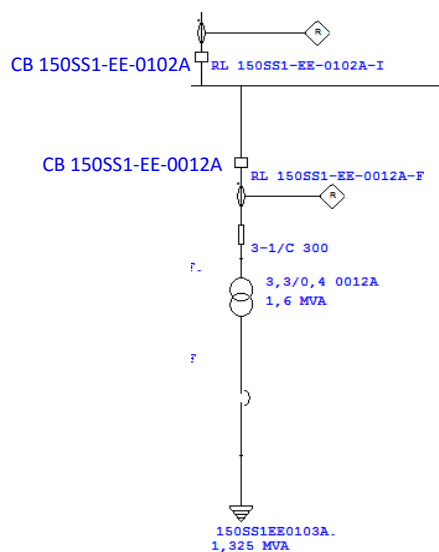


Gambar 4.11 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 5

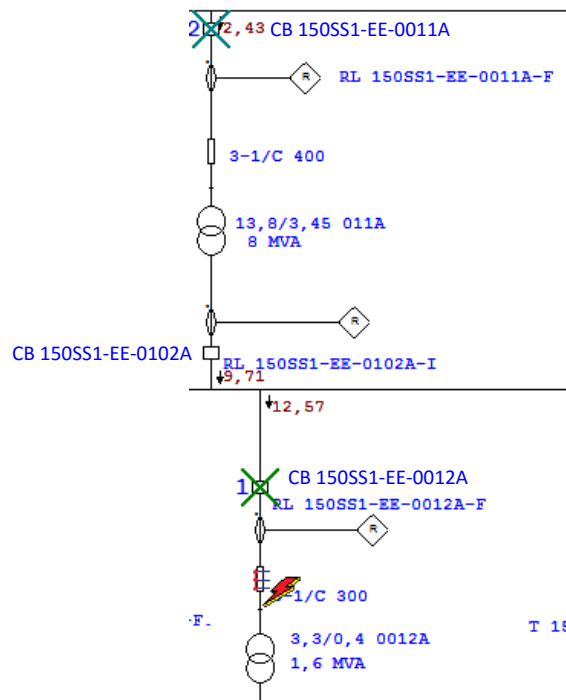
Gambar 4.11 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 5. Berdasarkan pada gambar 4.11 dapat dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 5, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F bekerja terlebih dahulu untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102EZ-2 melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F mengalami gagal kerja, maka seharusnya relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*. Tetapi pada saat disimulasikan yang menjadi relai cadangan adalah relai RL 150SS1-EE-011A-F dengan memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011A melakukan *trip* yang berada diluar zona proteksi 5.

6. Zona Proteksi 6

Sistem pengaman zona proteksi 6 digambarkan pada gambar 4.12. Pada gambar 4.12 dijelaskan bahwa zona proteksi 6 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0012A-F dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I. Pada zona proteksi 6 bila terjadi gangguan, Relai RL 150SS1-EE-0012A-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0012A melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*.



Gambar 4.12 Single Line Zona Proteksi 6

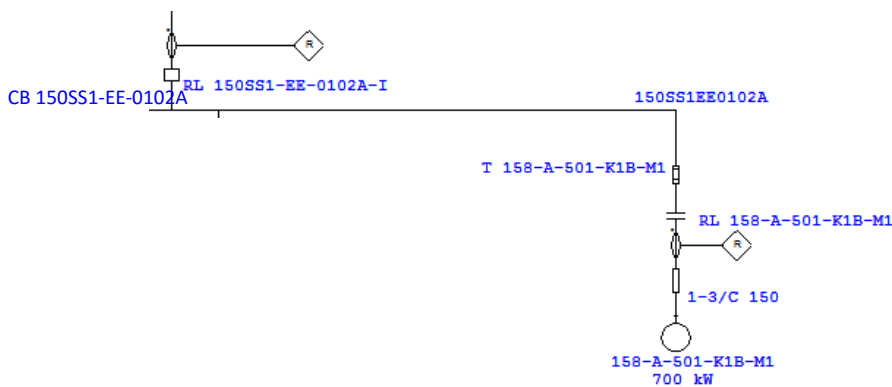


Gambar 4.13 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 6

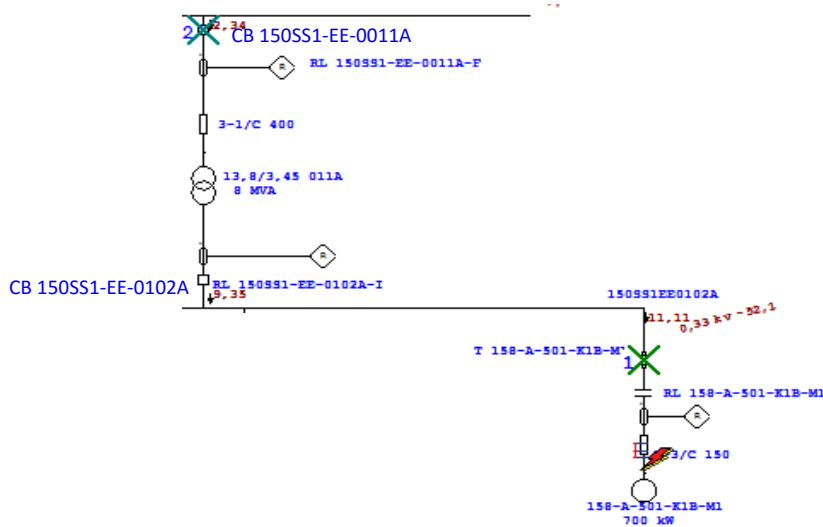
Gambar 4.13 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 6. Berdasarkan pada gambar 4.13 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 6, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai RL 150SS1-EE-0012A-F bekerja terlebih dahulu untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0012A melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0012A-F mengalami gagal kerja, maka seharusnya relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*. Tetapi pada saat disimulasikan yang menjadi relai cadangan adalah relai RL 150SS1-EE-011A-F dengan memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011A melakukan *trip* yang berada diluar zona proteksi 6.

7. Zona Proteksi 7

Sistem pengamanan zona proteksi 7 digambarkan pada gambar 4.14. Pada gambar 4.14 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 7 terdiri dari Fuse 158-A-501-K1B-M, relai RL 158-A-501-K1B-M dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I. Pada zona proteksi 3 bila terjadi gangguan, Fuse 158-A-501-K1B-M bekerja sebagai pengamanan utama bila terjadi gangguan hubung singkat dan Relai RL 158-A-501-K1B-M bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada Kontaktor 158-A-501-K1B-M1 melakukan *trip* bila terjadi gangguan beban lebih, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*.



Gambar 4.14 Single Line Zona Proteksi 7

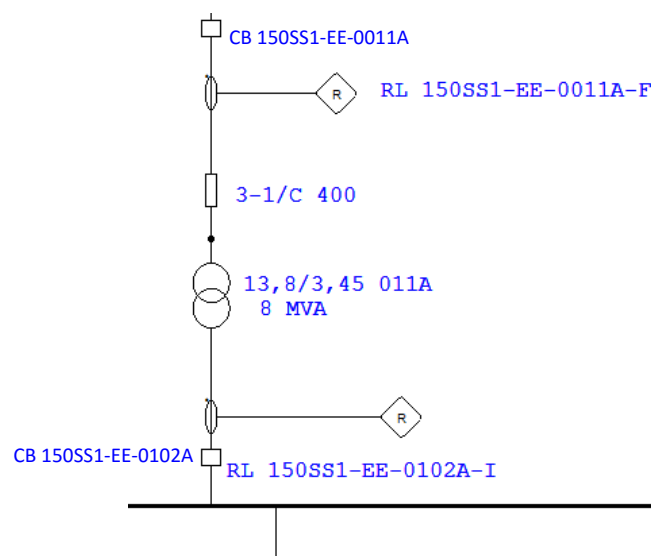


Gambar 4.15 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 7

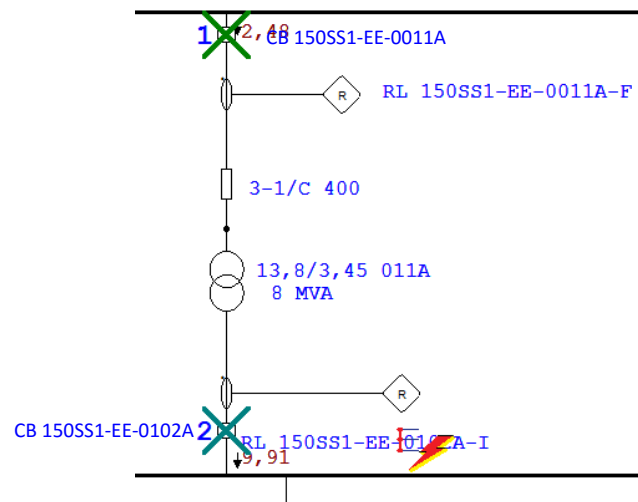
Gambar 4.15 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 7. Berdasarkan pada gambar 4.15 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 7, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, Fuse 158-A-501-K1B-M bekerja terlebih dahulu dan jika Fuse 158-A-501-K1B-M mengalami gagal kerja, maka seharusnya relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*. Tetapi pada saat disimulasikan yang menjadi relai cadangan adalah relai RL 150SS1-EE-011A-F dengan memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011A melakukan *trip* yang berada di luar zona proteksi 7.

8. Zona Proteksi 8

Sistem pengaman zona proteksi 8 digambarkan pada gambar 4.16. Pada gambar 4.16 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 8 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-0011A-F. Pada zona proteksi 8 bila terjadi gangguan, Relai RL 150SS1-EE-0102A-I bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0011A-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011A melakukan *trip*.



Gambar 4. 16 *Single Line* Zona Proteksi 8

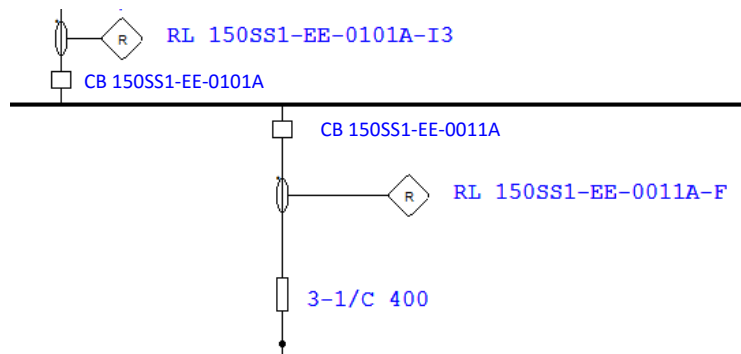


Gambar 4.17 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 8

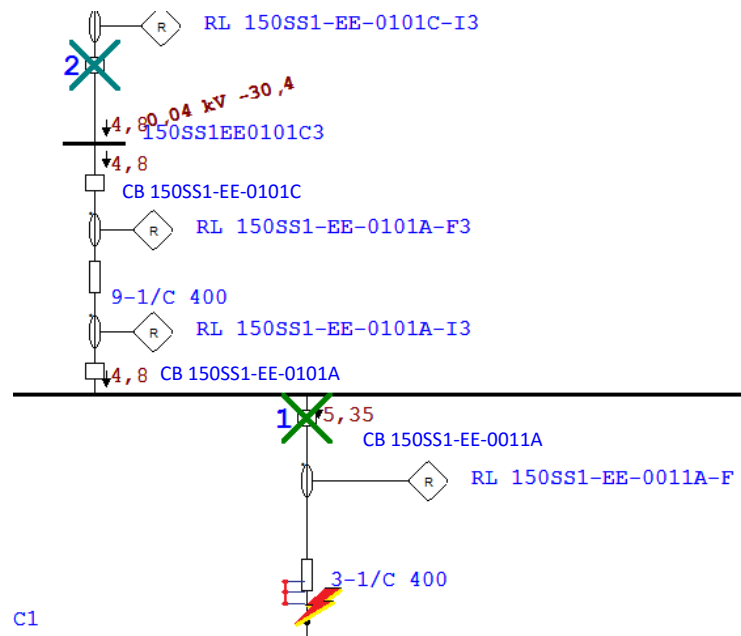
Gambar 4.17 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 8. Berdasarkan pada gambar 4.17 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 8, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai yang bekerja terlebih dahulu adalah relai 150SS1-EE-011A-F dengan memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011A melakukan *trip*. Seharusnya relai yang bekerja terlebih dahulu adalah relai 150SS1-EE-0102A-I dengan memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0102A melakukan *trip*, karena relai 150SS1-EE-0102A-I adalah relai utama di zona proteksi 8, sedangkan relai 150SS1-EE-011A-F adalah relai cadangan.

9. Zona Proteksi 9

Sistem pengaman zona proteksi 9 digambarkan pada gambar 4.18. Pada gambar 4.18 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 9 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0011A-F dan relai RL 150SS1-EE-0101A-I. Pada zona proteksi 9, Relai RL 150SS1-EE-0011A-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011A melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0101A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101A melakukan *trip*.



Gambar 4. 18 Single Line Zona Proteksi 9

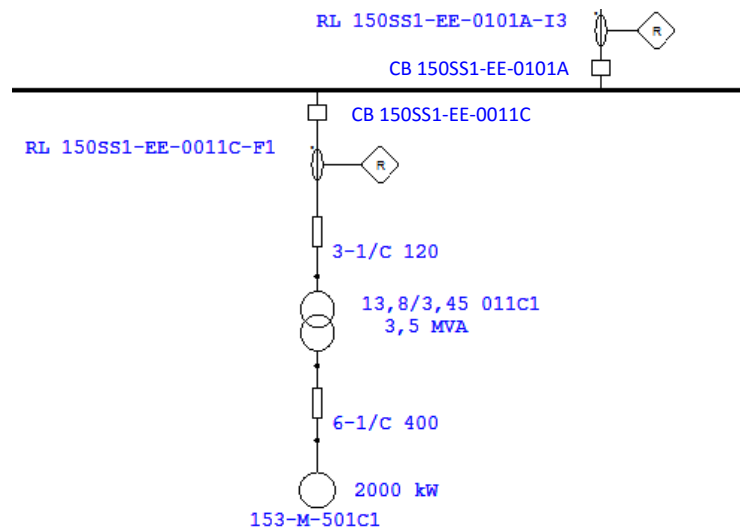


Gambar 4. 19 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 9

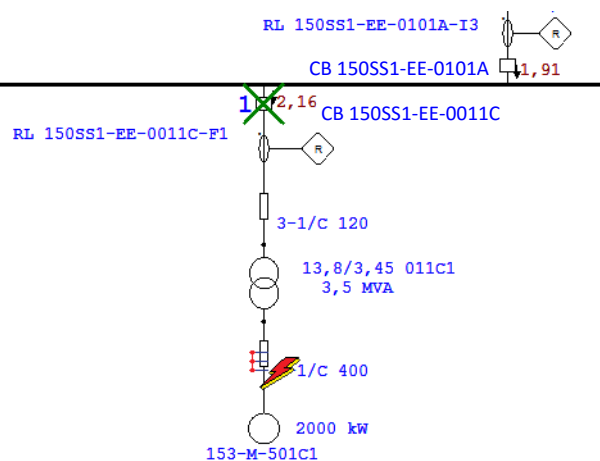
Gambar 4.19 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 9. Berdasarkan pada gambar 4.19 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 9, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai yang bekerja sebagai relai cadangan dari relai RL 150SS1-EE-0011A-F adalah relai RL 150SS1-EE-0101C-I, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0101C-I adalah relai yang terletak diluar zona proteksi 9. Seharusnya relai yang bekerja sebagai relai cadangan dari relai RL 150SS1-EE-0011A-F adalah relai RL 150SS1-EE-0101A-I.

10. Zona Proteksi 10

Sistem pengaman zona proteksi 10 digambarkan pada gambar 4.20. Pada gambar 4.20 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 10 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0011C-F dan relai RL 150SS1-EE-0101A-I. Pada zona proteksi 10, Relai RL 150SS1-EE-0011C-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011C melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0101A-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101A melakukan *trip*.



Gambar 4. 20 Single Line Zona Proteksi 10

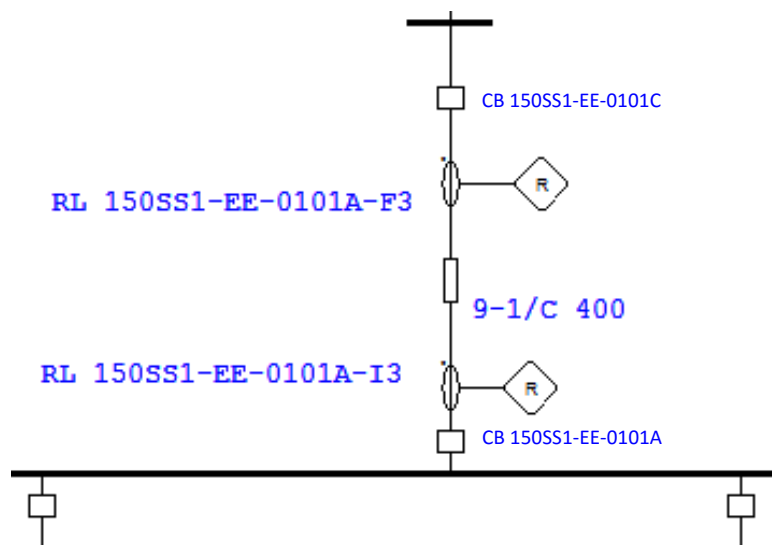


Gambar 4. 21 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 10

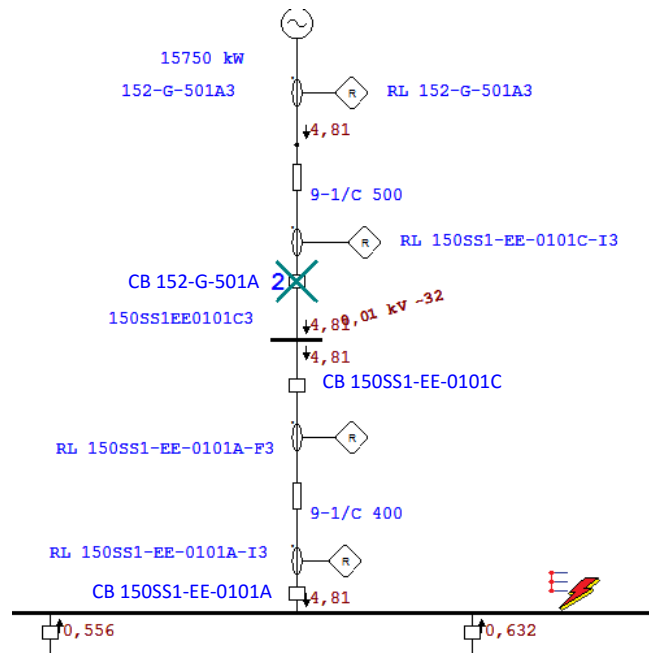
Gambar 4.21 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 10. Berdasarkan pada gambar 4.21 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 10, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, hanya relai RL 150SS1-EE-0011C-F yang mendeteksi gangguan dengan memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0011C melakukan *trip*. Ketika terjadi gangguan, seharusnya Relai RL 150SS1-EE-0101A-I bekerja sebagai cadangan dari relai RL 150SS1-EE-0011C-F untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101A melakukan *trip* bila relai RL 150SS1-EE-0011C-F mengalami gagal kerja.

11. Zona Proteksi 11

Sistem pengaman zona proteksi 11 digambarkan pada gambar 4.22. Pada gambar 4.22 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 11 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan relai RL 150SS1-EE-0101A-F. Pada zona proteksi 11, Relai RL 150SS1-EE-0101A-I bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101A melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0101A-F bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101C melakukan *trip*.



Gambar 4. 22 Single Line Zona Proteksi 11

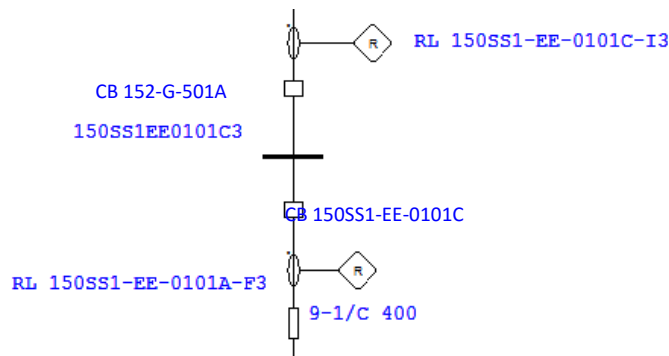


Gambar 4. 23 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 11

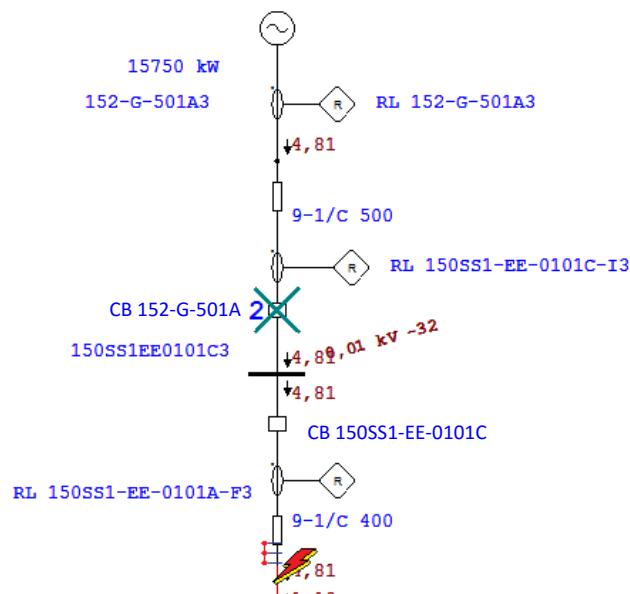
Gambar 4.23 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 11. Berdasarkan pada gambar 4.23 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 11, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai yang mendeteksi adanya gangguan dan memberikan isyarat kepada PMT untuk trip adalah relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501A yang berada diluar zona proteksi 11. Relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501A sama-sama disetting untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip*. Seharusnya jika terjadi gangguan pada zona proteksi 11, relai RL 150SS1-EE-0101A-I bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101A melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0101A-I mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101A bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101C melakukan *trip*.

12. Zona Proteksi 12

Sistem pengamanan zona proteksi 12 digambarkan pada gambar 4.24. Pada gambar 4.24 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 12 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0101A-F dan relai RL 150SS1-EE-0101C. Pada zona proteksi 12 bila terjadi gangguan, RL 150SS1-EE-0101A-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101C melakukan *trip*, sedangkan relai RL 150SS1-EE-0101C bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada RL 152-G-501A melakukan *trip*.



Gambar 4. 24 Single Line Zona Proteksi 12

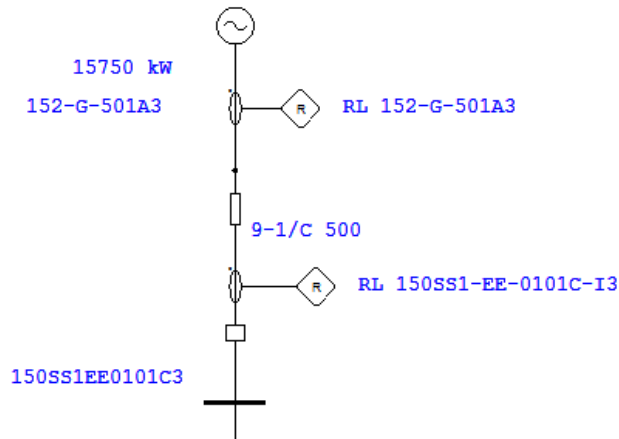


Gambar 4. 25 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 12

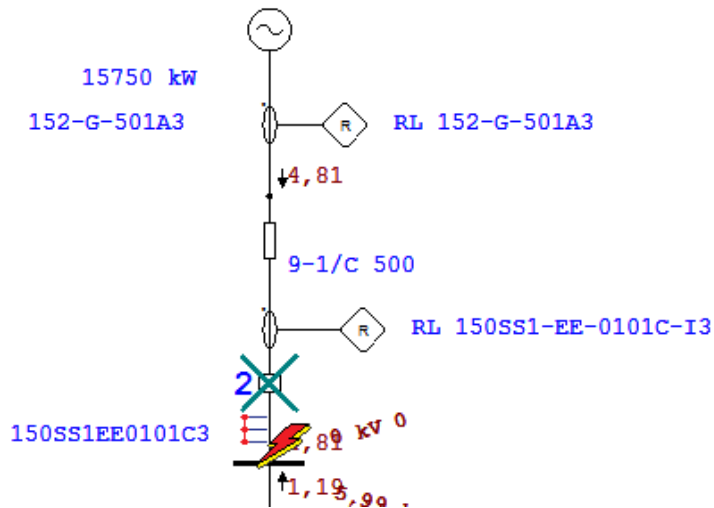
Gambar 4.25 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 12. Berdasarkan pada gambar 4.25 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 12, koordinasi proteksi relai arus lebih tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai yang mendeteksi adanya gangguan dan memberikan isyarat kepada PMT untuk trip adalah relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan diikuti oleh relai RL 152-G-501A yang berada diluar zona proteksi 12. Relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501A sama-sama disetting untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip*. Seharusnya bila terjadi gangguan di zona proteksi 12, relai RL 150SS1-EE-0101A-F bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 150SS1-EE-0101C melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0101A-I mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101C-I bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip*.

13. Zona Proteksi 13

Sistem pengaman zona proteksi 13 digambarkan pada gambar 4.26. Pada gambar 4.26 dapat dijelaskan bahwa zona proteksi 13 terdiri dari relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501A. Pada zona proteksi 13, RL 150SS1-EE-0101C-I bekerja sebagai relai utama, sedangkan relai RL 152-G-501 bekerja sebagai relai cadangan. Pada zona proteksi 13, RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501A sama-sama disetting untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip* bila terjadi gangguan. Setting waktu pada masing-masing relai digunakan untuk membedakan relai utama dan relai cadangan agar relai tidak bekerja secara bersamaan. Jika terjadi gangguan pada zona 13, maka relai RL 150SS1-EE-0101C-I bekerja sebagai relai utama untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip*. Jika relai RL 150SS1-EE-0101C-I gagal bekerja, maka relai RL 152-G-501A bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip*.



Gambar 4. 26 *Single Line* Zona Proteksi 13



Gambar 4. 27 Simulasi Koordinasi Zona Proteksi 13

Gambar 4.27 menampilkan unjuk kerja dari koordinasi proteksi relai arus lebih di zona proteksi 13. Berdasarkan pada gambar 4.27 dapat dijelaskan bila terjadi gangguan pada zona proteksi 13, koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan ketika terjadi gangguan, relai RL 150SS1-EE-0101C-I bekerja terlebih dahulu untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip* dan jika relai RL 150SS1-EE-0101C-I mengalami gagal kerja, maka relai RL 152-G-501A bekerja sebagai relai cadangan untuk memberikan isyarat kepada CB 152-G-501A melakukan *trip*.

4.2 *Resetting* Koordinasi Relai Arus Lebih Menggunakan Perhitungan Manual

Untuk melakukan *resetting* koordinasi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, perlu dilakukan beberapa perhitungan yang meliputi perhitungan impedansi, perhitungan arus hubung singkat, perhitungan arus beban penuh (FLA), dan perhitungan *setting* relai.

4.2.1 Perhitungan Impedansi

1. Impedansi Generator

Untuk menghitung impedansi generator, diperlukan data spesifikasi generator yang terpasang. Berikut adalah spesifikasi generator yang terpasang dilapangan:

Spesifikasi Generator

Nama = Generator 152-G-501A

Kapasitas = 15750 kW / 19688 kVA

Tegangan = 13,8 kV

X''d = 19 %

a. Impedansi Generator di Tegangan 13,8 kV

1) Reaktansi *Sub-Transient*

$$X_g \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$X_g \text{ (pada 100\%)} = \frac{13,8^2 \text{ kV}}{19,688 \text{ MVA}} = 9,67 \dots\dots\dots (4.1)$$

$$X_g \text{ (pada 19\%)} = \frac{19}{100} \times 9,67 = 1,84 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.2)$$

2) Resistansi Generator

$$R_g = \frac{X_g}{X''d}$$

$$R_g = \frac{1,84}{14,29} = 0,13 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.3)$$

3) Impedansi Generator

$$Z_g \text{ (13,8 kV)} = \sqrt{R_g^2 + X_g^2}$$

$$Z_g (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{0,13^2 + 1,84^2} = 1,84 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.4)$$

b. Impedansi Generator di Tegangan 3,45 kV

$$Z_g (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}}\right) \times Z_g(13,8 \text{ kV})$$

$$Z_g (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}}\right) \times 1,84 = 0,12 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.5)$$

2. Impedansi Trafo

Untuk menghitung impedansi trafo, diperlukan data spesifikasi trafo yang terpasang. Berikut adalah spesifikasi trafo yang terpasang di lapangan beserta hasil perhitungan impedansi:

2.1 Trafo 150SS1-EE-0011C

Kapasitas	= 3,5	MVA
Tegangan	= 13,8 / 3,3	kV
Xt	= 4	%

a. Impedansi Trafo di Tegangan 13,8 kV

1) Reaktansi Trafo

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{13,8^2 \text{ kV}}{3,5 \text{ MVA}} = 54,41 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$X_t (\text{pada } 4\%) = \frac{4}{100} \times 54,41 = j2,18 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.7)$$

2) Impedansi Trafo

$$Z_t (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

$$Z_t (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{0^2 + 2,18^2} = 2,18 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.8)$$

b. Impedansi Trafo di Tegangan 3,45 kV

$$Z_t (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}}\right) \times Z_t (13,8 \text{ kV})$$

$$Z_t (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}}\right) \times 2,18 = 0,14 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.9)$$

2.2 Trafo 150SS1-EE-0011A

Kapasitas	= 8	MVA
Tegangan	= 13,8 / 3,45	kV
Xt	= 8	%

a. Impedansi Trafo di Tegangan 13,8 kV

1) Reaktansi Trafo

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{13,8^2 kV}{8 MVA} = 23,81 \dots\dots\dots (4.10)$$

$$X_t \text{ (pada 8\%)} = \frac{8}{100} \times 23,81 = j1,9 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.11)$$

2) Impedansi Trafo

$$Z_t \text{ (13,8 kV)} = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

$$Z_t \text{ (13,8 kV)} = \sqrt{0^2 + 1,9^2} = 1,9 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.12)$$

b. Impedansi Trafo di Tegangan 3,45 kV

$$Z_t \text{ (3,45 kV)} = \left(\frac{3,45^2 kV}{13,8^2 kV} \right) \times Z_t \text{ (13,8 kV)}$$

$$Z_t \text{ (3,45 kV)} = \left(\frac{3,45^2 kV}{13,8^2 kV} \right) \times 1,9 = 0,12 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.13)$$

2.3 Trafo 150SS1-EE-0012A

Kapasitas	= 1,6	MVA
Tegangan	= 3,3 / 0,4	kV
Xt	= 6	%

a. Impedansi Trafo di Tegangan 13,8 kV

1) Reaktansi Trafo

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{13,8^2 kV}{1,6 MVA} = 119,03 \dots\dots\dots (4.14)$$

$$X_t \text{ (pada 6\%)} = \frac{6}{100} \times 119,03 = j7,14 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.15)$$

2) Impedansi Trafo

$$Z_t (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

$$Z_t (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{0^2 + 7,14^2} = 7,14 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.16)$$

b. Impedansi Trafo di Tegangan 3,45 kV

$$Z_t (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}} \right) \times Z_t (13,8 \text{ kV})$$

$$Z_t (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}} \right) \times 7,14 = 0,45 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.17)$$

2.4 Trafo 150SS1-EE-0012E

Kapasitas	= 2	MVA
Tegangan	= 3,3 / 0,4	kV
Xt	= 6	%

a. Impedansi Trafo di Tegangan 13,8 kV

1) Reaktansi Trafo

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA}$$

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{13,8^2 \text{ kV}}{2 \text{ MVA}} = 95,22 \dots\dots\dots (4.18)$$

$$X_t (\text{pada } 6\%) = \frac{6}{100} \times 95,22 = j5,71 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.19)$$

2) Impedansi Trafo

$$Z_t (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

$$Z_t (13,8 \text{ kV}) = \sqrt{0^2 + 5,71^2} = 5,71 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.20)$$

b. Impedansi Trafo di Tegangan 3,45 kV

$$Z_t (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}} \right) \times Z_t (13,8 \text{ kV})$$

$$Z_t (3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{3,45^2 \text{ kV}}{13,8^2 \text{ kV}} \right) \times 5,71 = 0,36 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.21)$$

3. Impedansi Motor

Untuk menghitung impedansi motor, diperlukan data spesifikasi motor yang terpasang. Berikut adalah spesifikasi motor yang terpasang dilapangan beserta hasil perhitungan impedansi:

3.1 Motor 153-M-501C

Daya	= 2000	kW
Arus Lock Motor (ILRC)	= 2010	A
Arus Beban Penuh (IFLC)	= 402	A
Tegangan (Vm)	= 3,3	kV
Faktor Daya Beban Penuh (Cos Øm)	= 0,80	

a. Impedansi Motor di Tegangan 3,45 kV

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{ILRC}{IFLC} \right)} \right) \times \left(\frac{V_m^2 \text{ Cos } \phi_m}{P_m} \right)$$
$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{2010}{402} \right)} \right) \times \left(\frac{3300^2 \times 0,80}{2000000} \right) = 0,87 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.22)$$

b. Impedansi Motor di Tegangan 13,8 kV

$$Z_m(13,8 \text{ kV}) = \left(\frac{13,8^2 \text{ kV}}{3,45^2 \text{ kV}} \right) \times 0,87 = 13,94 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.23)$$

3.2 Motor 158-A-501-K1B-M

Daya	= 700	kW
Arus Lock Motor (ILRC)	= 921,5	A
Arus Beban Penuh (IFLC)	= 141,8	A
Tegangan (Vm)	= 3,3	kV
Faktor Daya Beban Penuh (Cos Øm)	= 0,92	

a. Impedansi Motor di Tegangan 3,45 kV

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{ILRC}{IFLC} \right)} \right) \times \left(\frac{V_m^2 \text{ Cos } \phi_m}{P_m} \right)$$

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{921,5}{141,8} \right)} \right) \times \left(\frac{3300^2 \times 0,92}{700000} \right) = 2,21 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.24)$$

b. Impedansi Motor di Tegangan 13,8 kV

$$Z_m(13,8 \text{ kV}) = \left(\frac{13,8^2 \text{ kV}}{3,45^2 \text{ kV}} \right) \times 2,21 = 35,37 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.25)$$

3.3 Motor 156-K-501BM

Daya	= 340	kW
Arus Lock Motor (ILRC)	= 344	A
Arus Beban Penuh (IFLC)	= 68,81	A
Tegangan (Vm)	= 3,3	kV
Faktor Daya Beban Penuh (Cos ϕ_m)	= 0,91	

a. Impedansi Motor di Tegangan 3,45 kV

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{ILRC}{IFLC} \right)} \right) \times \left(\frac{V_m^2 \text{ Cos } \phi_m}{P_m} \right)$$

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{344}{68,81} \right)} \right) \times \left(\frac{3300^2 \times 0,91}{340000} \right) = 5,83 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.26)$$

b. Impedansi Motor di Tegangan 13,8 kV

$$Z_m(13,8 \text{ kV}) = \left(\frac{13,8^2 \text{ kV}}{3,45^2 \text{ kV}} \right) \times 5,83 = 93,28 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.27)$$

3.4 Motor 154-P-507CM

Daya	= 995	kW
Arus Lock Motor (ILRC)	= 1298	A
Arus Beban Penuh (IFLC)	= 199,7	A
Tegangan (Vm)	= 3,3	kV
Faktor Daya Beban Penuh (Cos Øm) = 0,91		

a. Impedansi Motor di Tegangan 3,45 kV

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{ILRC}{IFLC} \right)} \right) \times \left(\frac{V_m^2 \text{ Cos } \phi_m}{P_m} \right)$$

$$Z_m(3,45 \text{ kV}) = \left(\frac{1}{\left(\frac{1298}{199,7} \right)} \right) \times \left(\frac{3300^2 \times 0,91}{995000} \right) = 1,53 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.28)$$

b. Impedansi Motor di Tegangan 13,8 kV

$$Z_m(13,8 \text{ kV}) = \left(\frac{13,8^2 \text{ kV}}{3,45^2 \text{ kV}} \right) \times 1,53 = 24,52 \text{ Ohm} \dots\dots\dots (4.29)$$

4. Impedansi Kabel

Untuk menghitung impedansi kabel, diperlukan data spesifikasi kabel berupa panjang kabel yang digunakan. Berikut adalah spesifikasi kabel yang terpasang di lapangan beserta hasil perhitungan impedansi:

a. Kabel 152-G-501A

Panjang kabel	= 72	m
Impedansi/km	= 0,0485 + J0,2006	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0034 + J0,0144	Ohm
	= 0,014	Ohm

b. Kabel 150SS1-EE-0101A

Panjang kabel	= 19	m
Impedansi/km	= 0,064 + J0,0911	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0012 + J0,0017	Ohm
	= 0,0021	Ohm

c. Kabel 150SS1-EE-0011C

Panjang kabel	= 48	m
Impedansi/km	= 0,196 + J0,106	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0094 + J0,005	Ohm
	= 0,0106	Ohm

d. Kabel 153-P-501CM

Panjang kabel	= 321	m
Impedansi/km	= 0,0635 + J0,0764	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0203 + J0,024	Ohm
	= 0,0318	Ohm

e. Kabel 150SS1-EE-0011A

Panjang kabel	= 43	m
Impedansi/km	= 0,064 + J0,089	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0027 + J0,0038	Ohm
	= 0,0047	Ohm

f. Kabel 158-A-501-K1B-M

Panjang kabel	= 111	m
Impedansi/km	= 0,159 + J0,081	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,017 + J0,008	Ohm
	= 0,0198	Ohm

g. Kabel 150SS1-EE-0102EZ

Panjang kabel	= 30	m
Impedansi/km	= 0,079 + J0,077	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0023 + J0,0023	Ohm
	= 0,0033	Ohm

h. Kabel 150SS1-EE-0012A

Panjang kabel	= 40	m
Impedansi/km	= 0,079 + j0,077	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,0031 + j0,0031	Ohm
	= 0,0044	Ohm

i. Kabel 156-K-501BM

Panjang kabel	= 158	m
Impedansi/km	= 0,668 + j0,097	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,1055 + j0,0153	Ohm
	= 0,1066	Ohm

j. Kabel 154-P-507CM

Panjang kabel	= 186	m
Impedansi/km	= 0,247 + j0,085	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,045 + j0,015	Ohm
	= 0,048	Ohm

k. Kabel 151-B-501A-K1

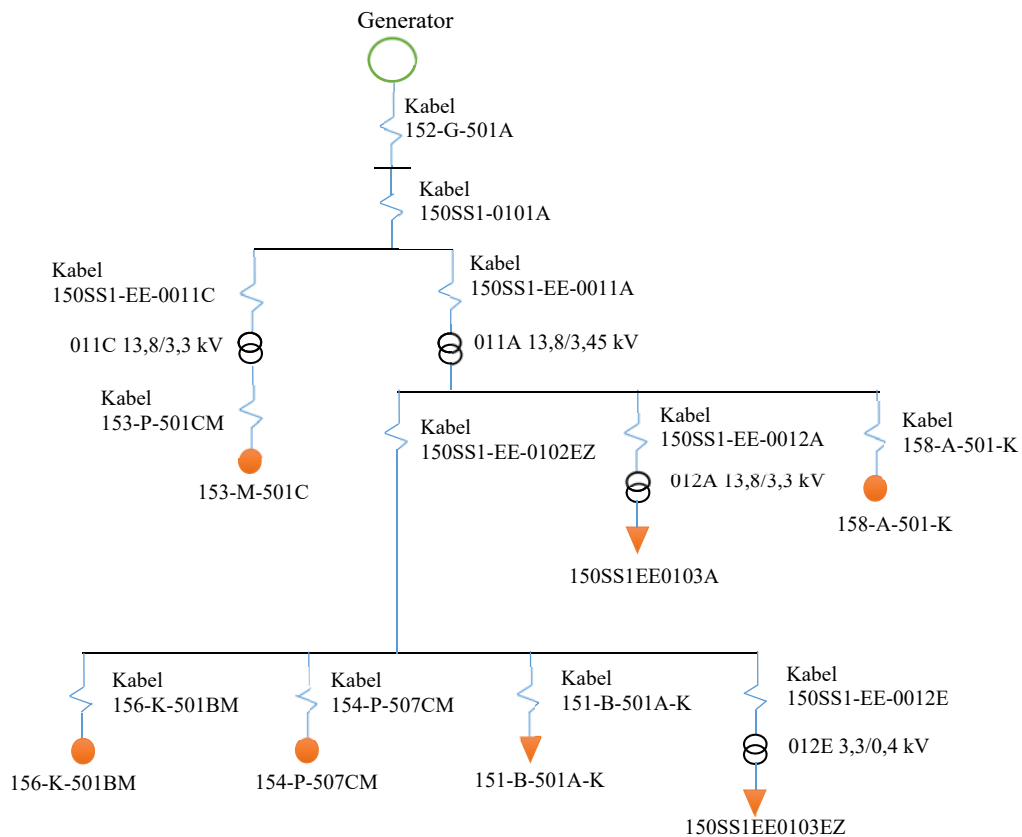
Panjang kabel	= 190	m
Impedansi/km	= 0,668 + j0,097	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,126 + j0,018	Ohm
	= 0,128	Ohm

l. Kabel 150SS1-EE-0012E

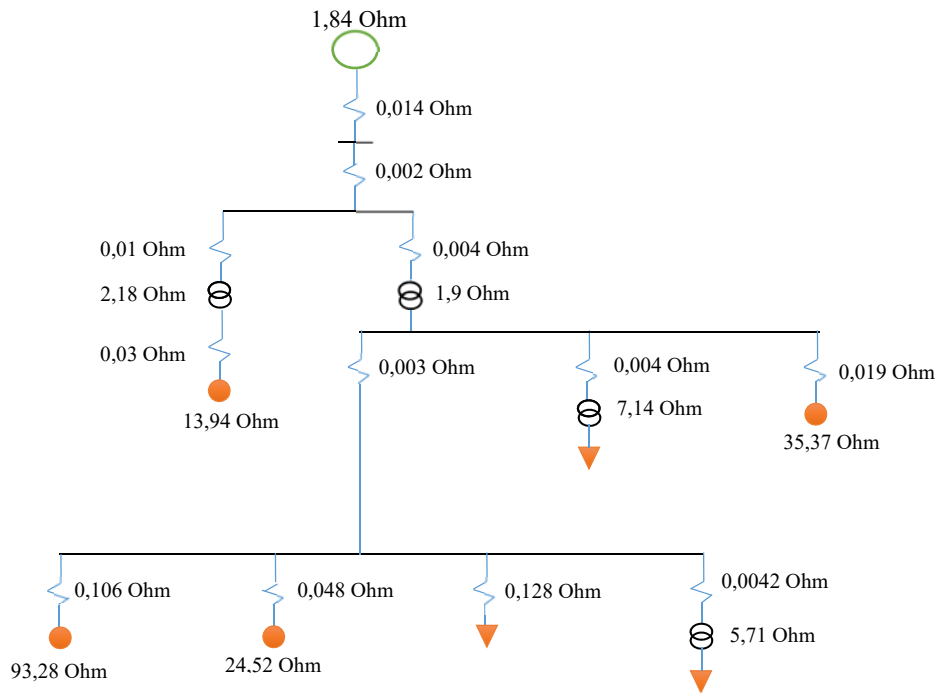
Panjang kabel	= 38	m
Impedansi/km	= 0,079 + j0,077	Ohm
Impedansi sesuai panjang kabel	= 0,003 + j0,002	Ohm
	= 0,004	Ohm

4.2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

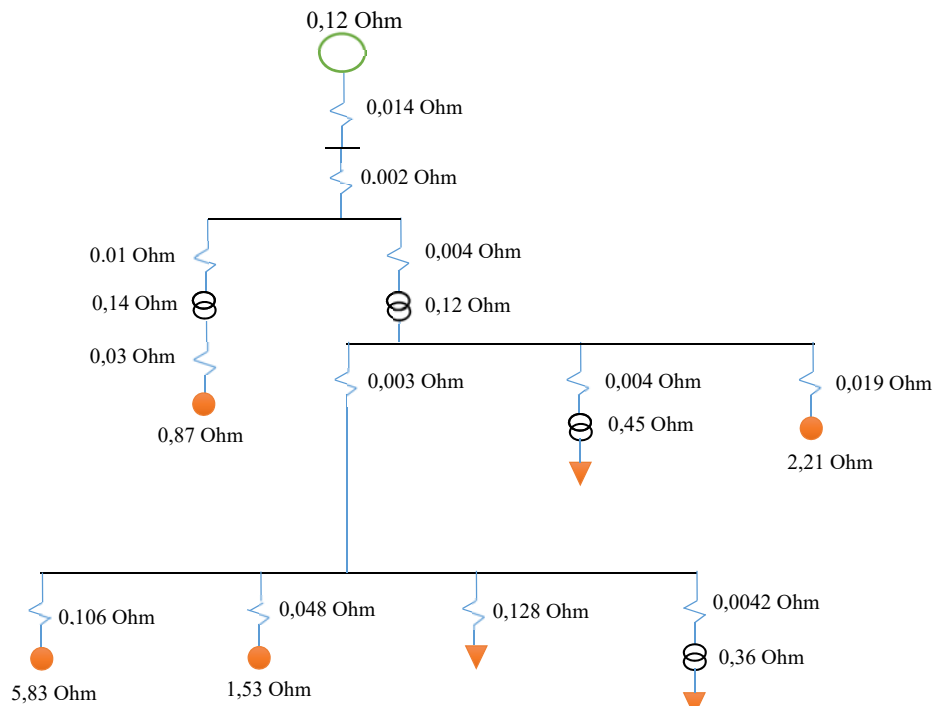
Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat 1/2 *cycle*. 1/2 *Cycle* adalah kondisi arus hubung singkat yang timbul dengan memperhitungkan arus kontribusi dari motor induksi, sedangkan 30 *cycle* adalah kondisi arus hubung singkat ketika sudah tidak ada arus kontribusi dari motor induksi. Untuk mempermudah perhitungan arus hubung singkat, digunakan gambar 4.28 *single line* diagram sederhana dan dua gambar *single line* diagram impedansi berdasarkan letak gangguan hubung singkat pada level tegangan di jaringan distribusi sistem tenaga listrik yang masing-masing ditunjukkan oleh gambar 4.29 dan gambar 4.30. Gambar *single line* diagram impedansi dibuat berdasarkan hasil perhitungan impedansi pada pembahasan sub bab 4.2.1.



Gambar 4. 28 *Single Line* Diagram Sederhana



Gambar 4. 29 Single Line Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat di level tegangan 13,8 kV

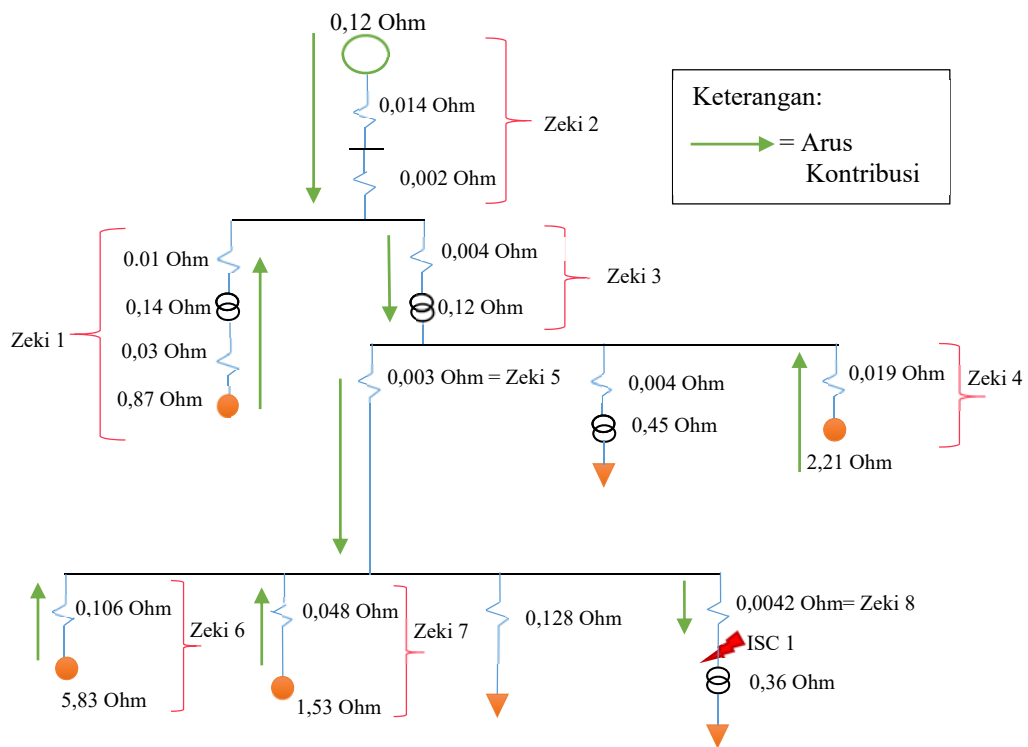


Gambar 4. 30 Single Line Diagram Impedansi Gangguan Hubung Singkat di level tegangan 3,45 kV

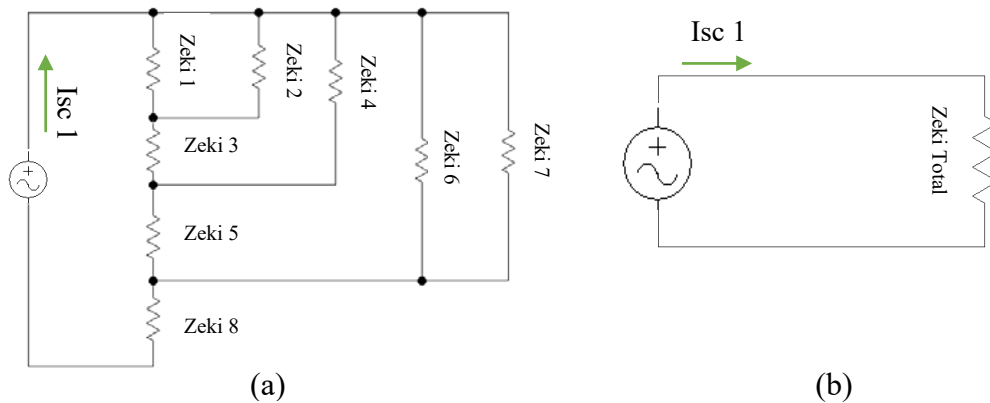
Besar arus hubung singkat bergantung pada besar sumber yang membangkitkan sistem, nilai reaktansi peralatan dan nilai reaktansi sistem keseluruhan sampai ke titik gangguan. Sumber arus hubung singkat dapat berasal dari sistem pembangkit (PLN), generator, motor sinkron dan motor induksi. Ketika terjadi gangguan hubung singkat, maka akan timbul arus gangguan hubung singkat dari generator dan timbul arus kontribusi gangguan hubung singkat dari motor yang terpasang pada sistem.

Berikut adalah hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada distribusi sistem tenaga listrik 150SS1 pembangkitan generator 152-G-501A menggunakan metode thevenin:

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 (ISC 1)



Gambar 4. 31 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 1



Gambar 4. 32 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa 1/2 Cycle (Isc Maks 1)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

- | | |
|-------------------|---------------------|
| Zeki 1 = 1,05 Ohm | Zeki 5 = 0,0033 Ohm |
| Zeki 2 = 0,13 Ohm | Zeki 6 = 5,94 Ohm |
| Zeki 3 = 0,12 Ohm | Zeki 7 = 1,58 Ohm |
| Zeki 4 = 2,23 Ohm | Zeki 8 = 0,0042 Ohm |

$$Zeki\ total = (((((Z1//Z2)+z3)//Z4)+Z5)/(Z6//Z7)+Z8)$$

$$Zeki\ total = 0,192\ Ohm \dots\dots\dots (4.30)$$

$$Isc_1\ 3\ fasa = \frac{C \cdot V_{In}}{Z_{eki}}$$

$$Isc_1\ 3\ fasa = \frac{1.1 \times 3450}{1,73 \times 0,192} = 11429,46\ A \dots\dots\dots (4.31)$$

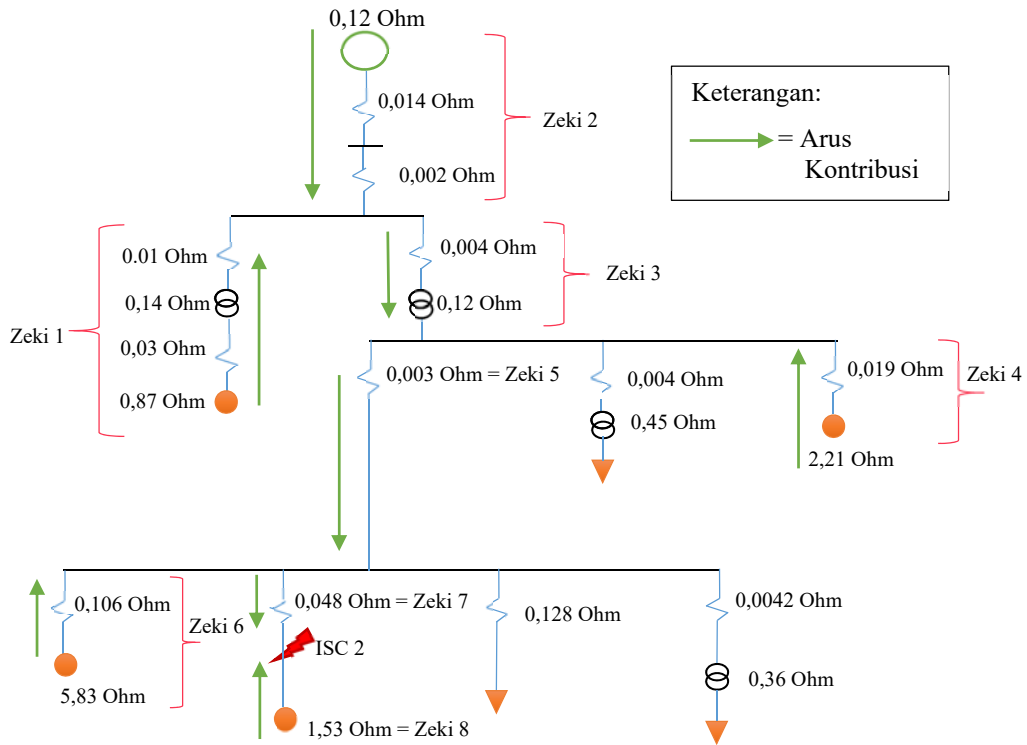
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc Min 1)

$$Isc_1\ 2\ Fasa = 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle}$$

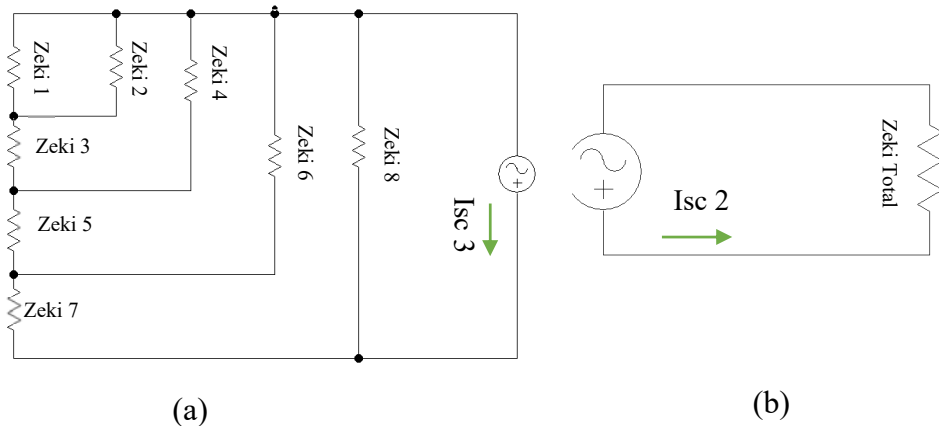
$$Isc_1\ 2\ Fasa = 0,866 \times ((1.1 \times 3450)/1,73 \times (Z2 + Z3 + Z5 + Z8))$$

$$= 7211,15\ A \dots\dots\dots (4.32)$$

2. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 (ISC 2)



Gambar 4. 33 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 2



Gambar 4. 34 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa 1/2 Cycle (Isc Maks 2)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

Zeki 1 = 1,05 Ohm	Zeki 5 = 0,0033 Ohm
Zeki 2 = 0,13 Ohm	Zeki 6 = 5,94 Ohm
Zeki 3 = 0,12 Ohm	Zeki 7 = 0,049 Ohm
Zeki 4 = 2,23 Ohm	Zeki 8 = 1,53 Ohm

$$Z_{eki\ total} = \frac{\frac{\frac{\frac{\frac{Z_1}{Z_2} + z_3}{Z_4} + Z_5}{6} + Z_7}{Z_8}}$$

$$Z_{eki\ total} = 0,22\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.33)$$

$$I_{sc\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc\ 3\ fasa} = \frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times 0,22} = 9816,53\ \text{A} \dots\dots\dots (4.34)$$

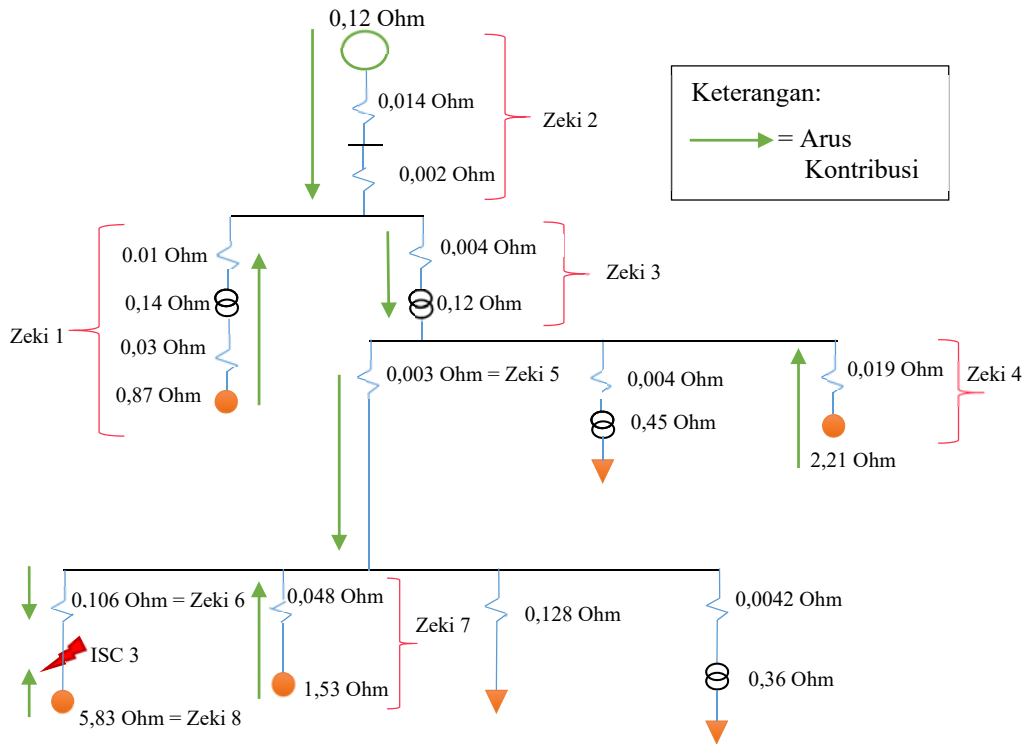
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 2)

$$I_{sc\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3\ fasa\ 30\ Cycle}$$

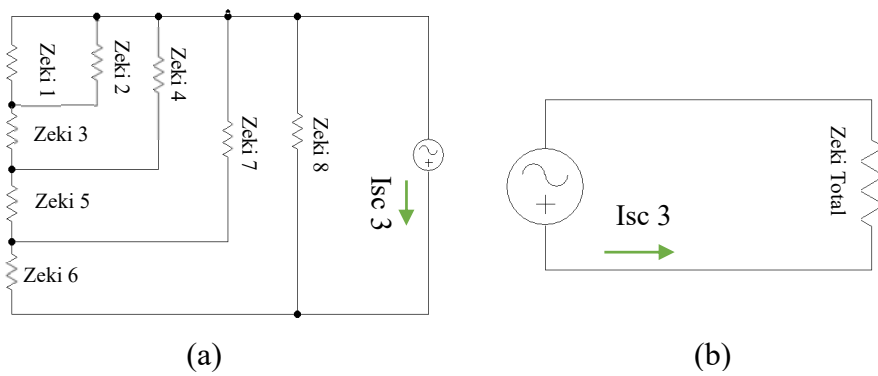
$$I_{sc\ 2\ Fasa} = 0,866 \times \left(\frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times (Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7)} \right)$$

$$= 6171,12\ \text{A} \dots\dots\dots (4.35)$$

3. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 (ISC 3)



Gambar 4. 35 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 3



Gambar 4. 36 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Isc₃ 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

Zeki 1 = 1,05 Ohm	Zeki 5 = 0,0033 Ohm
Zeki 2 = 0,13 Ohm	Zeki 6 = 0,107 Ohm
Zeki 3 = 0,12 Ohm	Zeki 7 = 1,58 Ohm
Zeki 4 = 2,23 Ohm	Zeki 8 = 5,830 Ohm

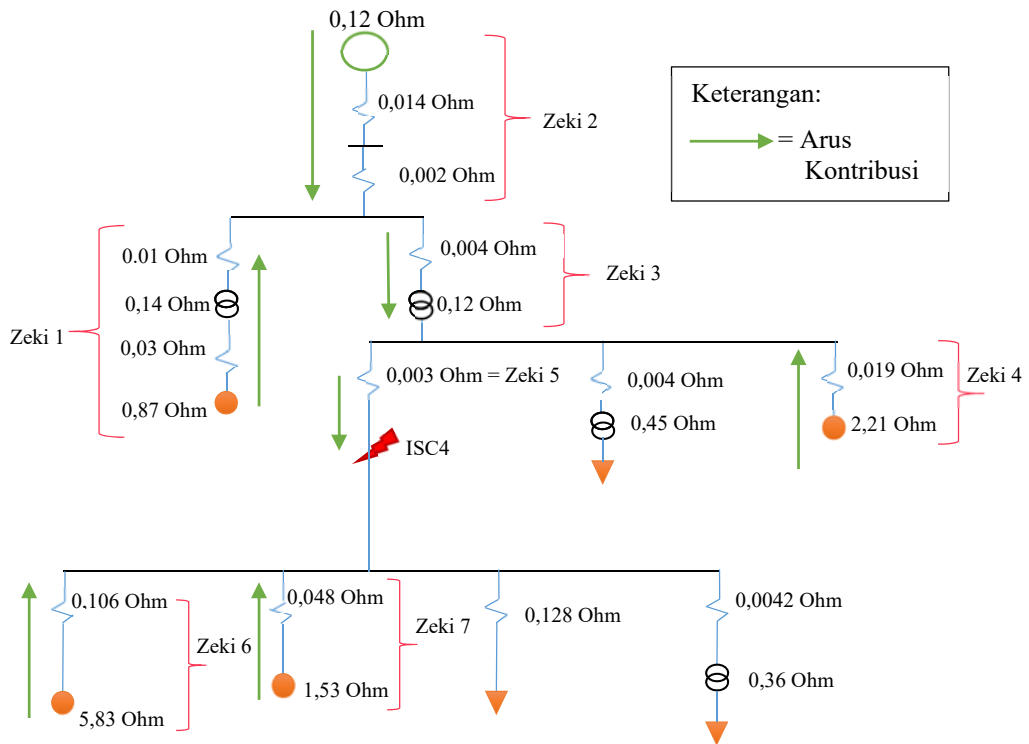
$$\begin{aligned} Z_{eki\ total} &= ((((((Z1//Z2)+z3)//Z4)+Z5)//Z7)+Z6)//Z8 \\ Z_{eki\ total} &= 0,286\ Ohm \dots\dots\dots (4.36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}} \\ I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{1.1 \times 3450}{1,73 \times 0,286} = 7676,37\ A \dots\dots\dots (4.37) \end{aligned}$$

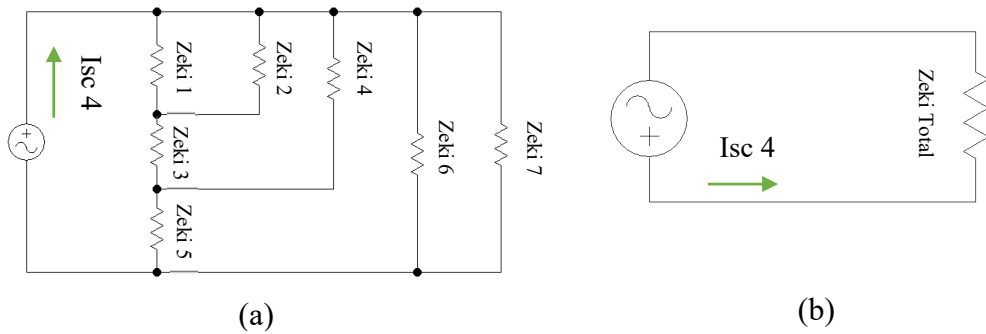
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 3)

$$\begin{aligned} I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle} \\ I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times ((1.1 \times 3450)/1,73 \times (Z2 + Z3 + Z5 + Z6)) \\ &= 5192,2\ A \dots\dots\dots (4.38) \end{aligned}$$

Arus Gangguan Hubung Singkat 4 (ISC 4)



Gambar 4. 37 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 4



Gambar 4. 38 (a) Rangkaian Ekuivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Isc₄ 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

$$\begin{aligned} Z_{eki\ 1} &= 1,05\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 5} &= 0,0033\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 2} &= 0,13\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 6} &= 5,94\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 3} &= 0,12\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 7} &= 1,58\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 4} &= 2,23\ \text{Ohm} \end{aligned}$$

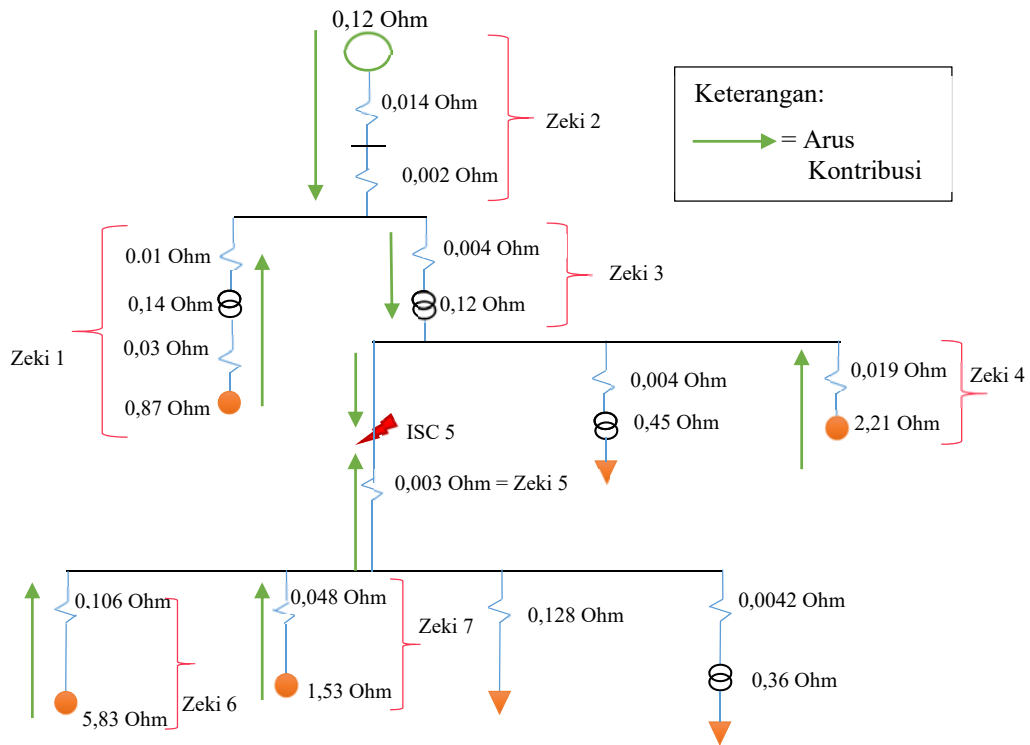
$$\begin{aligned} Z_{eki\ total} &= (((Z_1 // Z_2) + z_3) // Z_4) + Z_5 // (Z_6 // Z_7) \\ Z_{eki\ total} &= 0,188\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.39) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}} \\ I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times 0,188} = 11686,34\ \text{A} \dots\dots\dots (4.40) \end{aligned}$$

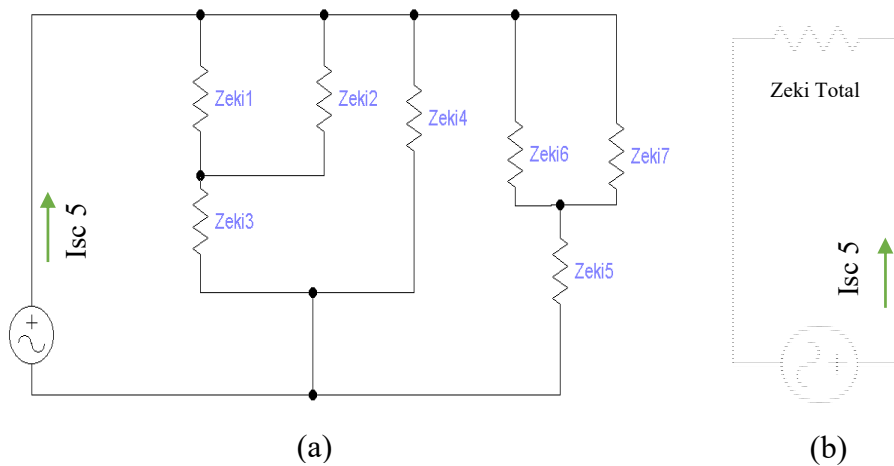
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 4)

$$\begin{aligned} I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times I_{3\ fasa\ 30\ Cycle} \\ I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times ((1,1 \times 3450) / 1,73 \times (Z_2 + Z_3 + Z_5)) \\ &= 7328,52\ \text{A} \dots\dots\dots (4.41) \end{aligned}$$

5. Arus Gangguan Hubung Singkat 5 (ISC 5)



Gambar 4. 39 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 5



Gambar 4. 40 (a) Rangkaian Ekuivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Isc₃ Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

$$\begin{aligned} Z_{eki\ 1} &= 1,05\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 5} &= 0,0033\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 2} &= 0,13\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 6} &= 5,94\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 3} &= 0,12\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 7} &= 1,58\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 4} &= 2,23\ \text{Ohm} \end{aligned}$$

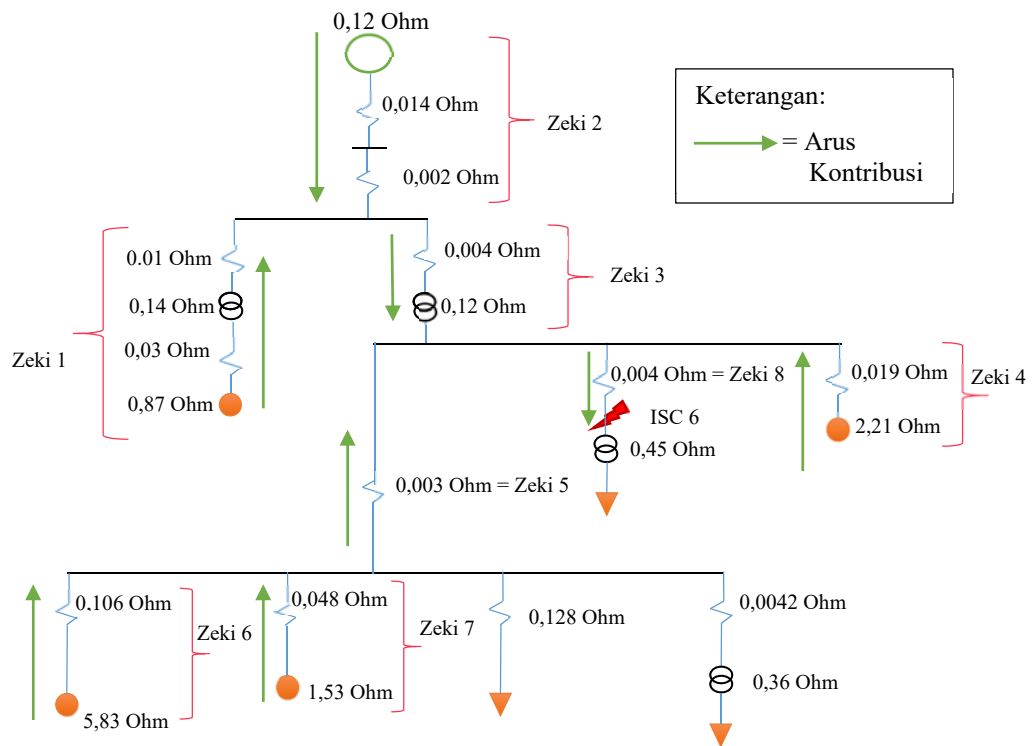
$$\begin{aligned} Z_{eki\ total} &= (((Z1//Z2)+z3)//z4)/((Z6//Z7)+Z5) \\ Z_{eki\ total} &= 0,185\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.42) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}} \\ I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times 0,185} = 11833,65\ \text{A} \dots\dots\dots (4.43) \end{aligned}$$

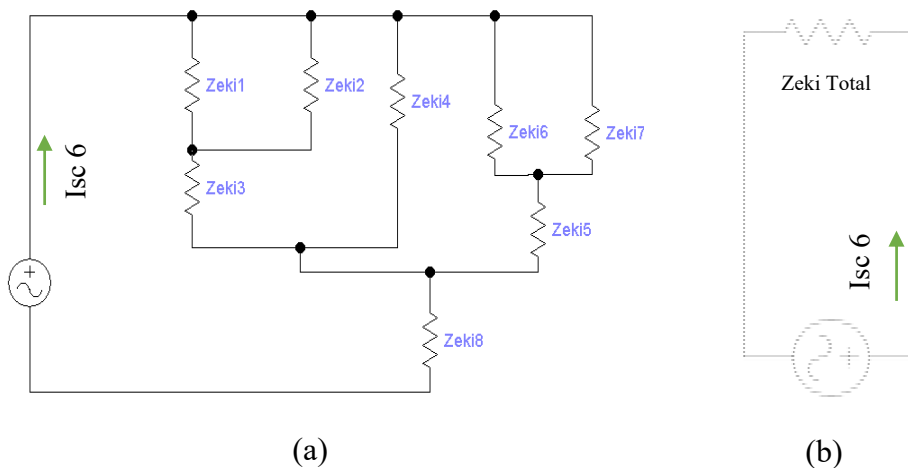
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 5)

$$\begin{aligned} I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle} \\ I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times ((1,1 \times 3450)/1,73 \times (Z2 + Z3)) \\ &= 7423,91\ \text{A} \dots\dots\dots (4.44) \end{aligned}$$

6. Arus Gangguan Hubung Singkat 6 (ISC 6)



Gambar 4. 41 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 6



Gambar 4. 42 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (I_{sc6} 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

Zeki 1 = 1,05 Ohm	Zeki 5 = 0,0033 Ohm
Zeki 2 = 0,13 Ohm	Zeki 6 = 5,94 Ohm
Zeki 3 = 0,12 Ohm	Zeki 7 = 1,58 Ohm
Zeki 4 = 2,23 Ohm	Zeki 8 = 0,0044 Ohm

$$Z_{eki\ total} = (((Z1//Z2)+z3)//z4)/((Z6//Z7)+Z5)+Z8$$

$$Z_{eki\ total} = 0,19\ Ohm \dots\dots\dots (4.45)$$

$$I_{sc6\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc6\ 3\ fasa} = \frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times 0,19} = 11556,79\ A \dots\dots\dots (4.46)$$

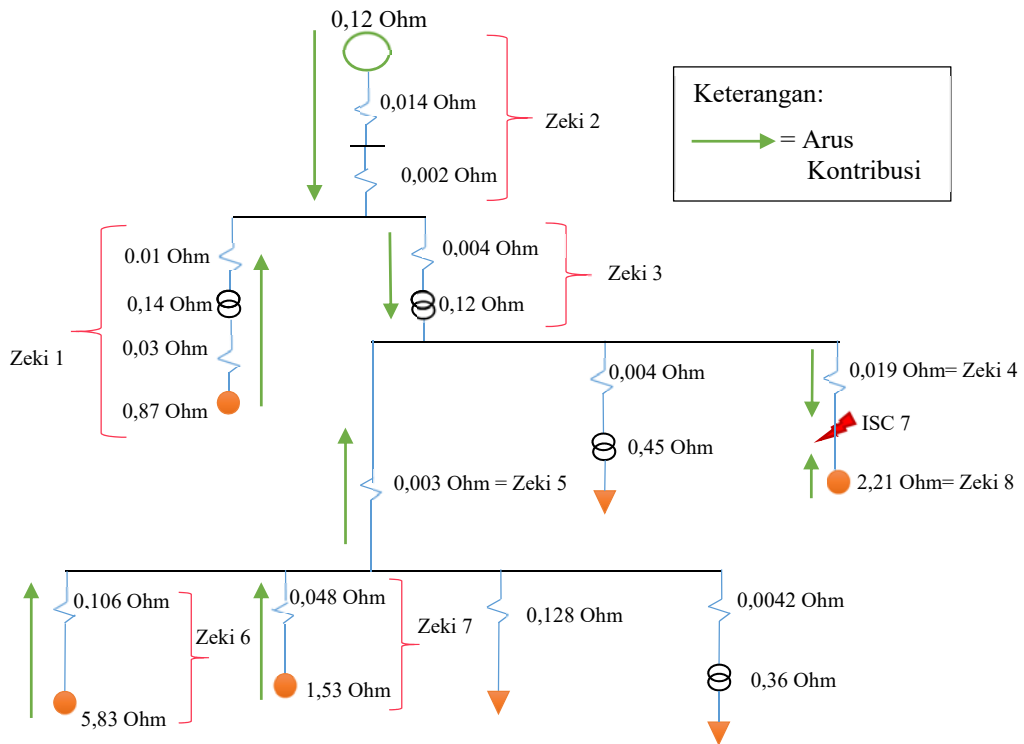
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (I_{sc} min 6)

$$I_{sc6\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle}$$

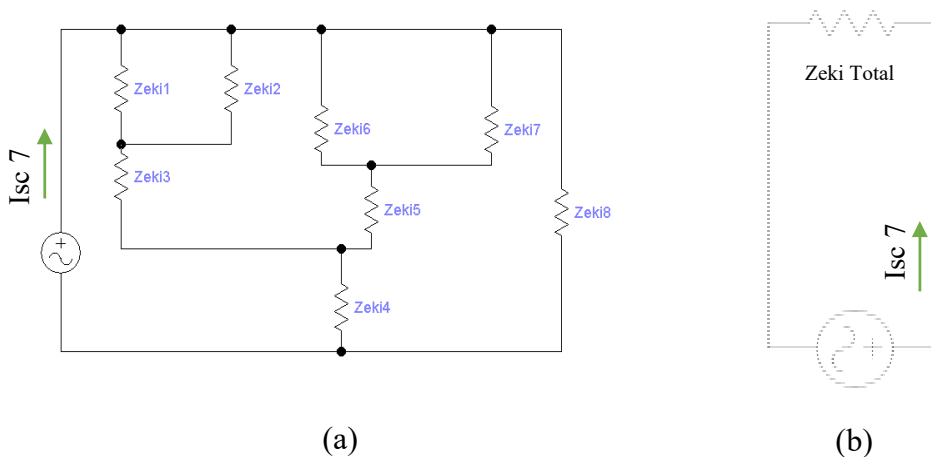
$$I_{sc6\ 2\ Fasa} = 0,866 \times ((1,1 \times 3450)/1,73 \times (Z2 + Z3 + Z5 + Z8))$$

$$= 7297,26\ A \dots\dots\dots (4.47)$$

7. Arus Gangguan Hubung Singkat 7 (ISC 7)



Gambar 4. 43 Ilustrasi gangguan hubung singkat 7



Gambar 4. 44 Rangkaian Ekuivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (I_{sc7} 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

$Z_{eki\ 1} = 1,05\ \text{Ohm}$	$Z_{eki\ 5} = 0,0033\ \text{Ohm}$
$Z_{eki\ 2} = 0,13\ \text{Ohm}$	$Z_{eki\ 6} = 5,94\ \text{Ohm}$
$Z_{eki\ 3} = 0,12\ \text{Ohm}$	$Z_{eki\ 7} = 1,58\ \text{Ohm}$
$Z_{eki\ 4} = 2,23\ \text{Ohm}$	$Z_{eki\ 8} = 2,21\ \text{Ohm}$

$$Z_{eki\ total} = (((Z1//Z2)+z3)/((Z6//Z7)+Z5)+Z4)//Z8$$

$$Z_{eki\ total} = 0,20\ \text{Ohm} \dots \dots \dots (4.48)$$

$$I_{sc7\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc7\ 3\ fasa} = \frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times 0,20} = 10874,33\ \text{A} \dots \dots \dots (4.49)$$

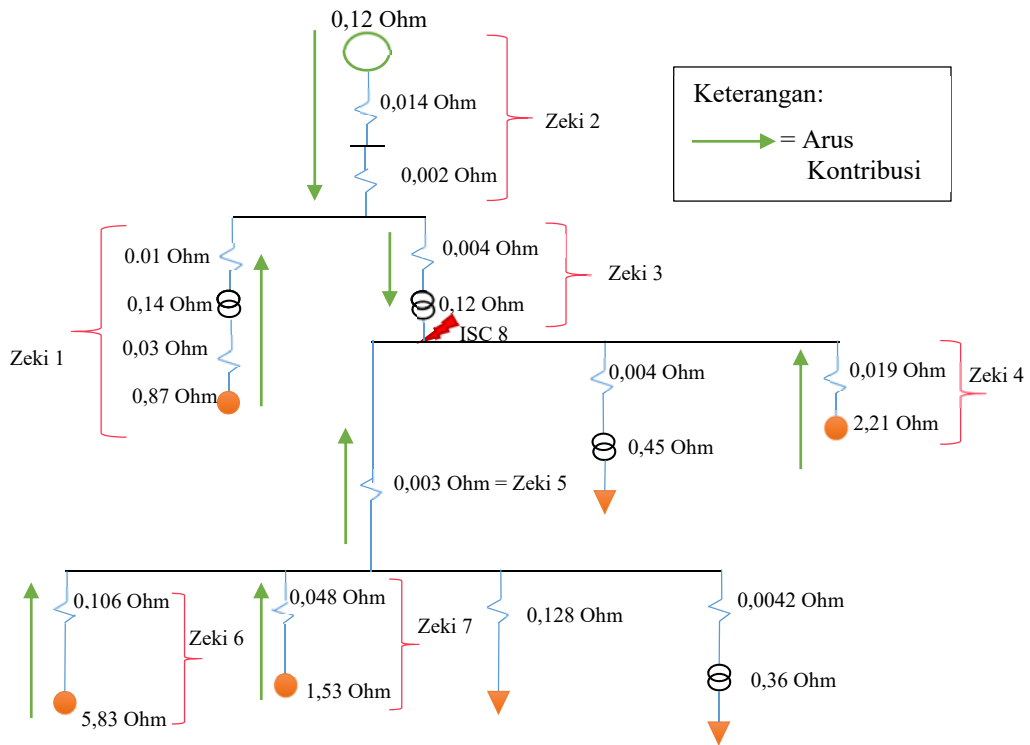
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (I_{sc} min 7)

$$I_{sc7\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle}$$

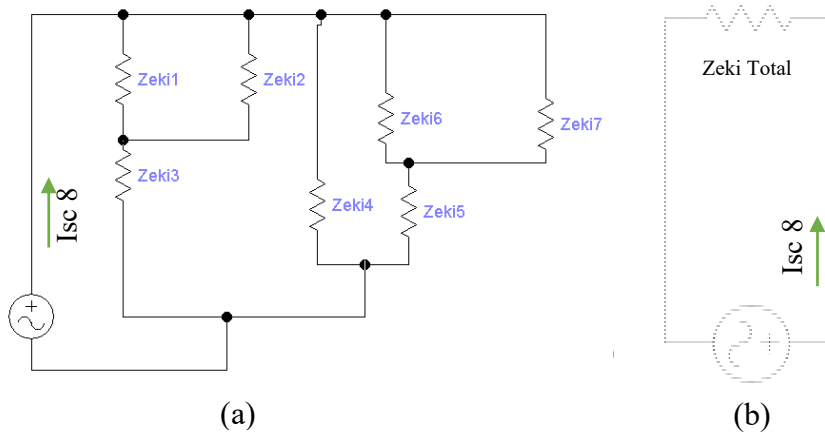
$$I_{sc7\ 2\ Fasa} = 0,866 \times ((1,1 \times 3450)/1,73 \times (Z2 + Z3 + Z5 + Z4))$$

$$= 6890,54\ \text{A} \dots \dots \dots (4.50)$$

8. Arus Gangguan Hubung Singkat 8 (ISC 8)



Gambar 4. 45 Ilustrasi gangguan hubung singkat 8



Gambar 4. 46 (a) Rangkaian Ekuivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 3,45 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 3,45 kV.

$$\begin{aligned} Z_{eki\ 1} &= 1,05\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 5} &= 0,0033\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 2} &= 0,13\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 6} &= 5,94\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 3} &= 0,12\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 7} &= 1,58\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 4} &= 2,23\ \text{Ohm} \end{aligned}$$

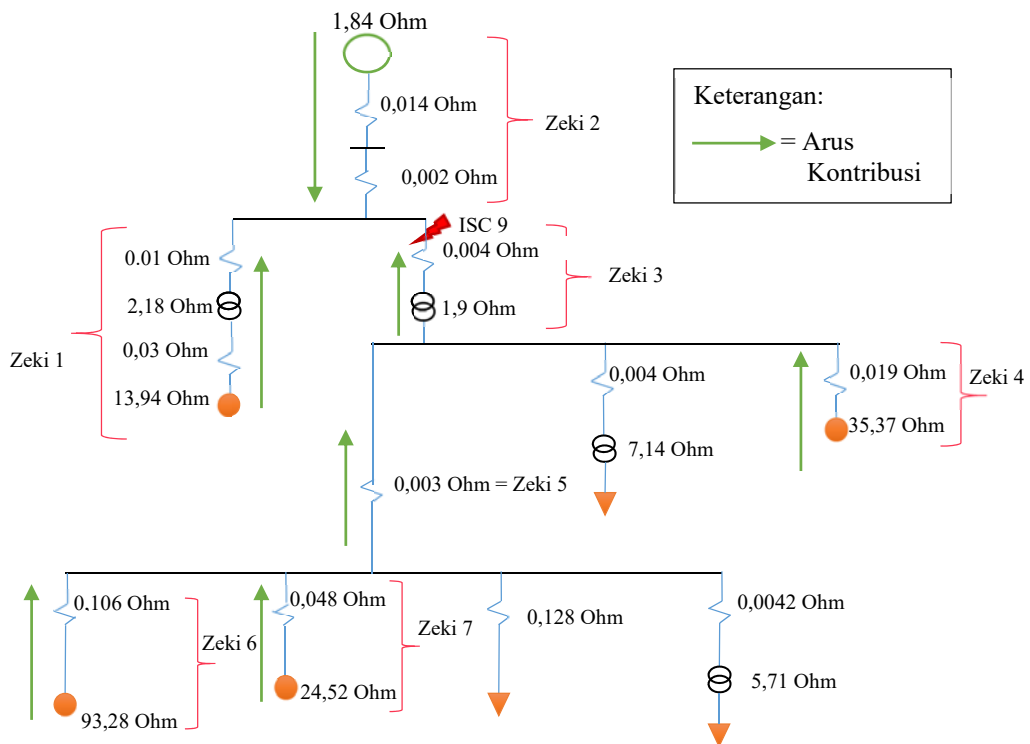
$$\begin{aligned} Z_{eki\ total} &= ((Z_1 // Z_2) + Z_3) // (((Z_6 // Z_7) + Z_5) // Z_4) \\ Z_{eki\ total} &= 0,185\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.51) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{C \cdot V_{In}}{Z_{eki}} \\ I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{1,1 \times 3450}{1,73 \times 0,185} = 11833,65\ \text{A} \dots\dots\dots (4.52) \end{aligned}$$

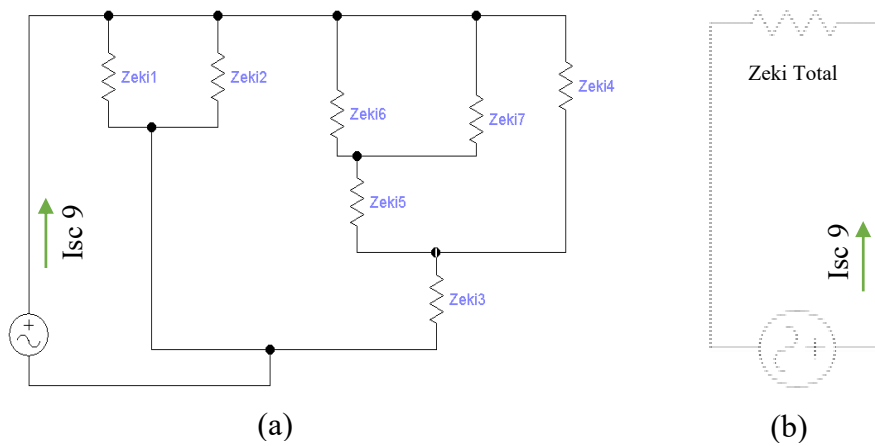
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 8)

$$\begin{aligned} I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times I_{3\ fasa\ 30\ Cycle} \\ I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times ((1,1 \times 3450) / 1,73 \times (Z_2 + Z_3 + Z_5)) \\ &= 7423,91\ \text{A} \dots\dots\dots (4.53) \end{aligned}$$

9. Arus Gangguan Hubung Singkat 9 (ISC 9)



Gambar 4. 47 Ilustrasi gangguan hubung singkat 9



Gambar 4. 48 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Isc_{3 Fasa})

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 13,8 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 13,8 kV.

$$\begin{aligned} Z_{eki\ 1} &= 16,16\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 5} &= 0,0033\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 2} &= 1,86\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 6} &= 93,39\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 3} &= 1,91\ \text{Ohm} & Z_{eki\ 7} &= 24,57\ \text{Ohm} \\ Z_{eki\ 4} &= 35,39\ \text{Ohm} \end{aligned}$$

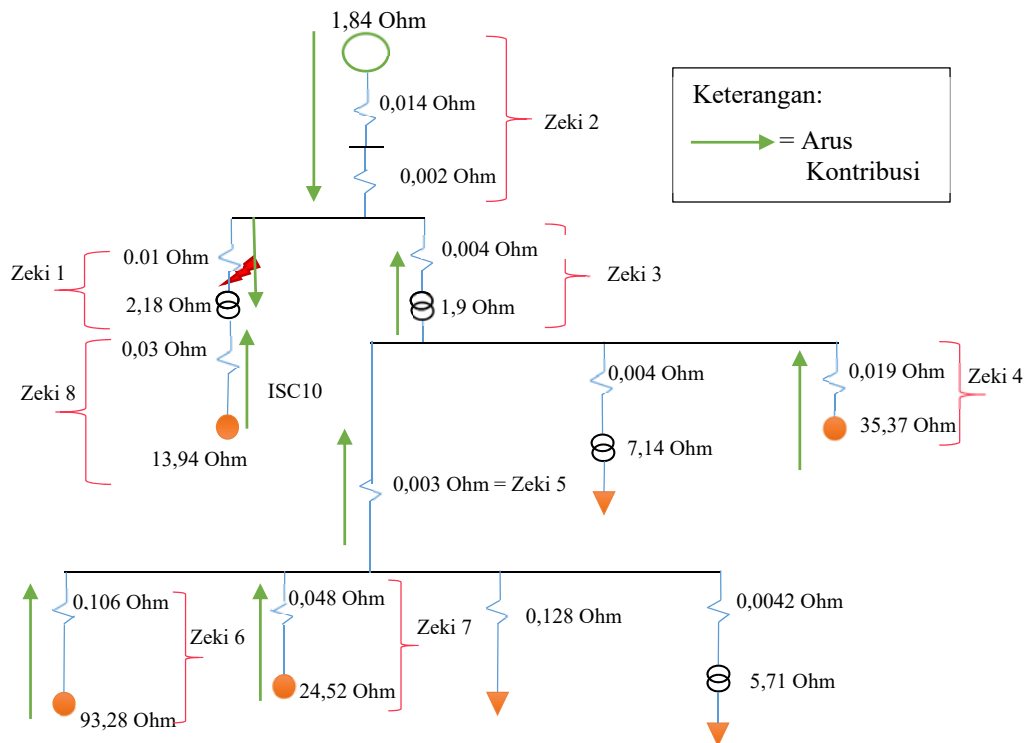
$$\begin{aligned} Z_{eki\ total} &= (Z_1 // Z_2) // (((Z_6 // Z_7) + Z_5) // Z_4) + Z_3 \\ Z_{eki\ total} &= 1,50\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.54) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}} \\ I_{sc\ 3\ fasa} &= \frac{1,1 \times 13800}{1,73 \times 1,50} = 5869,01\ \text{A} \dots\dots\dots (4.55) \end{aligned}$$

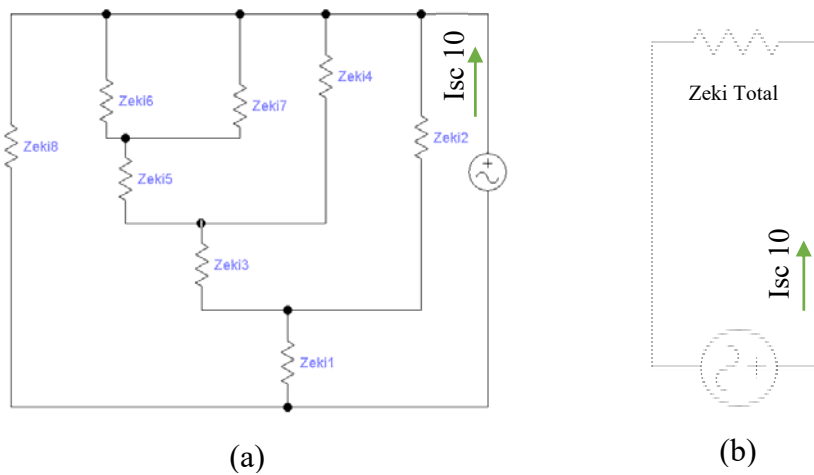
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc_{min 9})

$$\begin{aligned} I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times I_{3\ fasa\ 30\ Cycle} \\ I_{sc\ 2\ Fasa} &= 0,866 \times ((1,1 \times 13800) / 1,73 \times (Z_2)) \\ &= 4086,86\ \text{A} \dots\dots\dots (4.56) \end{aligned}$$

10. Arus Gangguan Hubung Singkat 10 (ISC 10)



Gambar 4. 49 Ilustrasi Gangguan Hubung Singkat 10



Gambar 4. 50 (a) Rangkaian Ekuivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Isc₁₀ 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 13,8 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 13,8 kV.

Zeki 1 = 0,01 Ohm	Zeki 5 = 0,0033 Ohm
Zeki 2 = 1,86 Ohm	Zeki 6 = 93,39 Ohm
Zeki 3 = 1,91 Ohm	Zeki 7 = 24,57 Ohm
Zeki 4 = 35,39 Ohm	Zeki 8 = 16,15 Ohm

$$Z_{eki\ total} = ((((((Z_6 // Z_7) + Z_5) // Z_4) + Z_3) // Z_2) + Z_1) // Z_8$$

$$Z_{eki\ total} = 1,5\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.57)$$

$$I_{sc10\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{In}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc10\ 3\ fasa} = \frac{1.1 \times 13800}{1,73 \times 1,5} = 5835,02\ \text{A} \dots\dots\dots (4.58)$$

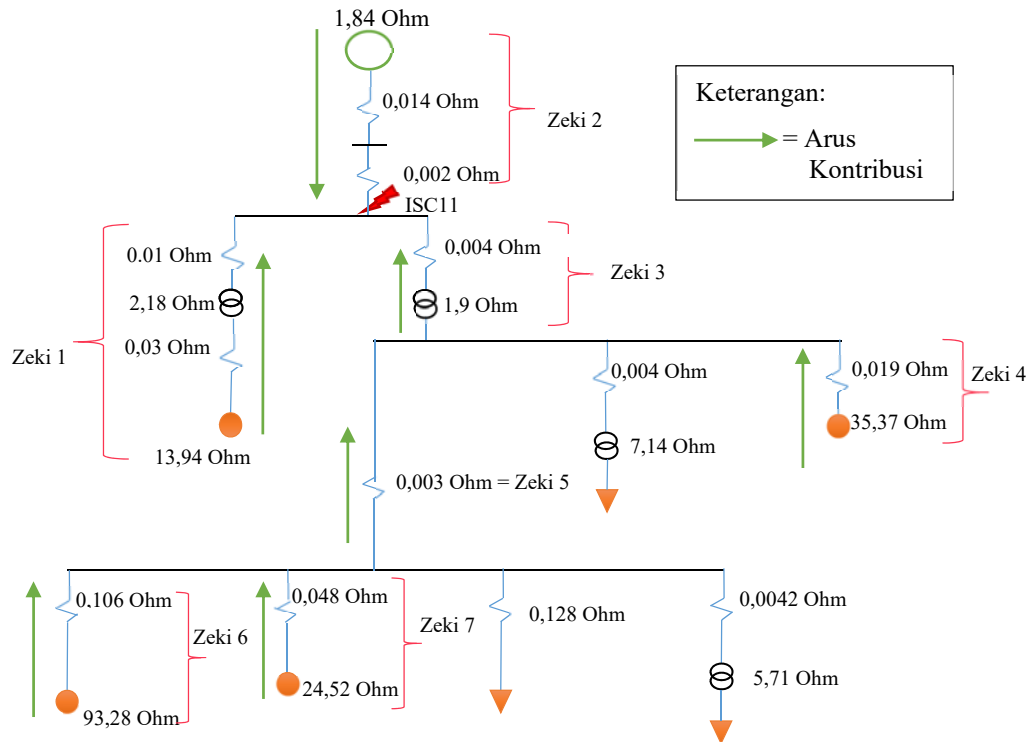
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 10)

$$I_{sc10\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3\ fasa\ 30\ Cycle}$$

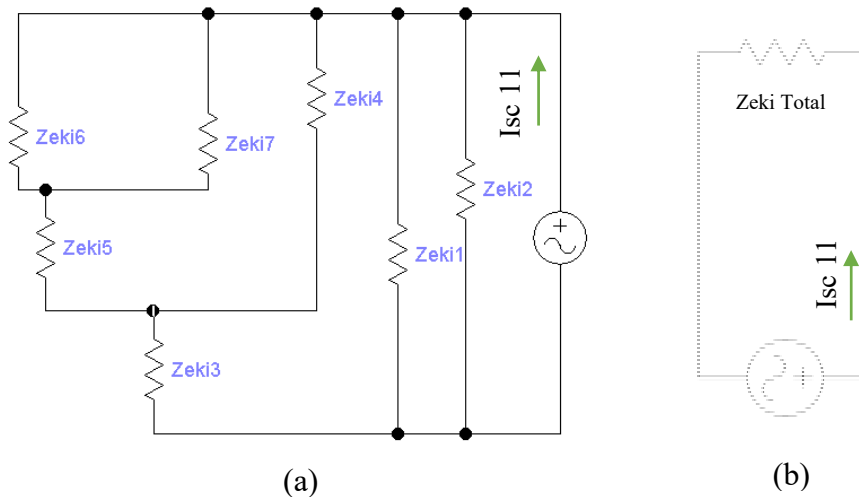
$$I_{sc10\ 2\ Fasa} = 0,866 \times ((1.1 \times 13800) / 1,73 \times (Z_1 + Z_2))$$

$$= 4063,48\ \text{A} \dots\dots\dots (4.59)$$

11. Arus Gangguan Hubung Singkat 11 (ISC 11)



Gambar 4. 51 Ilustrasi gangguan hubung singkat 11



Gambar 4. 52 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Isc₁₁ 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 13,8 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 13,8 kV.

$$Z_{eki\ 1} = 16,16\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ 5} = 0,0033\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ 2} = 1,86\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ 6} = 93,39\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ 3} = 1,91\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ 7} = 24,57\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ 4} = 35,39\ \text{Ohm}$$

$$Z_{eki\ total} = (Z_1 // (((Z_6 // Z_7) + Z_5) // Z_4) + Z_3) // Z_2$$

$$Z_{eki\ total} = 1,495\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.60)$$

$$I_{sc11\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{ln}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc11\ 3\ fasa} = \frac{1,1 \times 13800}{1,73 \times 1,495} = 5869,01\ \text{A} \dots\dots\dots (4.61)$$

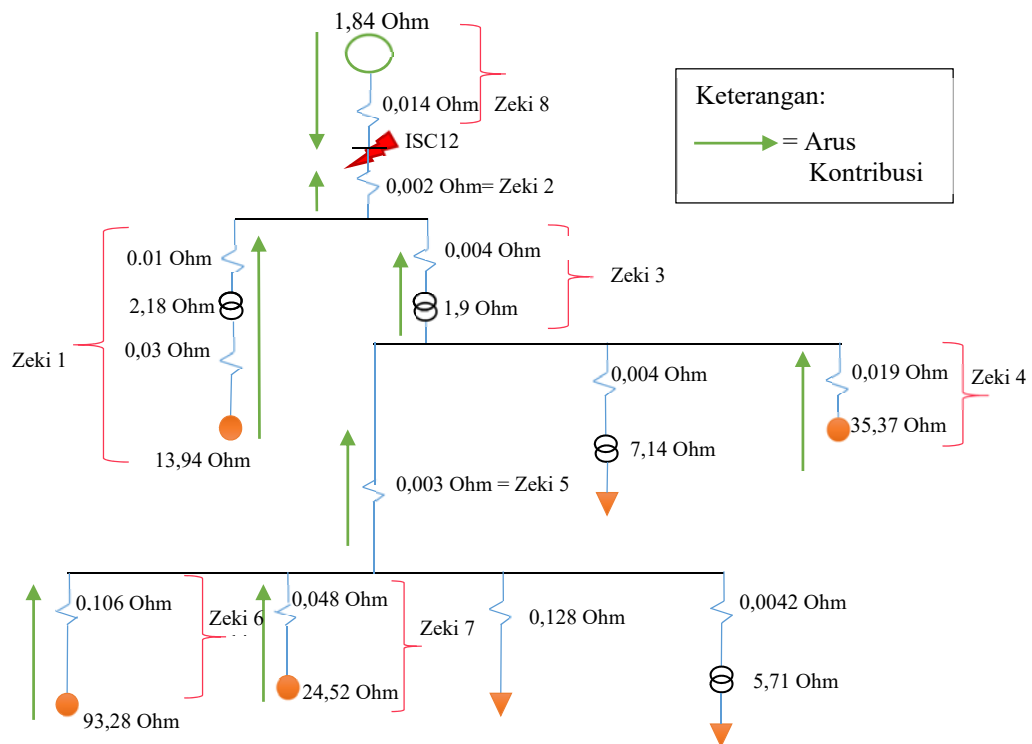
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Isc min 11)

$$I_{sc11\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle}$$

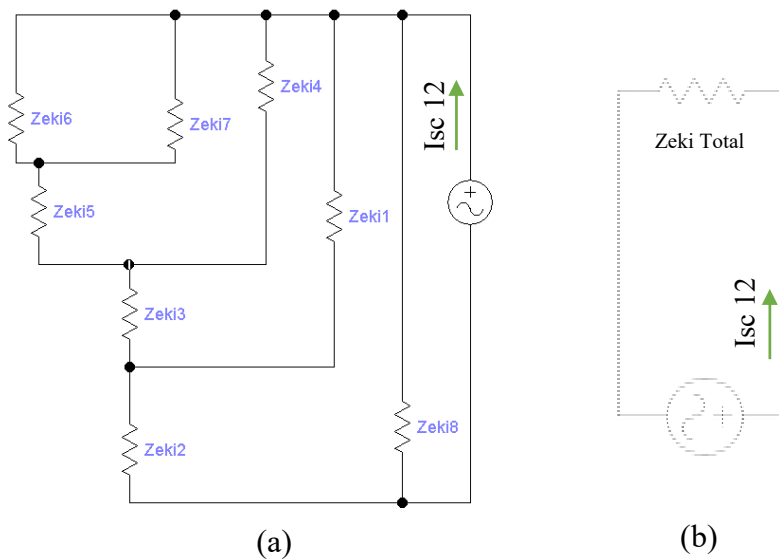
$$I_{sc11\ 2\ Fasa} = 0,866 \times ((1,1 \times 13800) / 1,73 \times (Z_2))$$

$$= 4086,86\ \text{A} \dots\dots\dots (4.62)$$

12. Arus Gangguan Hubung Singkat 12 (ISC 12)



Gambar 4. 53 Ilustrasi gangguan hubung singkat 12



Gambar 4. 54 (a) Rangkaian Ekivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (I_{sc12} 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 13,8 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 13,8 kV.

Zeki 1 = 16,16 Ohm	Zeki 5 = 0,0033 Ohm
Zeki 2 = 0,017 Ohm	Zeki 6 = 93,39 Ohm
Zeki 3 = 1,91 Ohm	Zeki 7 = 24,57 Ohm
Zeki 4 = 35,39 Ohm	Zeki 8 = 1,86 Ohm

$$Z_{eki\ total} = ((((((Z_6 // Z_7) + Z_5) // Z_4) + Z_3) // Z_1) + Z_2) // Z_8$$

$$Z_{eki\ total} = 1,49\ \text{Ohm} \dots\dots\dots (4.63)$$

$$I_{sc12\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{In}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc12\ 3\ fasa} = \frac{1.1 \times 13800}{1,73 \times 1,49} = 5874,07\ \text{A} \dots\dots\dots (4.64)$$

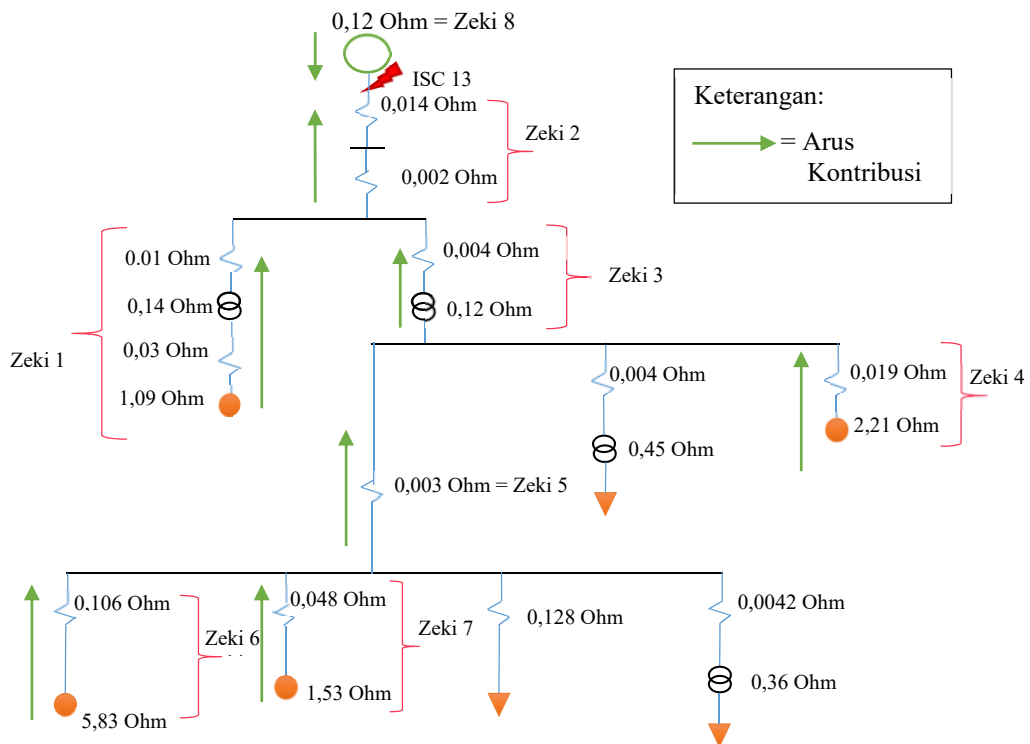
b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (I_{sc} min 12)

$$I_{sc12\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3\ fasa\ 30\ Cycle}$$

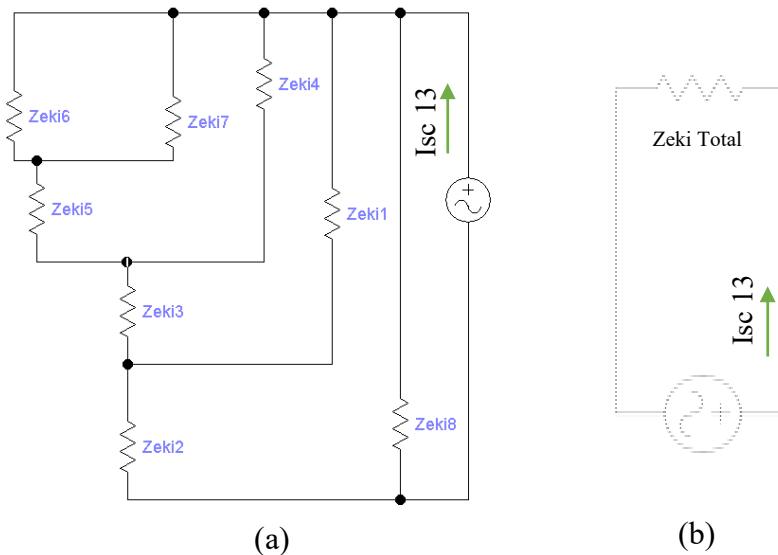
$$I_{sc12\ 2\ Fasa} = 0,866 \times ((1.1 \times 13800) / (1,73 \times (Z_8)))$$

$$= 4091,51\ \text{A} \dots\dots\dots (4.65)$$

13. Arus Gangguan Hubung Singkat 13 (ISC 13)



Gambar 4. 55 Ilustrasi gangguan hubung singkat 13



Gambar 4. 56 (a) Rangkaian Ekuivalen Satu Fasa (b) Rangkaian yang Sudah Disederhanakan

a. Arus Hubung Singkat 3 Fasa (I_{sc13} 3 Fasa)

Pada perhitungan arus hubung singkat 3 fasa ini digunakan hasil perhitungan impedansi di level tegangan 13,8 kV, hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat terjadi pada level tegangan 13,8 kV.

Zeki 1 = 16,16 Ohm	Zeki 5 = 0,0033 Ohm
Zeki 2 = 0,017 Ohm	Zeki 6 = 93,39 Ohm
Zeki 3 = 1,91 Ohm	Zeki 7 = 24,57 Ohm
Zeki 4 = 35,39 Ohm	Zeki 8 = 1,84 Ohm

$$Z_{eki\ total} = ((((((Z_6//Z_7)+Z_5)//Z_4)+Z_3)//Z_1)+Z_2)//Z_8$$

$$Z_{eki\ total} = 1,48\ Ohm \dots\dots\dots (4.66)$$

$$I_{sc13\ 3\ fasa} = \frac{C \cdot V_{In}}{Z_{eki}}$$

$$I_{sc13\ 3\ fasa} = \frac{1.1 \times 13800}{1,73 \times 1,48} = 5909,94\ A \dots\dots\dots (4.67)$$

b. Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle ($I_{sc\ min\ 13}$)

$$I_{sc13\ 2\ Fasa} = 0,866 \times I_{3fasa\ 30\ Cycle}$$

$$I_{sc13\ 2\ Fasa} = 0,866 \times ((1.1 \times 13800)/1,73 \times (Z_8))$$

$$= 4124,51\ A \dots\dots\dots (4.68)$$

$$FLA 7 = \frac{W}{1,73 \times V \times \cos\phi} = \frac{700000}{1,73 \times 3450 \times 0,92} = 133,28 \text{ A} \dots\dots\dots (4.75)$$

$$FLA 8 = \frac{MVA}{1,73 \times V} = \frac{8000000}{1,73 \times 3450} = 1340,37 \text{ A} \dots\dots\dots (4.76)$$

$$FLA 9 = \frac{MVA}{1,73 \times V} = \frac{8000000}{1,73 \times 13800} = 335,09 \text{ A} \dots\dots\dots (4.77)$$

$$FLA 10 = \frac{MVA}{1,73 \times V} = \frac{3500000}{1,73 \times 13800} = 146,603 \text{ A} \dots\dots\dots (4.78)$$

$$FLA 11 = \frac{MVA}{1,73 \times V} = \frac{1968800}{1,73 \times 13800} = 824,66 \text{ A} \dots\dots\dots (4.79)$$

4.2.4 Perhitungan *Resetting* Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih berdasarkan perhitungan manual

Perhitungan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih dilakukan dengan melakukan perhitungan *setting lowset primer*, *setting lowset sekunder*, dan *setting time dial* untuk relai karakteristik *inverse* dan *setting hightset primer*, *setting hightset sekunder*, dan *setting tunda waktu* untuk relai karakteristik *instantaneous*. *Setting primer* adalah *setting* arus maksimal yang boleh mengalir di sisi primer CT, sedangkan *setting sekunder* adalah *setting* arus maksimal yang boleh mengalir di sisi sekunder CT. Untuk mempermudah dalam pengamatan, digunakan gambar *Single Line* diagram proteksi relai arus lebih yang dapat dilihat pada gambar 4.1 sub bab 4.1.

Berikut adalah hasil perhitungan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih:

1. Relai RL 150SS1-EE-0012E-F

$$\text{Rasio CT} = 600/5$$

Karakteristik IEC *Very Inverse*

- a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times FLA 1$
= $1,05 \times 335,09 = 351,85 \text{ A} \dots\dots\dots (4.80)$

- *Setting sekunder* = $I_{set primer} / \text{Rasio CT}$
= $351,85 / (600/5) = 2,93 \text{ A} \dots\dots\dots (4.81)$

Jadi, Set sekunder = 3 A

$$\text{Set primer} = 3 \times \frac{600}{5} = 360 \text{ A} \dots\dots\dots (4.82)$$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya *inrush* dari trafo. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{11429,46}{360}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,68 \dots\dots\dots (4.83)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,68 \times 13,5}{\left(\frac{11429,46}{360}\right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.84)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc} \text{ min } 1$
 $= 0,8 \times 7211,15 = 5768,92 \text{ A} \dots\dots\dots (4.85)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 5768,92 / (600/5) = 48,07 \text{ A} \dots\dots\dots (4.86)$

Jadi, Set sekunder = 48,1 A

Set primer = $48,1 \times \frac{600}{5} = 5772 \text{ A} \dots\dots\dots (4.87)$

- *Time Delay* = 0,05 detik $\dots\dots\dots (4.88)$

2. Relai RL 154-P-507CM

Rasio CT = 300/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 2$
 $= 1,25 \times 191,52 = 239,4 \text{ A} \dots\dots\dots (4.89)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 239,4 / (300/5) = 3,99 \text{ A} \dots\dots\dots (4.90)$

Jadi, Set sekunder = 4 A

Set primer = $4 \times \frac{300}{5} = 240 \text{ A} \dots\dots\dots (4.91)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya arus *starting* dari motor. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{9816,53}{240}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,89 \dots\dots\dots (4.92)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,89 \times 13,5}{\left(\frac{9816,53}{240}\right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.93)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc} \text{ min } 2$
 $= 0,8 \times 6171,12 = 4936,90 \text{ A} \dots\dots\dots (4.94)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 4936,90 / (300/5) = 82,28 \text{ A} \dots\dots\dots (4.95)$

Jadi, Set sekunder = 82,3 A

Set primer = $82,3 \times \frac{300}{5} = 4938 \text{ A} \dots\dots\dots (4.96)$

- *Time Delay* = 0,05 detik..... (4.97)

3. Relai RL 156-K-501BM

Rasio CT = 100/5

Karakteristik *Thermal Overload Curve*

a. Setting *Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 3$
 $= 1,25 \times 65,45 = 81,81 \text{ A} \dots\dots\dots (4.98)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 81,81 / (100/5) = 4,09 \text{ A} \dots\dots\dots (4.99)$

Jadi, Set sekunder = 4,1 A

Set primer = $4,1 \times \frac{100}{5} = 82 \text{ A} \dots\dots\dots (4.100)$

- TMS = -

b. Setting *Instantaneous*

Sistem pengaman pada zona proteksi ini menggunakan kontaktor sebagai PMT, dikarenakan kontaktor tidak memiliki kemampuan untuk memutuskan jaringan ketika terjadi gangguan arus hubung singkat yang mengalirkan arus sangat besar, maka setting *instantaneous* pada relai dimatikan. Sebagai ganti dari relai *instantaneous* digunakan *fuse* sebagai pengaman *instantaneous* ketika terjadi gangguan hubung singkat.

Setting *fuse* = $1,75 \times \text{FLA } 3$
 $= 1,75 \times 65,45 = 114,5 \text{ A} \dots\dots\dots (4.101)$

Set = 125 A (4.102)

4. Relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F

Rasio CT = 1200/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 5$
 $= 1,05 \times 644,67 = 676,90 \text{ A} \dots\dots\dots (4.103)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 676,90 / (1200/5) = 2,82 \text{ A} \dots\dots\dots (4.104)$

Jadi, Set sekunder = 2,85 A

Set primer = $2,85 \times \frac{1200}{5} = 684 \text{ A} \dots\dots\dots (4.105)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.106)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,6 \times \left(\left(\frac{11429,6}{684}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,69 \dots\dots\dots (4.107)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,69 \times 13,5}{\left(\frac{11686,34}{684}\right)^a - 1} = 0,59 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.108)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

5. Relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1

Rasio CT = 1200/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 5$
 $= 1,05 \times 644,67 = 676,90 \text{ A} \dots\dots\dots (4.109)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 676,90 / (1200/5) = 2,82 \text{ A} \dots\dots\dots (4.110)$

Jadi, Set sekunder = 2,85 A

Set primer = $2,85 \times \frac{1200}{5} = 684 \text{ A} \dots\dots\dots (4.111)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 0,59 + 0,3 = 0,89 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.112)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,89 \times \left(\left(\frac{11686,34}{684}\right) - 1\right)}{13,5} = 1,06 \dots\dots\dots (4.113)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,69 \times 13,5}{\left(\frac{11833,65}{684}\right) - 1} = 0,87 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.114)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

6. Relai RL 150SS1-EE-0012A-F

Rasio CT = 500/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 6$
 $= 1,05 \times 268,07 = 335,09 \text{ A} \dots\dots\dots (4.115)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 335,09 / (500/5) = 3,35 \text{ A} \dots\dots\dots (4.116)$

Jadi, Set sekunder = 3,4 A

Set primer = $3,4 \times \frac{500}{5} = 340 \text{ A} \dots\dots\dots (4.117)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya *inrush* dari trafo. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{t_a \times \left(\left(\frac{I}{I_S} \right)^a - 1 \right)}{b} - L$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{11556,79}{340} \right)^a - 1 \right)}{13,5} = 0,73 \dots\dots\dots (4.118)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S} \right)^a - 1} - L$$

$$t_b = \frac{0,73 \times 13,5}{\left(\frac{11556,79}{340} \right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.119)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc} \text{ min } 6$
 $= 0,8 \times 7297,26 = 5837,81 \text{ A} \dots\dots\dots (4.120)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 5837,81 / (500/5) = 58,38 \text{ A} \dots\dots\dots (4.11)$

Jadi, Set sekunder = 58.4 A

Set primer = $58,4 \times \frac{500}{5} = 5840 \text{ A} \dots\dots\dots (4.122)$

- *Time Delay* = 0,05 detik..... (4.123)

7. Relai RL 158-A-501-K1B-M

Rasio CT = 200/5

Karakteristik *Thermal Overload Curve*

a. Setting *Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 7$
 $= 1,25 \times 133,28 = 166,59 \text{ A} \dots\dots\dots (4.124)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 166,59 / (200/5) = 4,16 \text{ A} \dots\dots\dots (4.125)$

Jadi, Set sekunder = 4,2 A

Set primer = $4,2 \times \frac{200}{5} = 168 \text{ A} \dots\dots\dots (4.126)$

- TMS = -

b. Setting *Instantaneous*

Sistem pengaman pada zona proteksi ini menggunakan kontaktor sebagai PMT, dikarenakan kontaktor tidak memiliki kemampuan untuk memutuskan jaringan ketika terjadi gangguan arus hubung singkat yang mengalirkan arus sangat besar, maka setting *instantaneous* pada relai dimatikan. Sebagai ganti dari relai *instantaneous* digunakan *fuse* sebagai pengaman *instantaneous* ketika terjadi gangguan hubung singkat.

Setting *fuse* = $1,75 \times \text{FLA } 7$
 $= 1,75 \times 133,28 = 233,23 \text{ A} \dots\dots\dots (4.127)$

Set = 250 A (4.128)

8. Relai RL 150SS1-EE-0102A-I

Rasio CT = 1600/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 8$
 $= 1,05 \times 1340,37 = 1407,39 \text{ A} \dots\dots\dots (4.129)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 1340,37 / (1600/5) = 4,4 \text{ A} \dots\dots\dots (4.130)$

Jadi, Set sekunder = 4,4 A

Set primer = $4,4 \times \frac{1600}{5} = 1408 \text{ A} \dots\dots\dots (4.131)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 0,87 + 0,3 = 1,17 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.132)$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,17 \times \left(\left(\frac{11833,65}{1408}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,64 \dots\dots\dots (4.133)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,64 \times 13,5}{\left(\frac{11833,65}{1408}\right)^a - 1} = 1,17 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.134)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

9. Relai RL 150SS1-EE-0011A-F

Rasio CT = 600/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 9$
 $= 1,05 \times 335,09 = 351,85 \text{ A} \dots\dots\dots (4.135)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 351,85 / (600/5) = 2,93 \text{ A} \dots\dots\dots (4.136)$

Jadi, Set sekunder = 3 A

Set primer = $3 \times \frac{600}{5} = 360 \text{ A} \dots\dots\dots (4.137)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 1,17 + 0,3 = 1,47 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.138)$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,47 \times \left(\left(\frac{11833,65}{360} \times \left(\frac{3,45}{13,8}\right)\right) - 1\right)}{13,5} = 0,79 \dots\dots\dots (4.139)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,68 \times 13,5}{\left(\left(\frac{5869,01}{360}\right)\right) - 1} = 0,7 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.140)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

10. Relai RL 150SS1-EE-0011C-F

Rasio CT = 300/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 10$
 $= 1,25 \times 146,603 = 183,25 \text{ A} \dots\dots\dots (4.141)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 183,25 / (300/5) = 3,05 \text{ A} \dots\dots\dots (4.12)$

Jadi, Set sekunder = 3,1 A

Set primer = $3,1 \times \frac{300}{5} = 186 \text{ A} \dots\dots\dots (4.143)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya *inrush* dari trafo. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{5835,02}{186}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,67 \dots\dots\dots (4.144)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,67 \times 13,5}{\left(\frac{5835,02}{186}\right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.15)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc} \text{ min } 10$
 $= 0,8 \times 4063,48 = 3250,78 \text{ A} \dots\dots\dots (4.146)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 3250,78 / (300/5) = 54,18 \text{ A} \dots\dots\dots (4.147)$

Jadi, Set sekunder = 54,2 A

Set primer = $54,2 \times \frac{300}{5} = 3252 \text{ A} \dots\dots\dots (4.148)$

- *Time Delay* = 0,05 detik $\dots\dots\dots (4.149)$

11. Relai RL 150SS1-EE-0101A-I

Rasio CT = 2000/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 11$
 $= 1,05 \times 824,66 = 865,9 \text{ A} \dots\dots\dots (4.150)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 865,9 / (2000/5) = 2,16 \text{ A} \dots\dots\dots (4.151)$

Jadi, Set sekunder = 2,2 A

Set primer = $2,2 \times \frac{2000}{5} = 880 \text{ A} \dots\dots\dots (4.152)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 0,7 + 0,3 = 1 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.153)$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1 \times \left(\left(\frac{5869,01}{880}\right) - 1\right)}{13,5} = 0,42 \dots\dots\dots (4.154)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,42 \times 13,5}{\left(\frac{5869,01}{880}\right)^0 - 1} = 0,99 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.155)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

12. Relai RL 150SS1-EE-0101A-F

Rasio CT = 2000/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- Setting primer = $1,05 \times \text{FLA } 11$
 $= 1,05 \times 824,66 = 865,9 \text{ A} \dots\dots\dots (4.156)$

- Setting sekunder = Isetprimer / Rasio CT
 $= 865,9 / (2000/5) = 2,16 \text{ A} \dots\dots\dots (4.157)$

Jadi, Set sekunder = 2,2 A

Set primer = $2,2 \times \frac{2000}{5} = 880 \text{ A} \dots\dots\dots (4.158)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 1 + 0,3 = 1,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.159)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1}{b}$$

$$k = \frac{1,3 \times \left(\left(\frac{5869,01}{880}\right)^{-1}\right)}{13,5} = 0,54 \dots\dots\dots (4.160)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (tb).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,54 \times 13,5}{\left(\left(\frac{5874,07}{880}\right)^{-1}\right) - 1} = 1,29 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.161)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

13. RL 150SS1-EE-0101C-I

Rasio CT = 1000/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- *Setting primer* = 1,05 × FLA 11
= 1,05 × 824,66 = 865,9 A..... (4.162)

- *Setting sekunder* = Isetprimer / Rasio CT
= 865,9 / (1000/5) = 4,33 A (4.163)

Jadi, Set sekunder = 4,4 A

Set primer = 4,4 × $\frac{1000}{5}$ = 880 A..... (4.164)

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 1,29 + 0,3 = 1,59 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.165)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,59 \times \left(\left(\frac{5874,07}{880}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,67 \dots\dots\dots (4.166)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (tb).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,67 \times 13,5}{\left(\left(\frac{5874,07}{880}\right)^a - 1\right)} = 1,59 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.167)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

14. RL 152-G-501A

Rasio CT = 1000/1

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- Setting primer = 1,05 × FLA 11
= 1,05 × 824,66 = 865,9 A..... (4.168)

- Setting sekunder = Isetprimer / Rasio CT
= 865,9 / (1000/1) = 0,87 A (4.169)

Jadi, Set sekunder = 0,9 A

Set primer = 0,9 × $\frac{1000}{5}$ = 900 A..... (4.170)

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 1,59 + 0,3 = 1,89 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.171)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,89 \times \left(\left(\frac{5874,07}{900}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,78 \dots\dots\dots (4.172)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

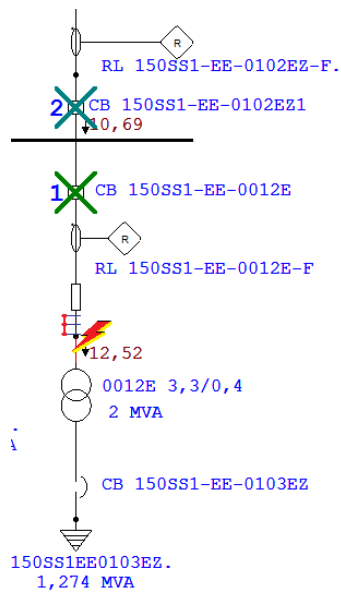
$$t_b = \frac{0,78 \times 13,5}{\left(\left(\frac{5909,94}{900}\right)^a - 1\right)} = 1,88 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.173)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

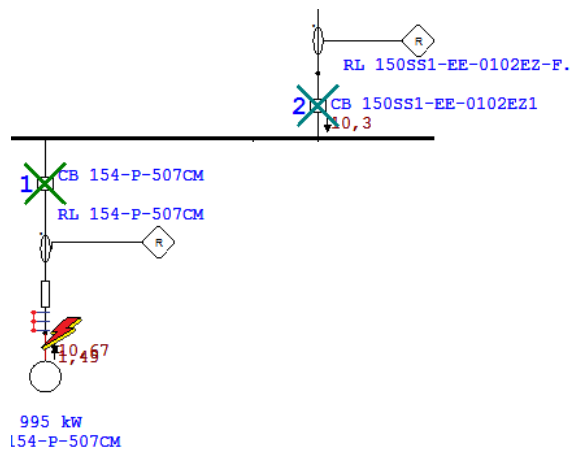
4.2.5 Unjuk Kerja Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Hasil *Resetting*

Menggunakan Perhitungan Manual

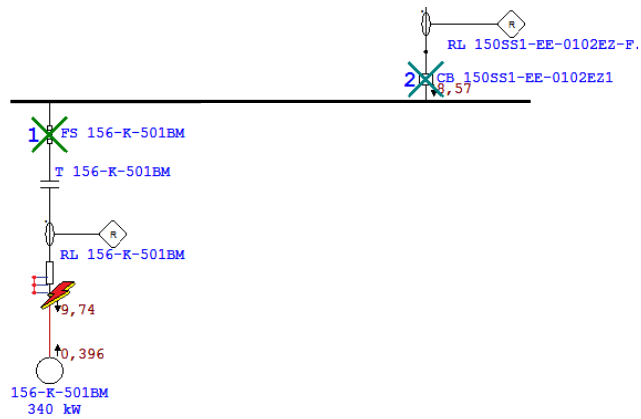
Hasil perhitungan manual yang telah dilakukan pada sub bab 4.2.4 selanjutnya dimasukkan ke dalam *software* ETAP untuk selanjutnya dilakukan simulasi koordinasi proteksi relai arus lebih. Gambar 4.58 sampai dengan gambar 4.70 adalah gambar yang menunjukkan hasil simulasi koordinasi proteksi relai arus lebih hasil *resetting* menggunakan perhitungan manual yang dibagi menjadi beberapa zona proteksi.



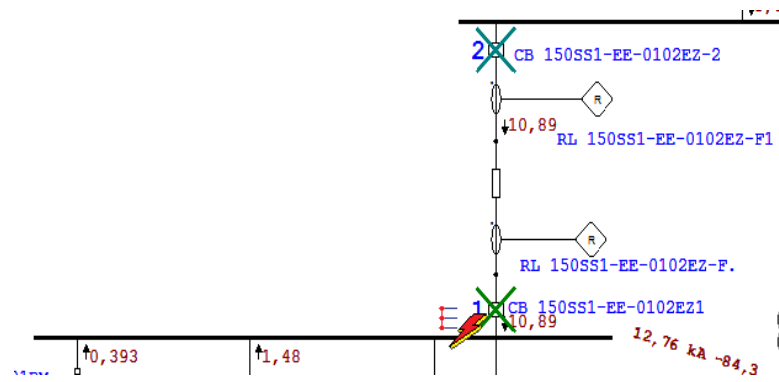
Gambar 4. 58 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 1



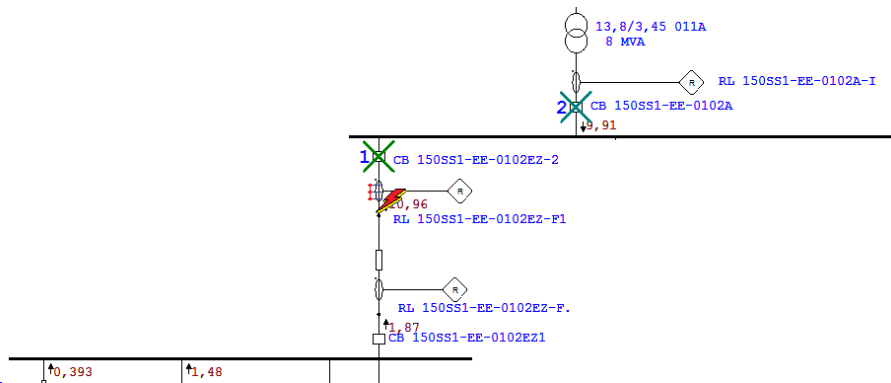
Gambar 4. 59 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 2



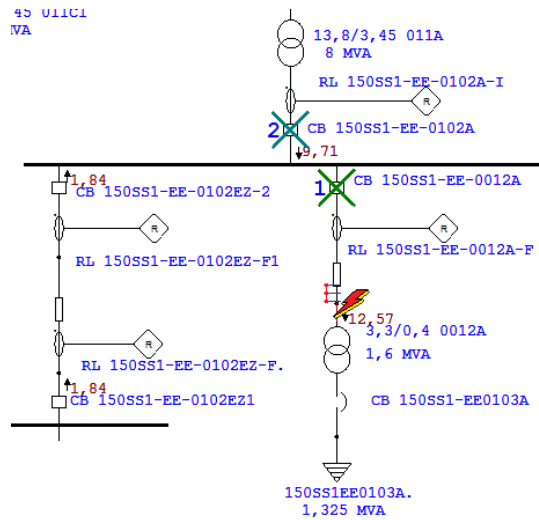
Gambar 4. 60 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 3



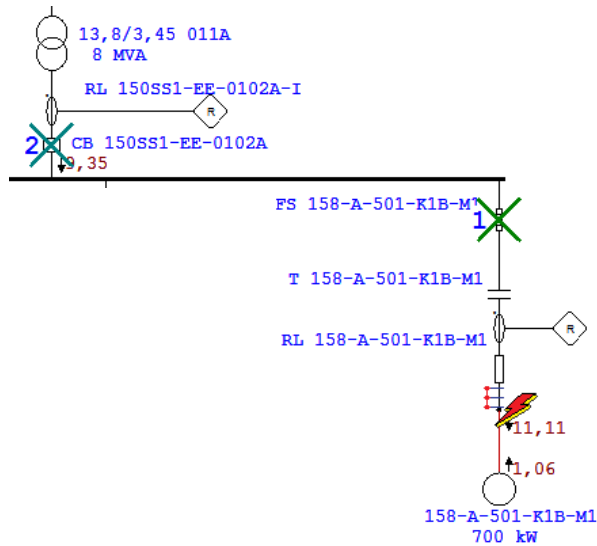
Gambar 4. 61 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 4



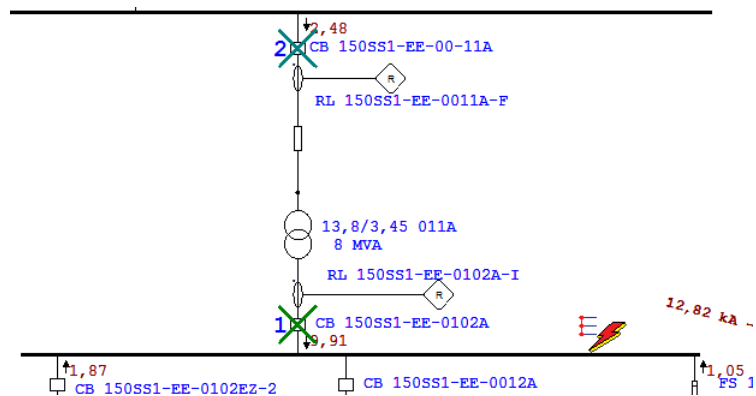
Gambar 4. 62 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 5



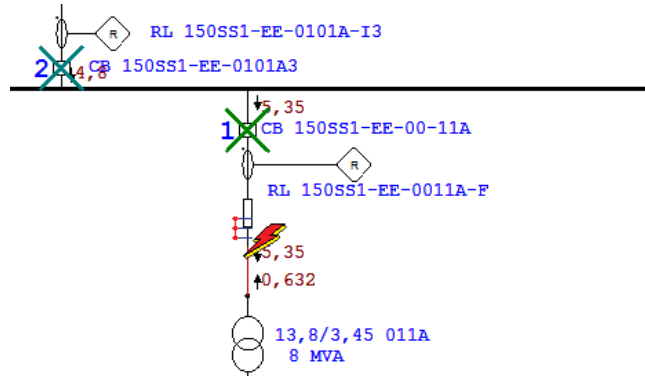
Gambar 4. 63 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 6



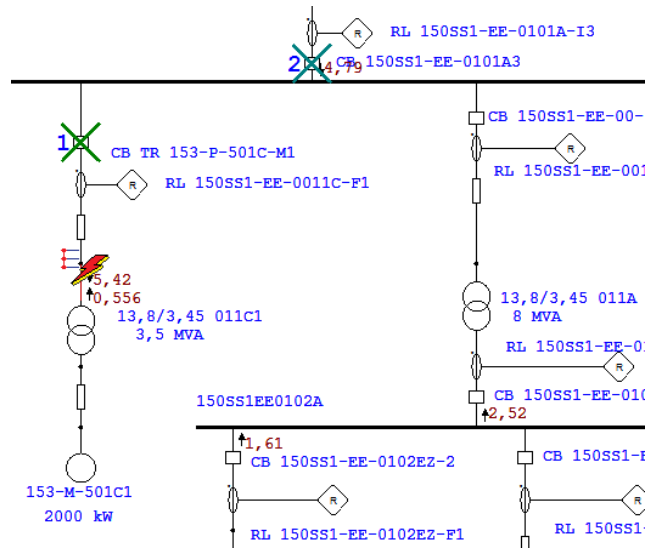
Gambar 4. 64 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 7



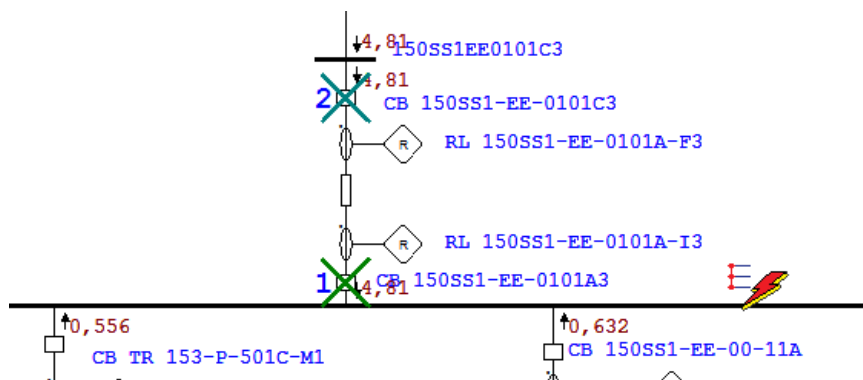
Gambar 4. 65 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 8



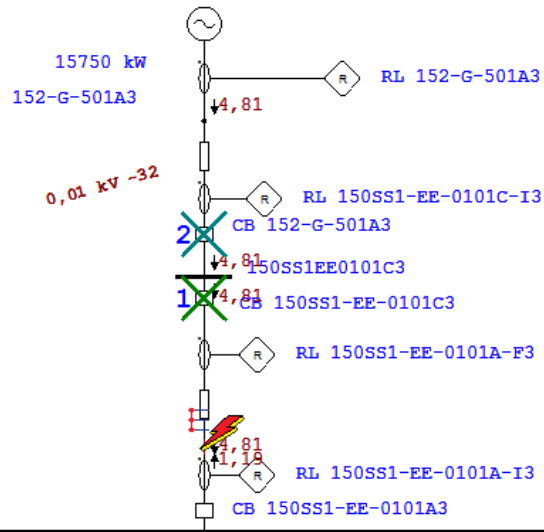
Gambar 4.66 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 9



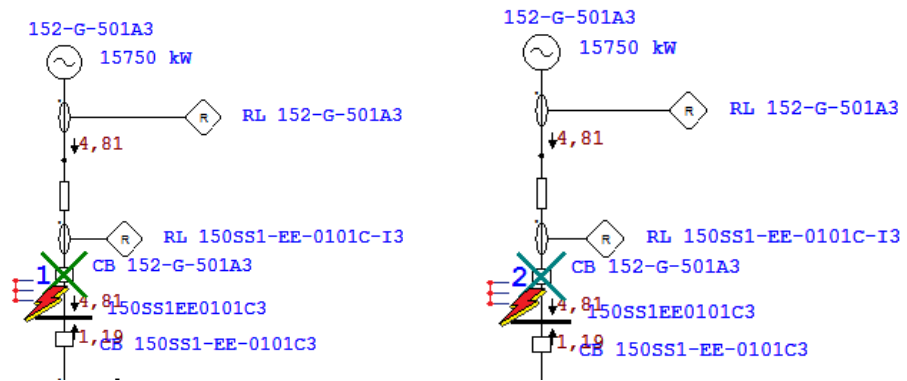
Gambar 4.67 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 10



Gambar 4.68 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 11



Gambar 4. 69 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 12



Gambar 4. 70 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 13

Hasil koordinasi proteksi relai arus lebih yang telah disimulasikan menunjukkan bahwa *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik 150SS1 pembangkitan generator 152-G-501A kilang RFCC sudah berjalan dengan baik secara keseluruhan. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 4.58 sampai dengan 4.70 bahwa setiap simulasi koordinasi proteksi yang dilakukan telah berjalan sebagaimana mestinya. Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik, relai utama dan relai cadangan yang terpasang pada zona proteksi yang terjadi gangguan telah bekerja secara berurutan. Jika relai utama mengalami gagal kerja untuk memberikan isyarat pada PMT untuk *trip*, maka relai cadangan akan bekerja sebagai *back up* dari relai utama untuk memberikan isyarat pada PMT untuk *trip*. Hal lain yang menjadi landasan bahwa koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik adalah tidak ada relai dari zona proteksi lain yang bekerja ketika terjadi gangguan diluar zona proteksi relai tersebut.

4.3 *Resetting* Koordinasi Relai Arus Lebih Menggunakan Data Arus Hubung Singkat Hasil dari Simulasi Software ETAP

Resetting koordinasi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil dari simulasi software ETAP ini menggunakan data arus hubung singkat yang dihasilkan menggunakan fasilitas *short circuit analysis* yang ada pada *software* ETAP. *Short circuit analysis* akan menampilkan besaran arus hubung singkat yang akan ditimbulkan pada jaringan sistem tenaga listrik apabila terjadi gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah dalam pengamatan, besaran arus hubung singkat yang dihasilkan dari gangguan hubung singkat yang telah disimulasikan menggunakan fasilitas *short circuit analysis* pada *software* ETAP telah dirangkum pada table 4.1. Pada tabel 4.1 ditampilkan besaran arus hubung singkat yang ditimbulkan berdasarkan gangguan hubung singkat yang terjadi pada zona-zona proteksi yang ada pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik 150SS1 pembangkitan generator 152-G-501A kilang RFCC.

4.3.1 Data Arus Hubung Singkat Hasil Simulasi *Software* ETAP

Tabel 4. 1 Data Arus Gangguan Hubung Singkat Hasil Simulasi *Software* ETAP

NO.	Zona Proteksi	Arus Hubung Singkat 3 Fasa $\frac{1}{2}$ Cycle (Ampere)	Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle (Ampere)
1	Zona Proteksi 1	12.530	6.552
2	Zona Proteksi 2	12.220	6.393
3	Zona Proteksi 3	10.666	5.929
4	Zona Proteksi 4	12.760	6.630
5	Zona Proteksi 5	12.825	6.661
6	Zona Proteksi 6	12.580	6.578
7	Zona Proteksi 7	12.207	6.410
8	Zona Proteksi 8	12.825	6.661
9	Zona Proteksi 9	5.989	6.661
10	Zona Proteksi 10	5.970	6.661
11	Zona Proteksi 11	5.989	6.661
12	Zona Proteksi 12	5.991	3.088
13	Zona Proteksi 13	6.003	3.095

Data arus gangguan hubung singkat dari hasil simulasi selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan *resetting* koordinasi relai arus lebih yang meliputi perhitungan *setting lowset primer*, *setting lowset sekunder*, dan *setting time dial* untuk relai karakteristik *inverse* dan *setting hightset primer*, *setting hightset sekunder*, dan *setting tunda waktu* untuk relai karakteristik *instantaneous*.

4.3.2 Selisih Antara Arus Hubung Singkat Hasil Perhitungan Manual Dengan Arus Hubung Singkat Hasil Simulasi Software ETAP

Untuk memudahkan dalam melakukan pengamatan terhadap selisih nilai antara arus hubung singkat hasil perhitungan dan arus hubung singkat hasil simulasi ETAP, maka digunakan tabel 4.2. Nilai selisih ditunjukkan dalam persen dan dalam perhitungannya digunakan arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP sebagai acuan. Penentuan arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP sebagai acuan dikarenakan *software* ETAP memiliki akurasi yang tinggi dan perhitungan dilakukan berdasarkan standar internasional. Perhitungan selisih dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{Selisih} = \frac{(\text{Ihs simulasi ETAP} - \text{Ihs perhitungan manual})}{\text{Ihs simulasi ETAP}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.174)$$

Tabel 4. 2 Selisih Antara Arus Hubung Singkat 3 Fasa ½ Cycle Hasil Perhitungan Manual dan Arus Hubung Singkat 3 ½ Cycle Fasa Hasil Simulasi *Software* ETAP

NO.	Zona Proteksi	Perhitungan Manual (Ampere)	Simulasi <i>Software</i> ETAP (Ampere)	Selisih (%)
1	Zona Proteksi 1	11.429,46	12.530	8,78
2	Zona Proteksi 2	9.816,53	12.220	19,67
3	Zona Proteksi 3	7.676,37	10.666	28,03
4	Zona Proteksi 4	11.686,34	12.760	8,41
5	Zona Proteksi 5	11.833,65	12.825	7,73
6	Zona Proteksi 6	11.556,79	12.580	8,13
7	Zona Proteksi 7	10.874,33	12.207	10,92
8	Zona Proteksi 8	11.833,65	12.825	7,73
9	Zona Proteksi 9	5.869,01	5.989	2,00
10	Zona Proteksi 10	5.835,02	5.970	2,26
11	Zona Proteksi 11	5.869,01	5.989	2,00
12	Zona Proteksi 12	5.874,07	5.991	1,95
13	Zona Proteksi 13	5.909,94	6.003	1,55
			Rata-Rata	8,40

Tabel 4.3 Selisih Antara Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle Hasil Perhitungan Manual dan Arus Hubung Singkat 2 Fasa 30 Cycle Hasil Simulasi Software ETAP

NO.	Zona Proteksi	Perhitungan Manual (Ampere)	Simulasi <i>Software</i> ETAP (Ampere)	Selisih (%)
1	Zona Proteksi 1	7.211,15	6.552	9,14
2	Zona Proteksi 2	6.171,12	6.393	3,47
3	Zona Proteksi 3	5.192,20	5.929	12,43
4	Zona Proteksi 4	7.328,52	6.630	10,54
5	Zona Proteksi 5	7.423,91	6.661	11,45
6	Zona Proteksi 6	7.297,26	6.578	10,93
7	Zona Proteksi 7	6.890,54	6.410	7,50
8	Zona Proteksi 8	7.423,91	6.661	11,45
9	Zona Proteksi 9	4.086,86	6.661	38,65
10	Zona Proteksi 10	4.063,48	6.661	39,00
11	Zona Proteksi 11	4.086,86	6.661	38,65
12	Zona Proteksi 12	4.091,51	3.088	32,50
13	Zona Proteksi 13	4.124,51	3.095	24,96
			Rata-Rata	19,28

Dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat kita amati bahwa nilai selisih secara keseluruhan memiliki persentase 8,40% untuk hubung singkat 3 fasa dan 19,28% untuk hubung singkat 2 fasa. Perbedaan hasil ini disebabkan perhitungan menggunakan simulasi *software* ETAP lebih mendetail dan akurat dibanding perhitungan manual. Meskipun terjadi perbedaan dalam hasil perhitungan dan memiliki selisih diatas 10%, tetapi arus hubung singkat hasil perhitungan masih berada dalam batas toleransi, dikarenakan tidak memiliki perbedaan yang begitu jauh terhadap setting koordinasi proteksi relai arus lebih. Hal ini dibuktikan pada pembahasan sub bab 4.4 tentang analisis perbandingan dari masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih.

4.3.3 Perhitungan *Resetting* Koordinasi Relai Arus Lebih Berdasarkan Data Arus Hubung Singkat Hasil Simulasi *Software* ETAP

Untuk memudahkan dalam pengamatan, digunakan gambar *Single Line* diagram proteksi relai arus lebih yang dapat dilihat pada gambar 4.1 sub bab 4.1. Berikut adalah hasil perhitungan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih:

1. Relai RL 150SS1-EE-0012E-F

$$\text{Rasio CT} = 600/5$$

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 1$
 $= 1,05 \times 335,09 = 351,85 \text{ A} \dots\dots\dots (4.175)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 351,85 / (600/5) = 2,93 \text{ A} \dots\dots\dots (4.176)$

Jadi, Set sekunder = 3 A

Set primer = $3 \times \frac{600}{5} = 360 \text{ A} \dots\dots\dots (4.177)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya *inrush* dari trafo. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12530}{360}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,75 \dots\dots\dots (4.178)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,75 \times 13,5}{\left(\frac{12530}{360}\right)^{-1}} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.179)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc1}$ 2 fasa
 $= 0,8 \times 6552 = 5241,6 \text{ A} \dots\dots\dots (4.181)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 5241,6 / (600/5) = 43,68 \text{ A} \dots\dots\dots (4.182)$

Jadi, Set sekunder = 43,7 A

Set primer = $43,7 \times \frac{600}{5} = 5244 \text{ A} \dots\dots\dots (4.183)$

- *Time Delay* = 0,05 detik..... (4.184)

2. Relai RL 154-P-507CM

Rasio CT = 300/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

c. Setting *Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 2$
 $= 1,25 \times 191,52 = 239,4 \text{ A} \dots\dots\dots (4.185)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 239,4 / (300/5) = 3,99 \text{ A} \dots\dots\dots (4.186)$

Jadi, Set sekunder = 4 A

Set primer = $4 \times \frac{300}{5} = 240 \text{ A} \dots\dots\dots (4.187)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya arus *starting* dari motor. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12220}{240}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 1,109 \dots\dots\dots (4.188)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{1,109 \times 13,5}{\left(\frac{12220}{240}\right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.189)$$

d. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc2}$ 2 fasa
 = $0,8 \times 6393 = 5114,4 \text{ A} \dots\dots\dots (4.190)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 = $5114,4 / (300/5) = 85,24 \text{ A} \dots\dots\dots (4.191)$

Jadi, Set sekunder = 85,3 A

Set primer = $85,3 \times \frac{300}{5} = 5118 \text{ A} \dots\dots\dots (4.192)$

- *Time Delay* = 0,05 detik $\dots\dots\dots (4.193)$

3. Relai RL 156-K-501BM

Rasio CT = 100/5

Karakteristik *Thermal Overload Curve*

a. Setting *Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 3$
 = $1,25 \times 65,45 = 81,81 \text{ A} \dots\dots\dots (4.194)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
 = $81,81 / (100/5) = 4,09 \text{ A} \dots\dots\dots (4.195)$

Jadi, Set sekunder = 4,1 A

Set primer = $4,1 \times \frac{100}{5} = 82 A$ (4.196)

- TMS = -

b. Setting *Instantaneous*

Sistem pengaman pada zona proteksi ini menggunakan kontaktor sebagai PMT, dikarenakan kontaktor tidak memiliki kemampuan untuk memutuskan jaringan ketika terjadi gangguan arus hubung singkat yang mengalirkan arus sangat besar, maka setting *instantaneous* pada relai dimatikan. Sebagai ganti dari relai *instantaneous* digunakan *fuse* sebagai pengaman *instantaneous* ketika terjadi gangguan hubung singkat.

Setting *fuse* = $1,75 \times FLA 3$

= $1,75 \times 65,45 = 114,5 A$ (4.197)

Set = 125 A (4.198)

4. Relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F

Rasio CT = 1200/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- Setting primer = $1,05 \times FLA 5$
- = $1,05 \times 644,67 = 676,90 A$ (4.199)

- Setting sekunder = Isetprimer / Rasio CT
- = $676,90 / (1200/5) = 2,82 A$ (4.200)

Jadi, Set sekunder = 2,85 A

Set primer = $2,85 \times \frac{1200}{5} = 684 A$ (4.201)

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 0,3 + 0,3 = 0,6$ detik..... (4.202)

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1}{b}$$

$$k = \frac{0,6 \times \left(\frac{12530}{684}\right)^a - 1}{13,5} = 0,77 \dots\dots\dots (4.203)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (tb).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,77 \times 13,5}{\left(\frac{12760}{684}\right)^a - 1} = 0,59 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.204)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

5. Relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1

Rasio CT = 1200/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- Setting primer = 1,05 × FLA 5
= 1,05 × 644,67 = 676,90 A..... (4.205)

- Setting sekunder = Isetprimer / Rasio CT
= 676,90/(1200/5) = 2,82 A (4.206)

Jadi, Set sekunder = 2,85 A

Set primer = 2,85 × $\frac{1200}{5}$ = 684 A (4.207)

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 0,59 + 0,3 = 0,89 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.208)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,89 \times \left(\left(\frac{12760}{684}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 1,16 \dots\dots\dots (4.209)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{1,16 \times 13,5}{\left(\frac{12825}{684}\right)^a - 1} = 0,88 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.210)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

6. Relai RL 150SS1-EE-0012A-F
 Rasio CT = 500/5
 Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- Setting primer = $1,05 \times \text{FLA } 6$
 $= 1,05 \times 268,07 = 335,09 \text{ A} \dots\dots\dots (4.211)$

- Setting sekunder = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 335,09 / (500/5) = 3,35 \text{ A} \dots\dots\dots (4.212)$

Jadi, Set sekunder = 3,4 A

- Set primer = $3,4 \times \frac{500}{5} = 340 \text{ A} \dots\dots\dots (4.213)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya *inrush* dari trafo. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{12580}{85}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 3,27 \dots\dots\dots (4.214)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{3,27 \times 13,5}{\left(\frac{12580}{340}\right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.215)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc6}$ 2 fasa
= $0,8 \times 6578 = 5262,4$ A..... (4.216)

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
= $5262,4 / (500/5) = 52,62$ A (4.217)

Jadi, Set sekunder = 52,7 A

Set primer = $52,7 \times \frac{500}{5} = 5270$ A..... (4.218)

- *Time Delay* = 0,05 detik..... (4.219)

7. Relai RL 158-A-501-K1B-M

Rasio CT = 200/5

Karakteristik *Thermal Overload Curve*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,25 \times \text{FLA } 7$
 $= 1,25 \times 133,28 = 166,59 \text{ A} \dots\dots\dots (4.220)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 166,59 / (200/5) = 4,16 \text{ A} \dots\dots\dots (4.221)$

Jadi, Set sekunder = 4,2 A

Set primer = $4,2 \times \frac{200}{5} = 168 \text{ A} \dots\dots\dots (4.222)$

- TMS = -

b. *Setting Instantaneous*

Sistem pengaman pada zona proteksi ini menggunakan kontaktor sebagai PMT, dikarenakan kontaktor tidak memiliki kemampuan untuk memutuskan jaringan ketika terjadi gangguan arus hubung singkat yang mengalirkan arus sangat besar, maka setting *instantaneous* pada relai dimatikan. Sebagai ganti dari relai *instantaneous* digunakan *fuse* sebagai pengaman *instantaneous* ketika terjadi gangguan hubung singkat.

Setting fuse = $1,75 \times \text{FLA } 7$
 $= 1,75 \times 133,28 = 233,23 \text{ A} \dots\dots\dots (4.223)$

Set = 250 A $\dots\dots\dots (4.224)$

8. Relai RL 150SS1-EE-0102A-I

Rasio CT = 1600/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 8$
 $= 1,05 \times 1340,37 = 1407,39 \text{ A} \dots\dots\dots (4.225)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 1340,37 / (1600/5) = 4,4 \text{ A} \dots\dots\dots (4.226)$

Jadi, Set sekunder = 4,4 A

Set primer = $4,4 \times \frac{1600}{5} = 1408 \text{ A} \dots\dots\dots (4.227)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 0,88 + 0,3 = 1,18 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.228)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1}{b}$$

$$k = \frac{1,18 \times \left(\frac{12825}{1408}\right)^a - 1}{13,5} = 0,71 \dots\dots\dots (4.229)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,71 \times 13,5}{\left(\frac{12825}{1408}\right)^a - 1} = 1,18 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.230)$$

b. Setting *Instantaneous* = –

9. Relai RL 150SS1-EE-0011A-F

Rasio CT = 600/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. Setting *Inverse*

- Setting primer = $1,05 \times \text{FLA } 9$
= $1,05 \times 335,09 = 351,85 \text{ A} \dots\dots\dots (4.231)$

- Setting sekunder = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
= $351,85 / (600/5) = 2,93 \text{ A} \dots\dots\dots (4.232)$

Jadi, Set sekunder = 3 A

Set primer = $3 \times \frac{600}{5} = 360 \text{ A} \dots\dots\dots (4.233)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 1,18 + 0,3 = 1,48 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.234)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1}{b}$$

$$k = \frac{1,48 \times \left(\left(\frac{12825}{360} \times \left(\frac{3,45}{13,8}\right)\right) - 1\right)}{13,5} = 0,87 \dots\dots\dots (4.235)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,87 \times 13,5}{\left(\frac{5989}{360}\right) - 1} = 0,75 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.236)$$

- b. Setting *Instantaneous* = –

10. Relai RL 150SS1-EE-0011C-F

Rasio CT = 300/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

- a. Setting *Inverse*

- Setting primer = $1,25 \times \text{FLA } 10$
 $= 1,25 \times 146,603 = 183,25 \text{ A} \dots\dots\dots (4.237)$

- Setting sekunder = $I_{\text{set primer}} / \text{Rasio CT}$
 $= 183,25 / (300/5) = 3,05 \text{ A} \dots\dots\dots (4.238)$

Jadi, Set sekunder = 3,1 A

Set primer = $3,1 \times \frac{300}{5} = 186 \text{ A} \dots\dots\dots (4.239)$

- TMS

Waktu relai paling dekat dengan beban disetting dengan waktu mulai relai bekerja 0,3 detik setelah relai merasakan terjadi gangguan ($t_a = 0,3$ detik). Setting waktu tunda ini bertujuan agar relai tidak *trip* akibat adanya *inrush* dari trafo. Setelah waktu awal relai ditentukan, selanjutnya adalah melakukan perhitungan TMS sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1}{b}$$

$$k = \frac{0,3 \times \left(\frac{5971}{186}\right)^a - 1}{13,5} = 0,69 \dots\dots\dots (4.240)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,69 \times 13,5}{\left(\frac{5971}{186}\right)^a - 1} = 0,3 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.241)$$

b. Setting *Instantaneous*

- *Setting primer* = $0,8 \times I_{sc10}$ 2 fasa
= $0,8 \times 6661 = 5328,8A \dots\dots\dots (4.242)$

- *Setting sekunder* = $I_{setprimer} / \text{Rasio CT}$
= $5328,8 / (300/5) = 88,813 A \dots\dots\dots (4.243)$

Jadi, Set sekunder = 88,85 A

Set primer = $88,85 \times \frac{300}{5} = 5331 A \dots\dots\dots (4.244)$

- *Time Delay* = 0,05 detik..... (4.245)

11. Relai RL 150SS1-EE-0101A-I

Rasio CT = 2000/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 11$
 $= 1,05 \times 824,66 = 865,9 \text{ A} \dots\dots\dots (4.246)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 865,9 / (2000/5) = 2,16 \text{ A} \dots\dots\dots (4.247)$

Jadi, Set sekunder = 2,2 A

Set primer = $2,2 \times \frac{2000}{5} = 880 \text{ A} \dots\dots\dots (4.248)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 0,75 + 0,3 = 1,05 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.249)$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,05 \times \left(\left(\frac{5989}{880}\right) - 1\right)}{13,5} = 0,45 \dots\dots\dots (4.250)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,45 \times 13,5}{\left(\left(\frac{5989}{880}\right) - 1\right)} = 1,05 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.251)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

12. Relai RL 150SS1-EE-0101A-F

Rasio CT = 2000/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 11$
 $= 1,05 \times 824,66 = 865,9 \text{ A} \dots\dots\dots (4.252)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 865,9 / (2000/5) = 2,16 \text{ A} \dots\dots\dots (4.253)$

Jadi, Set sekunder = 2,2 A

Set primer = $2,2 \times \frac{2000}{5} = 880 \text{ A} \dots\dots\dots (4.254)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 1,05 + 0,3 = 1,35 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.255)$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,35 \times \left(\left(\frac{5989}{880}\right)^a - 1\right)}{13,5} = 0,58 \dots\dots\dots (4.256)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,58 \times 13,5}{\left(\left(\frac{5991}{880}\right)\right)^a - 1} = 1,65 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.257)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

13. RL 150SS1-EE-0101C-I

Rasio CT = 1000/5

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 11$
 $= 1,05 \times 824,66 = 865,9 \text{ A} \dots\dots\dots (4.258)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 865,9 / (1000/5) = 4,33 \text{ A} \dots\dots\dots (4.259)$

Jadi, Set sekunder = 4,4 A

Set primer $4,4 \times \frac{1000}{5} = 880 \text{ A} \dots\dots\dots (4.260)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$t_a = t_b + 0,3 = 1,35 + 0,3 = 1,55 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.261)$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1}{b}$$

$$k = \frac{1,55 \times \left(\frac{5991}{880}\right) - 1}{13,5} = 0,71 \dots\dots\dots (4.262)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,71 \times 13,5}{\left(\frac{5991}{880}\right) - 1} = 1,59 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.263)$$

b. *Setting Instantaneous* = –

14. RL 152-G-501A

Rasio CT = 1000/1

Karakteristik IEC *Very Inverse*

a. *Setting Inverse*

- *Setting primer* = $1,05 \times \text{FLA } 11$
 $= 1,05 \times 824,66 = 865,9 \text{ A} \dots\dots\dots (4.264)$

- *Setting sekunder* = $\text{Isetprimer} / \text{Rasio CT}$
 $= 865,9 / (1000/1) = 0,87 \text{ A} \dots\dots\dots (4.265)$

Jadi, Set sekunder = 0,9 A

Set primer $0,9 \times \frac{1000}{5} = 900 \text{ A} \dots\dots\dots (4.266)$

- TMS

Waktu mulai relai bekerja berdasarkan lama waktu kerja relai sebelumnya ditambahkan dengan *time grading*, yaitu sebagai berikut:

$$t_a = t_b + 0,3 = 1,65 + 0,3 = 1,95 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.267)$$

Setelah waktu mulai relai bekerja didapatkan, selanjutnya adalah menghitung TMS, yaitu sebagai berikut:

$$k = \frac{(t_a - L) \times \left(\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1\right)}{b}$$

$$k = \frac{1,95 \times \left(\left(\frac{5991}{900}\right) - 1\right)}{13,5} = 0,82 \dots\dots\dots (4.268)$$

Konstanta a dan L bernilai 0, dan konstanta b bernilai 13,5 karena karakteristik relai yang digunakan adalah IEC *Very Inverse*. Setelah perhitungan TMS dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan waktu kerja yang dibutuhkan relai untuk memberikan isyarat kepada PMT untuk *trip* (t_b).

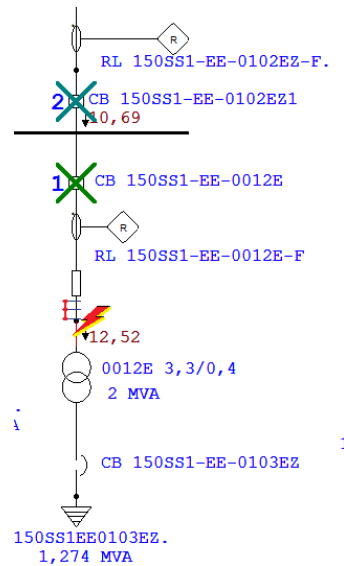
$$t_b = \frac{k \times b}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L$$

$$t_b = \frac{0,82 \times 13,5}{\left(\left(\frac{6003}{900}\right) - 1\right)} = 1,95 \text{ detik} \dots\dots\dots (4.269)$$

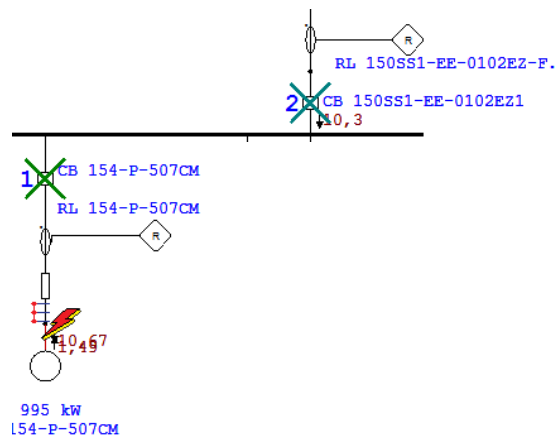
b. *Setting Instantaneous* = –

4.3.4 Unjuk Kerja Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Hasil *Resetting* Menggunakan Perhitungan Manual

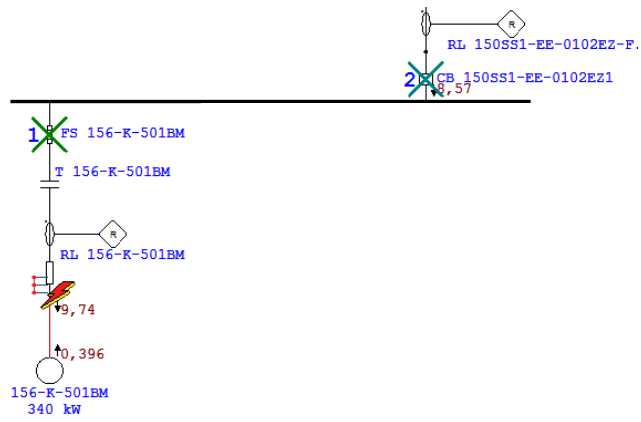
Hasil perhitungan *resetting* yang telah dilakukan pada sub bab 4.3.1 selanjutnya dimasukan ke dalam *software* ETAP untuk selanjutnya dilakukan simulasi koordinasi proteksi relai arus lebih. Gambar 4.71 sampai dengan gambar 4.83 adalah gambar yang menunjukkan hasil simulasi koordinasi proteksi relai arus lebih hasil *resetting* menggunakan data arus gangguan hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP yang dibagi menjadi beberapa zona proteksi.



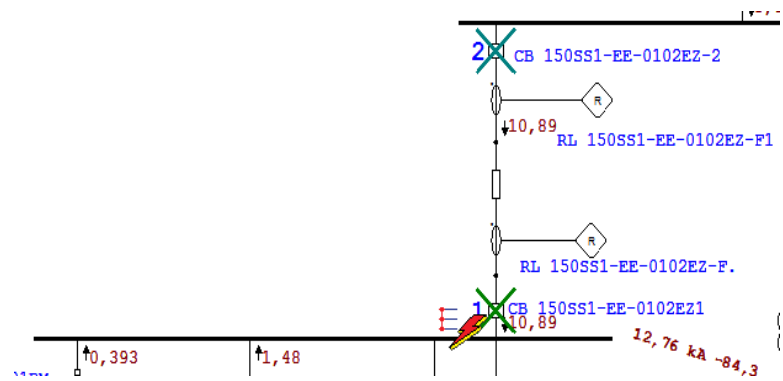
Gambar 4. 71 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 1



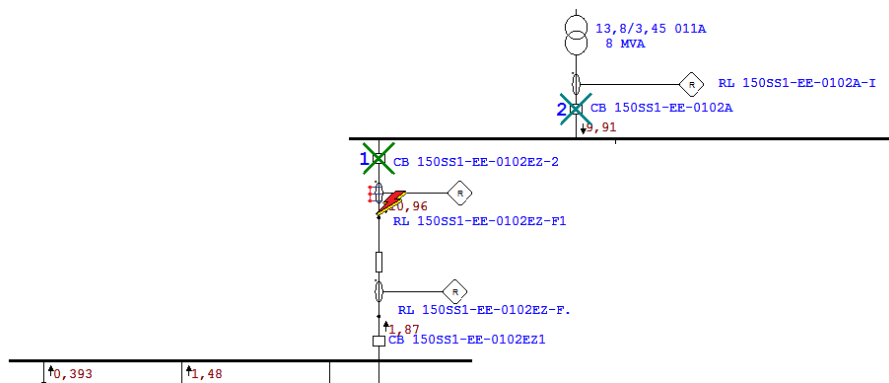
Gambar 4. 72 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 2



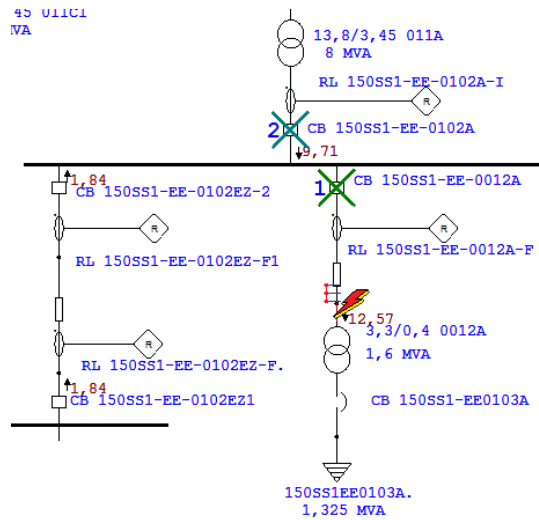
Gambar 4.73 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 3



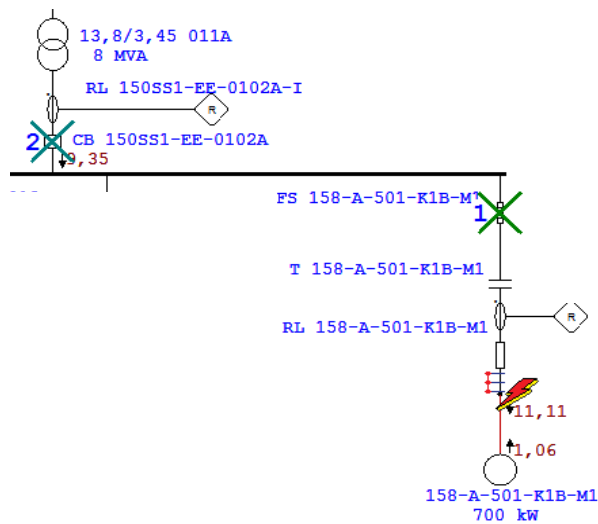
Gambar 4.74 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 4



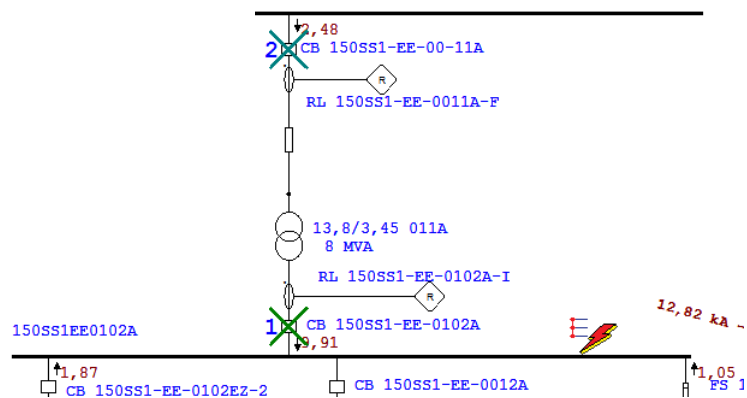
Gambar 4.75 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 5



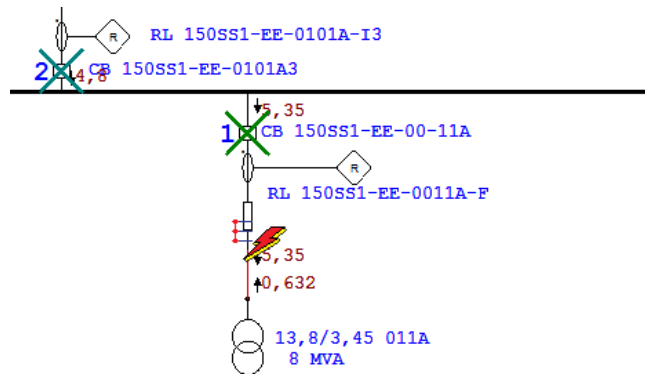
Gambar 4. 76 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 6



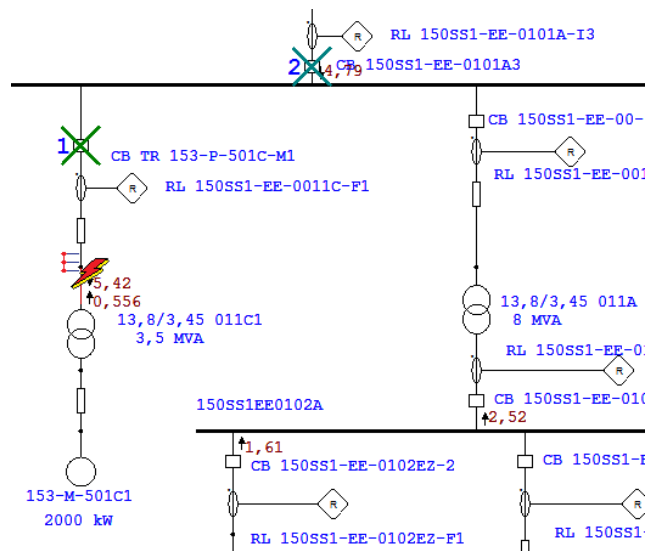
Gambar 4. 77 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 7



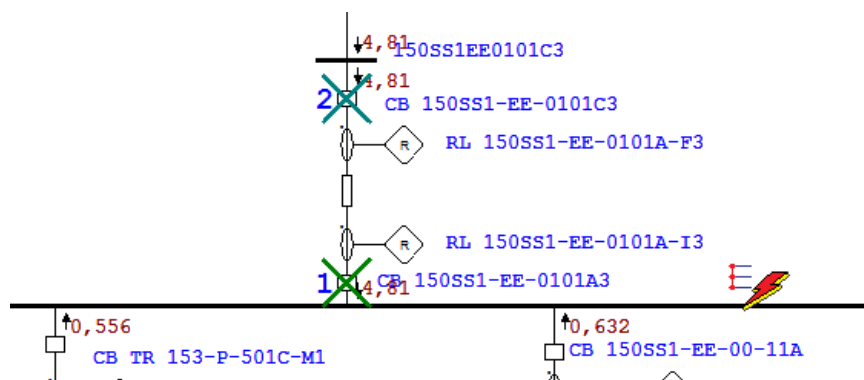
Gambar 4. 78 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 8



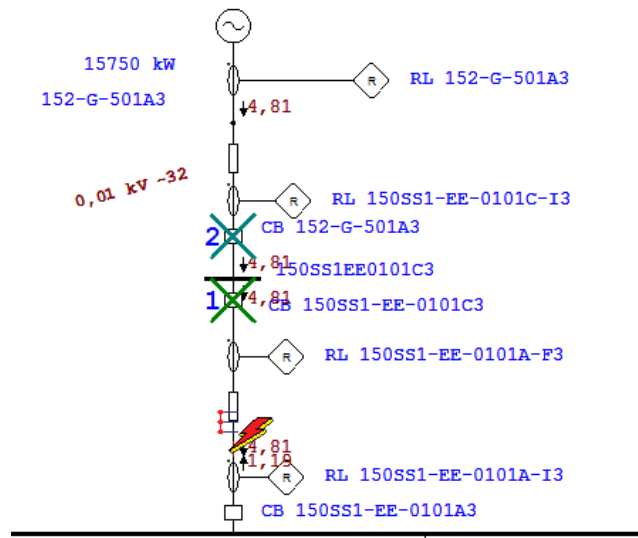
Gambar 4. 79 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 9



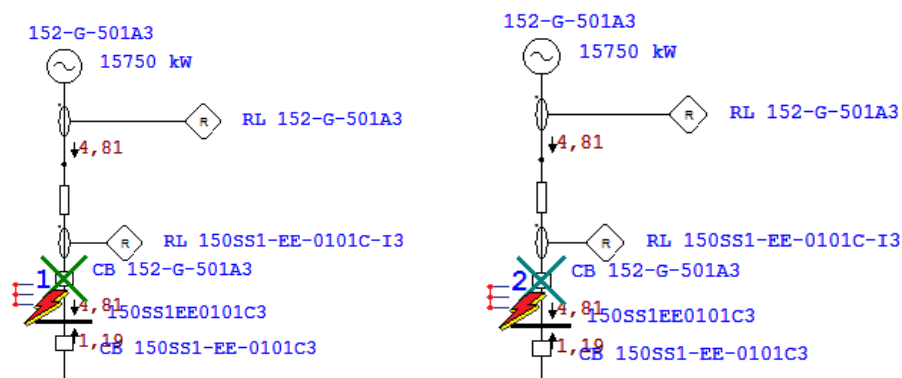
Gambar 4. 80 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 10



Gambar 4. 81 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 11



Gambar 4. 82 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 12



Gambar 4. 83 Simulasi Resetting Koordinasi Zona Proteksi 13

Hasil koordinasi proteksi relai arus lebih yang telah disimulasikan menunjukkan bahwa *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil dari simulasi *software* ETAP pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik 150SS1 pembangkitan generator 152-G-501A kilang RFCC sudah berjalan dengan baik secara keseluruhan. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 4.71 sampai dengan 4.83 bahwa setiap simulasi koordinasi proteksi yang dilakukan telah berjalan sebagaimana mestinya. Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi sistem tenaga listrik, relai utama dan relai cadangan yang terpasang pada zona proteksi yang terjadi gangguan telah bekerja secara berurutan. Jika relai utama mengalami gagal kerja untuk memberikan isyarat pada PMT untuk

trip, maka relai cadangan akan bekerja sebagai *back up* dari relai utama untuk memberikan isyarat pada PMT untuk *trip*. Hal lain yang menjadi landasan bahwa koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik adalah tidak ada relai dari zona proteksi lain yang bekerja ketika terjadi gangguan diluar zona proteksi relai tersebut.

4.4 Analisis Perbandingan dari Masing-Masing Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih

Dalam pembahasan pada sub bab ini akan dilakukan analisis terhadap masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang meliputi settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus lebih hasil dari simulasi *software* ETAP. Perbandingan dilakukan menggunakan grafik yang dihasilkan oleh fasilitas *Time Current Curve* (TCC) yang ada pada *software* ETAP. Dari grafik yang dihasilkan oleh TCC dapat diketahui settingan koordinasi yang paling baik untuk diterapkan di lapangan berdasarkan waktu yang dibutuhkan masing-masing relai untuk bekerja dan berkordinasi ketika terjadi gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah dalam pengamatan terhadap perbedaan masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih, digunakan tabel 4.4 yang menunjukkan masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih.

Tabel 4.4 Setingan Masing-Masing Koordinasi Relai Arus Lebih

No.	Nama Relai	Setting Lapangan	Resetting Manual	Resetting ETAP
1	RL 150SS1-EE-0012E-F	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,65 Ampere <i>Time dial</i> : 0,36 <i>Instant</i> : 49,5 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 600/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3 Ampere <i>Time dial</i> : 0,68 <i>Instant</i> : 49,1 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 600/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3 Ampere <i>Time dial</i> : 0,68 <i>Instant</i> : 43,7 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 600/5
2	RL 154-P-507CM	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 3,65 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instant</i> : 49,5 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 300/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,89 <i>Instant</i> : 82,3 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 300/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 4 Ampere <i>Time dial</i> : 1,109 <i>Instant</i> : 85,3 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 300/5
3	RL 156-K-501BM	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 3,8 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 100/5	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 4,1 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 100/5	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 4,1 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 100/5
4	RL 150SS1-EE-0102EZ-F	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 6,25 Ampere <i>Time dial</i> : 0,25 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1200/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,85 Ampere <i>Time dial</i> : 0,69 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1200/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,85 Ampere <i>Time dial</i> : 0,77 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1200/5

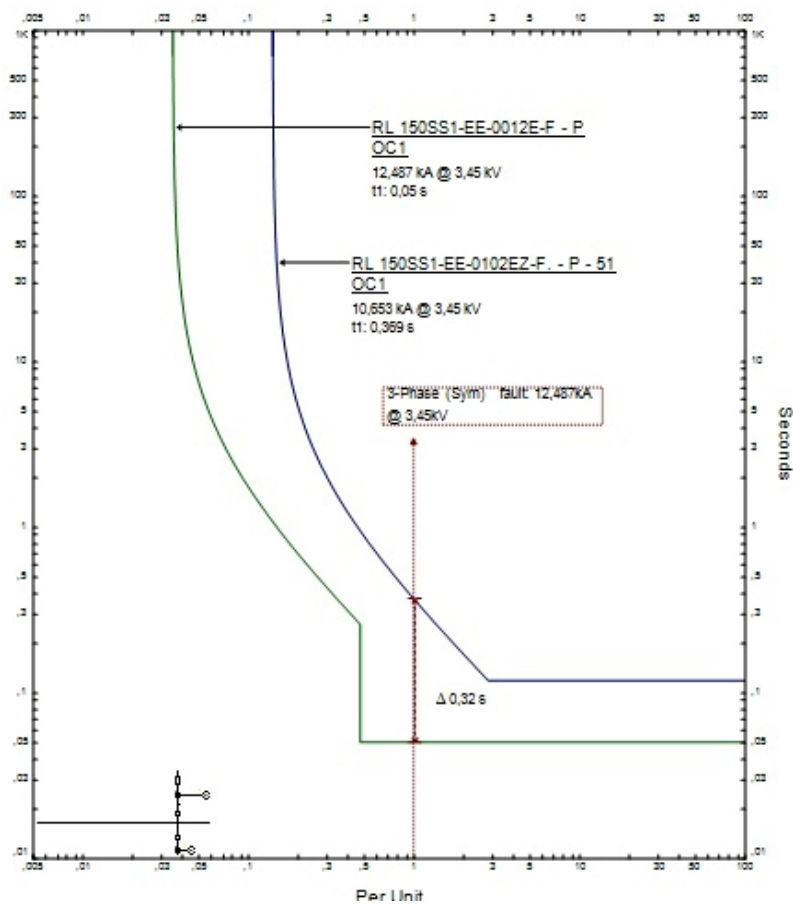
5	RL 150SS1-EE-0102EZ-F1	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 1,25 Ampere <i>Time dial</i> : 0,3 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1200/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,85 Ampere <i>Time dial</i> : 1,06 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1200/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,85 Ampere <i>Time dial</i> : 1,16 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1200/5
6	RL 150SS1-EE-0012A-F	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,5 Ampere <i>Time dial</i> : 0,8 <i>Instant</i> : 49,5 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 500/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,73 <i>Instant</i> : 58,4 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 500/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,8 <i>Instant</i> : 52,7 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second Rasio CT : 500/5
7	RL 158-A-501-K1B-M	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 3,95 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 200/5	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 4,2 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instapnt</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 200/5	<i>Thermal Overload Curve</i> <i>Pick Up</i> : 4,2 Ampere <i>Time dial</i> : - <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 200/5
8	RL 150SS1-EE-0102A-I	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 5,25 Ampere <i>Time dial</i> : 0,5 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1600/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 4,4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,64 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1600/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 4,4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,71 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1600/5

9	RL 150SS1-EE-0011A-F	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,5 Ampere <i>Time dial</i> : 0,5 <i>Instant</i> : 49 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second <i>Rasio CT</i> : 600/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3 Ampere <i>Time dial</i> : 0,79 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 600/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3 Ampere <i>Time dial</i> : 0,87 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 600/5
10	RL 150SS1-EE-0011C-F	<i>Curve Type IEC – Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,65 Ampere <i>Time dial</i> : 1 <i>Instant</i> : 14,6 Ampere <i>Delay</i> : 0,2 Second <i>Rasio CT</i> : 300/5	<i>Curve Type IEC – Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,1 Ampere <i>Time dial</i> : 0,67 <i>Instant</i> : 54,2 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second <i>Rasio CT</i> : 300/5	<i>Curve Type IEC – Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 3,1 Ampere <i>Time dial</i> : 0,69 <i>Instant</i> : 88,85 Ampere <i>Delay</i> : 0,05 Second <i>Rasio CT</i> : 300/5
11	RL 150SS1-EE-0101A-I	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 5,15 Ampere <i>Time dial</i> : 0,6 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 2000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,2 Ampere <i>Time dial</i> : 0,42 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 2000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,2 Ampere <i>Time dial</i> : 0,45 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 2000/5
12	RL 150SS1-EE-0101A-F	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 6,2 Ampere <i>Time dial</i> : 0,7 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 2000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,2 Ampere <i>Time dial</i> : 0,54 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 2000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 2,2 Ampere <i>Time dial</i> : 0,58 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - <i>Rasio CT</i> : 2000/5

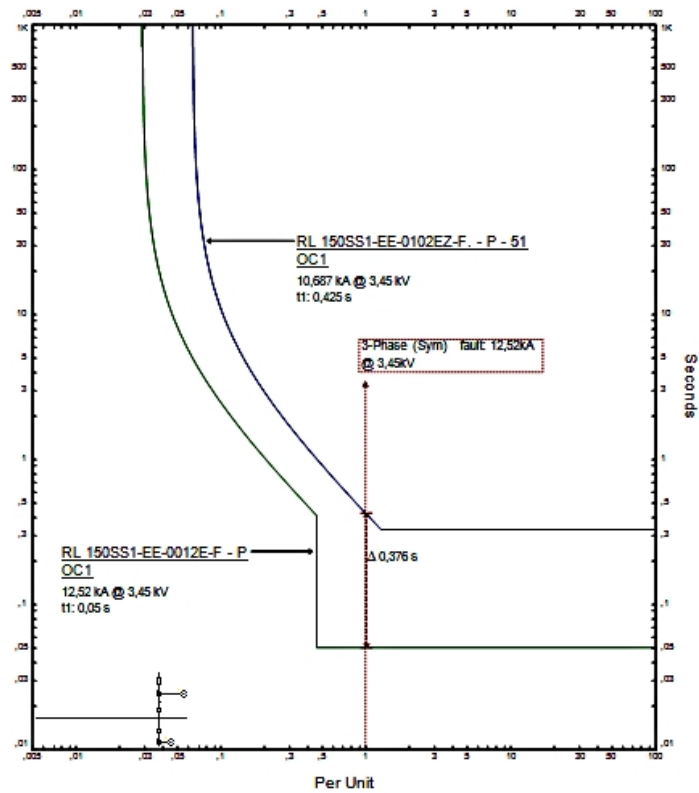
13	RL 150SS1-EE-0101C-I	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 6,2 Ampere <i>Time dial</i> : 0,5 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 4,4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,67 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 4,4 Ampere <i>Time dial</i> : 0,71 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1000/5
14	RL 152-G-501A	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 1,24 Ampere <i>Time dial</i> : 1 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 0,9 Ampere <i>Time dial</i> : 0,78 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1000/5	<i>Curve Type IEC - Very Inverse</i> <i>Pick Up</i> : 0,9 Ampere <i>Time dial</i> : 0,82 <i>Instant</i> : - <i>Delay</i> : - Rasio CT : 1000/5

4.4.1 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 1

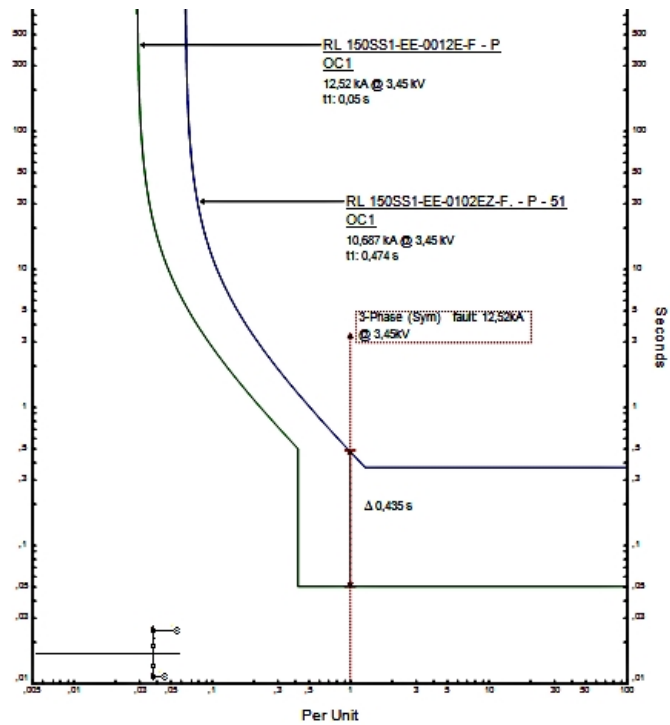
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 1 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.84, gambar 4.85, dan gambar 4.86.



Gambar 4. 84 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 85 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual

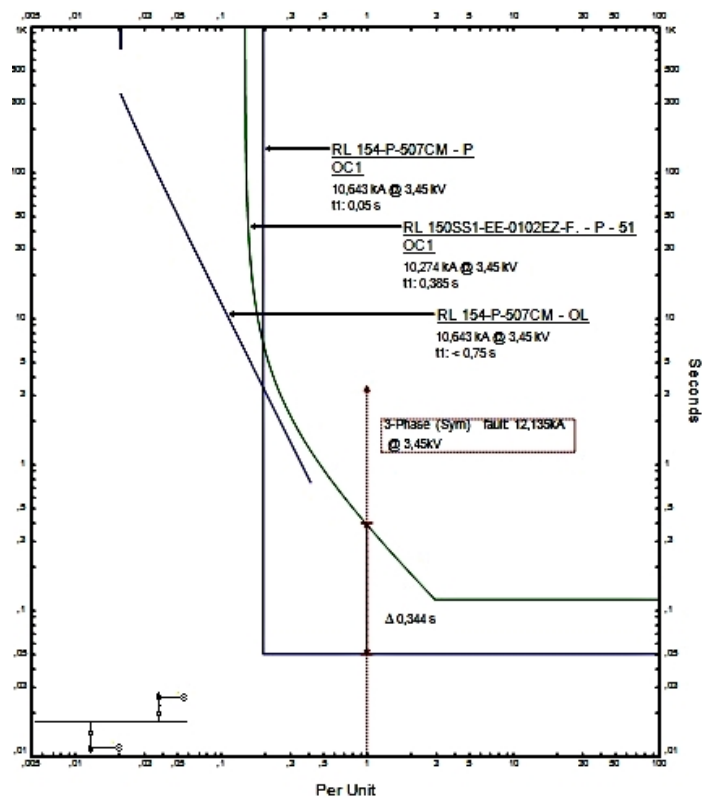


Gambar 4. 86 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

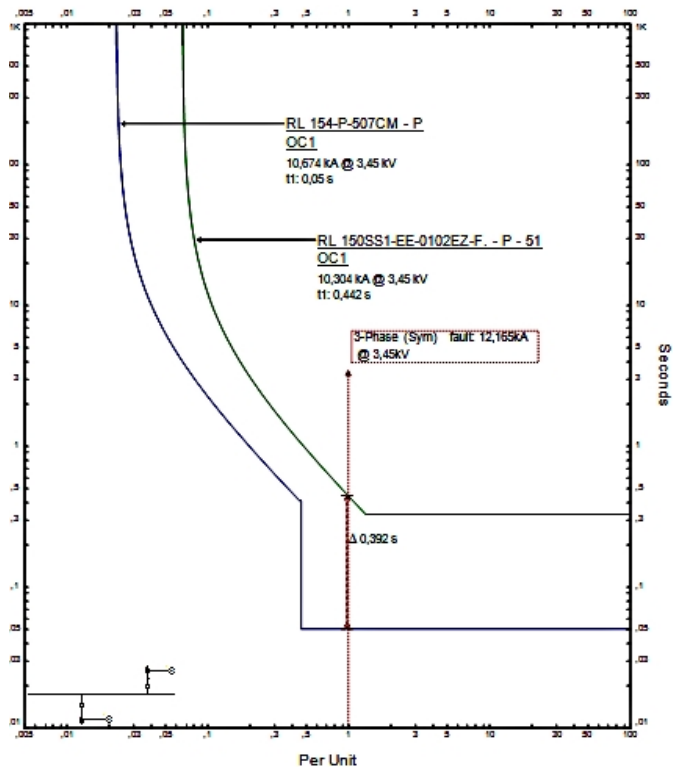
Dari grafik TCC yang ditunjukkan oleh gambar 4.84, gambar 4.85, dan gambar 4.86 dapat dijelaskan bahwa ketiga settingan koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari grafik TCC ketiga gambar tersebut bahwa grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F terletak di atas grafik RL 150SS1-EE-0012E-F, sehingga grafik arus hubung singkat memotong grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F dan grafik RL 150SS1-EE-0012E-F secara berurutan. Perbedaan yang ada pada ketiga gambar grafik adalah pada *margin time* antara relai utama dan relai candangannya. Pada gambar 4.84 grafik TCC setting di lapangan menunjukkan *margin time* antar relai sebesar 0,32 detik, pada gambar 4.85 grafik TCC *Resetting* Perhitungan Manual menunjukkan *margin time* antar relai sebesar 0,376 detik, dan pada gambar 4.86 grafik TCC *Resetting* Data Hasil Simulasi ETAP menunjukkan *margin time* antar relai sebesar 0,435 detik. Berdasarkan ketiga *margin time* dari setiap settingan koordinasi proteksi menunjukkan bahwa *margin time* sudah sesuai dengan standar *margin time* dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik.

4.4.2 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 2

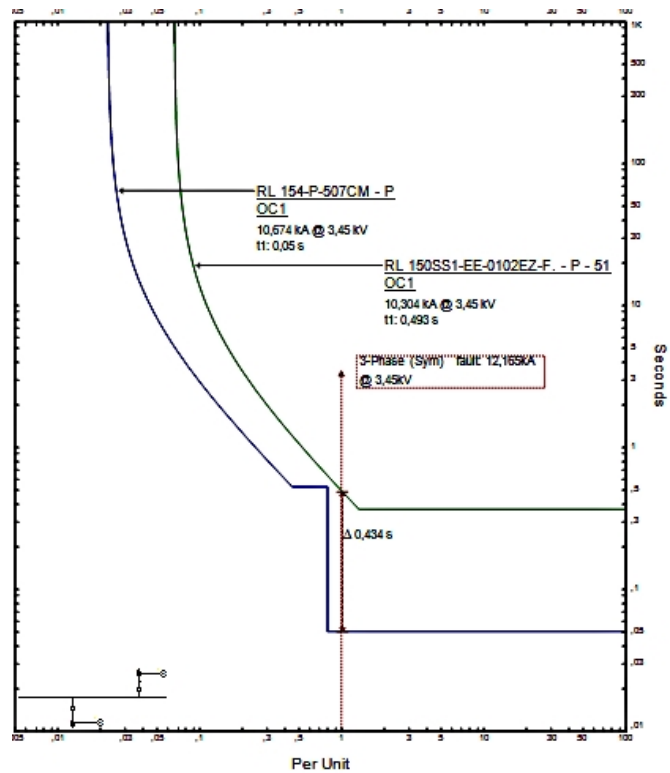
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 2 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.87, gambar 4.88, dan gambar 4.89.



Gambar 4. 87 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 88 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual

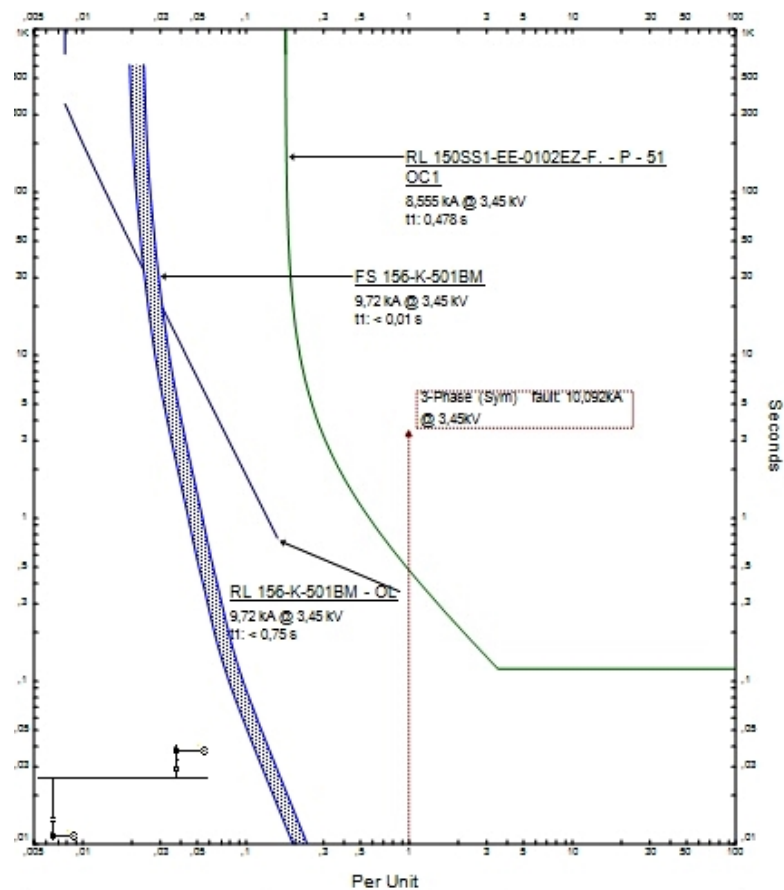


Gambar 4. 89 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

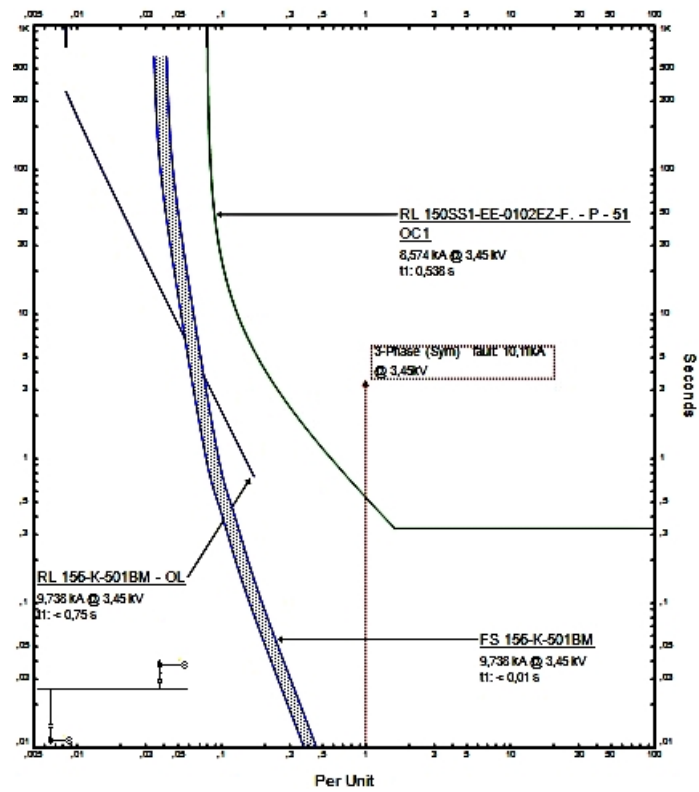
Gambar 4.87 Grafik TCC setting koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang dilapangan menunjukkan tiga buah grafik relai, yaitu grafik relai RL 154-P-507CM *overload*, grafik relai RL 154-P-507CM *overcurrent*, dan grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F. Dari gambar 4.87 dapat dijelaskan bahwa koordinasi zona proteksi relai arus lebih yang terpasang dilapangan sudah berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh grafik RL 150SS1-EE-0102EZ-F terletak diatas grafik RL 154-P-507CM *overcurrent*, sehingga grafik arus hubung singkat memotong kedua grafik tersebut secara berurutan dengan *margin time* sebesar 0,344 detik. Sedangkan pada gambar 4.88 dan gambar 4.89 masing-masing menunjukkan grafik *resetting* koordinasi proteksi menggunakan perhitungan manual dan grafik *resetting* koordinasi proteksi menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Gambar 4.88 dan gambar 4.89 berbeda dengan gambar 4.86, karena *resetting* dilakukan dengan mematikan karakteristik *overload* pada relai dan menggantikannya dengan karakteristik *inverse* pada relai. Hal tersebut membuat grafik yang dihasilkan oleh gambar 4.88 dan gambar 4.89 hanya terdiri dari dua buah grafik, yaitu grafik relai RL 154-P-507CM dan grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F. Dari gambar 4.88 dan gambar 4.89 dapat dijelaskan bahwa *resetting* menggunakan perhitungan manual dan *resetting* menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP menunjukkan bahwa koordinasi proteksi relai arus lebih berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh grafik RL 150SS1-EE-0102EZ-F terletak diatas grafik RL 154-P-507CM, sehingga grafik arus hubung singkat memotong kedua grafik tersebut secara berurutan. *Margin time* antara relai utama dan relai cadangan dari grafik koordinasi proteksi menggunakan perhitungan manual dan grafik koordinasi proteksi menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP masing-masing adalah 0,392 detik dan 0,434 detik. Berdasarkan data ketiga *margin time* dari setiap settingan koordinasi proteksi menunjukkan bahwa semua settingan koordinasi telah memiliki *margin time* sesuai dengan standar *margin time* dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik.

4.4.3 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 3

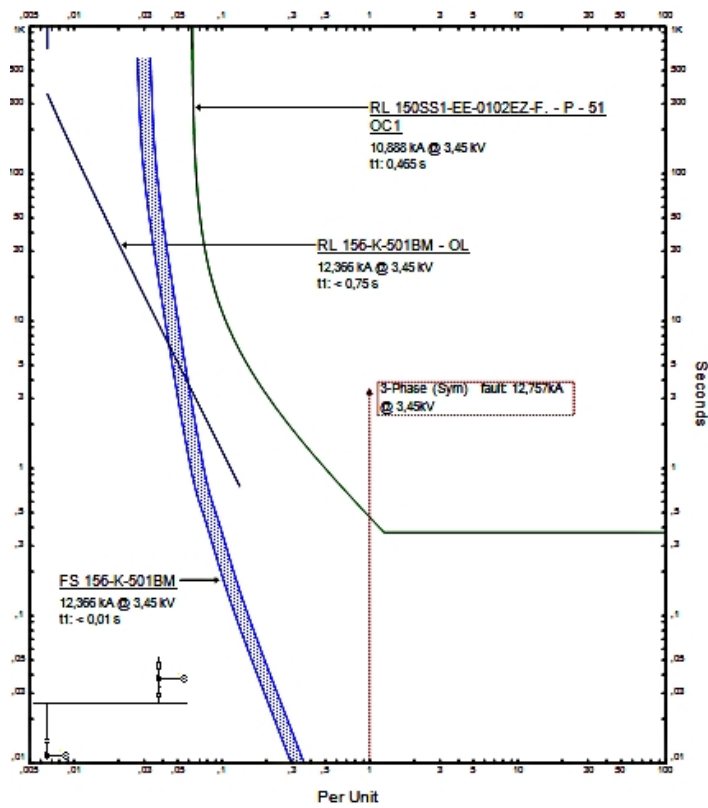
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 3 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.90, gambar 4.91, dan gambar 4.92.



Gambar 4. 90 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 91 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual

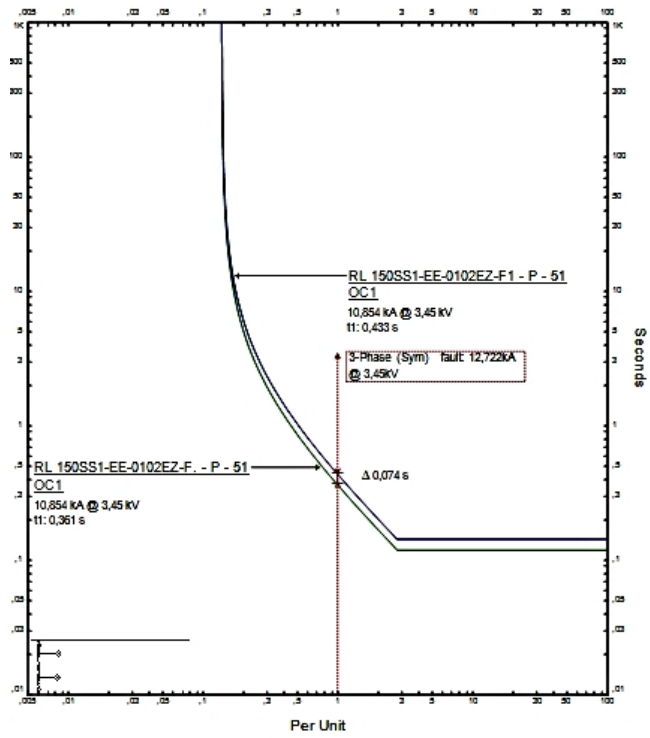


Gambar 4. 92 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

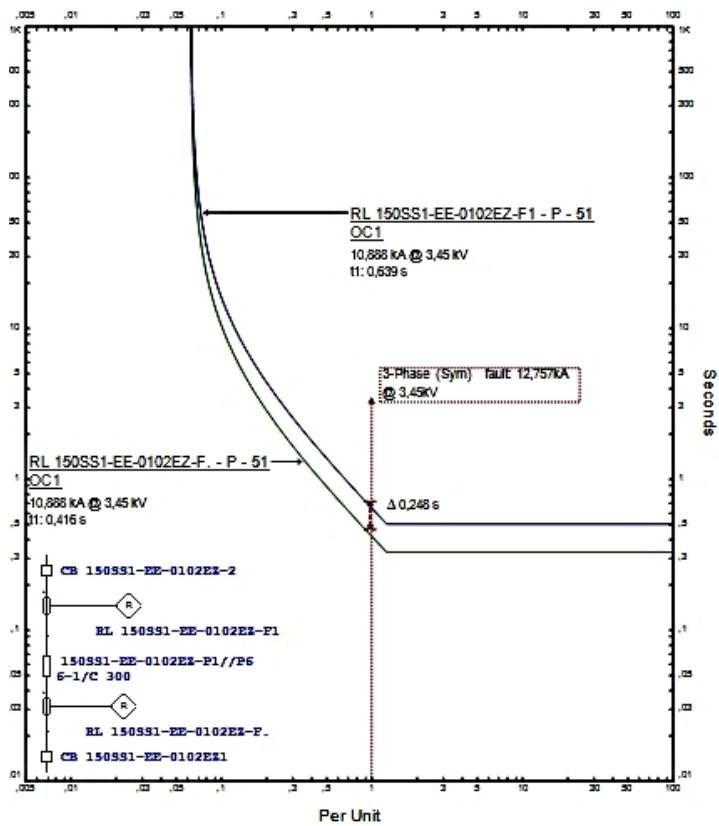
Grafik TCC yang ditunjukkan gambar 4.90, gambar 4.91 dan gambar 4.92 secara keseluruhan memiliki tiga buah grafik, yaitu grafik *fuse* FS 156-K-501BM, grafik relai RL 156-K-501BM *overload*, dan grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F. Pada zona proteksi 3 digunakan karakteristik relai *overload* sebagai pengaman motor di zona proteksi 3 dikarenakan zona proteksi 3 tidak menggunakan *breaker* sebagai alat pemutus tenaga ketika terjadi gangguan, melainkan zona proteksi 3 menggunakan kontaktor. Hal ini dikarenakan kontaktor tidak mampu memutuskan jaringan ketika timbul arus gangguan hubung singkat dengan nominal besar. Oleh sebab itu kontaktor hanya berfungsi sebagai pengaman zona proteksi 3 untuk gangguan *overload*, sedangkan untuk gangguan hubung singkat digunakan *fuse* sebagai pengaman zona proteksi ini. Pada gambar 4.90 grafik TCC setting di lapangan menunjukkan *margin time* antara fuse dan relai sebesar 0,478 detik, pada gambar 4.91 grafik TCC *resetting* perhitungan manual menunjukkan *margin time* antar relai sebesar 0,538 detik, dan pada gambar 4.92 grafik TCC *Resetting* Data hasil simulasi ETAP menunjukkan *margin time* antara fuse dan relai sebesar 0,465 detik. Berdasarkan ketiga *margin time* dari setiap settingan koordinasi proteksi menunjukkan bahwa *margin time* sudah sesuai dengan standar *margin time* dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik.

4.4.4 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 4

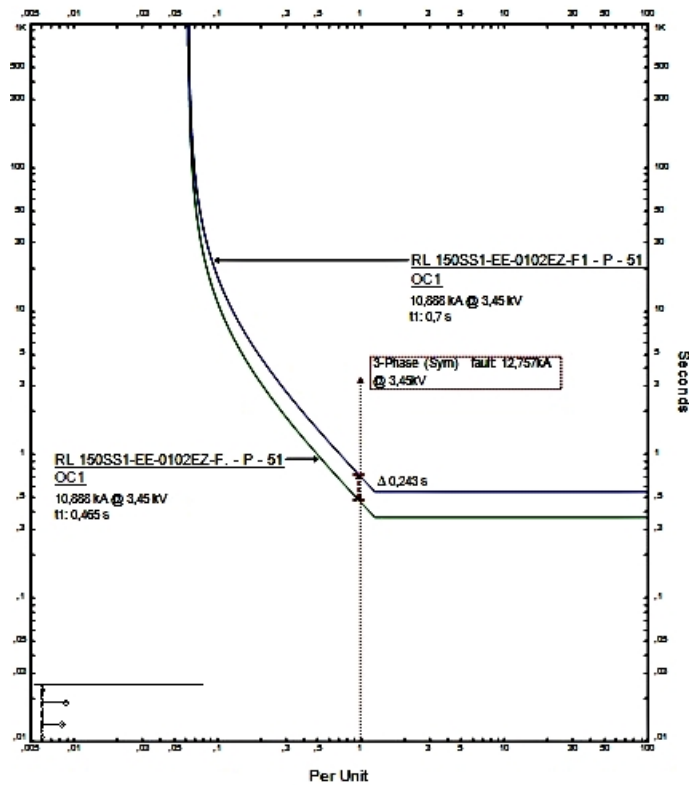
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 4 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.93, gambar 4.94, dan gambar 4.95.



Gambar 4. 93 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 94 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



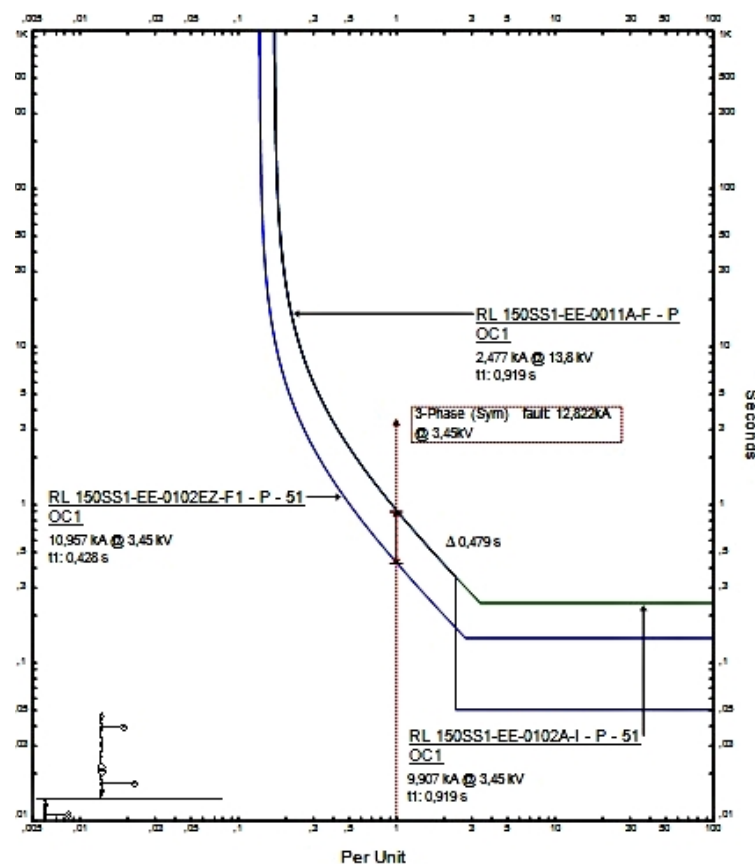
Gambar 4. 95 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

Dari grafik TCC yang ditunjukkan oleh gambar 4.93, gambar 4.94, dan gambar 4.95 terlihat bahwa seolah-olah ketiga settingan koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari grafik TCC ketiga gambar tersebut bahwa grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 terletak di atas grafik RL 150SS1-EE-0102EZ-F, sehingga grafik arus hubung singkat memotong grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 dan grafik RL 150SS1-EE-0102EZ-F secara berurutan. Tetapi jika dilakukan analisis terhadap *margin time* antar relai, maka settingan koordinasi relai arus lebih yang terpasang di lapangan tidak memenuhi standar koordinasi proteksi. Hal ini dikarenakan *margin time* antar relai pada settingan koordinasi proteksi yang terpasang di lapangan hanya sebesar 0,074 detik. *Margin time* dengan nominal 0,074 detik menyebabkan relai cadangan bekerja sebelum relai utama menyelesaikan tugasnya dalam memerintahkan *circuit breaker* utama untuk *trip*. Sedangkan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP memiliki *margin time* antar relai utama dan relai

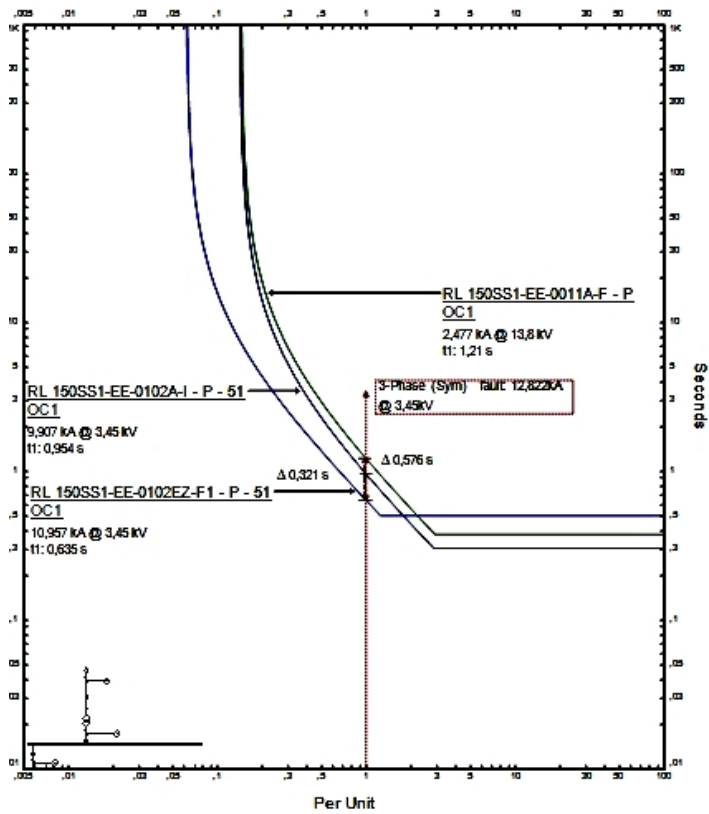
cadangan masing-masing sebesar 0,248 detik dan 0,243 detik. *Margin time resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan menggunakan data arus hubung singkat sudah sesuai dengan standar *margin time* dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik.

4.4.5 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 5

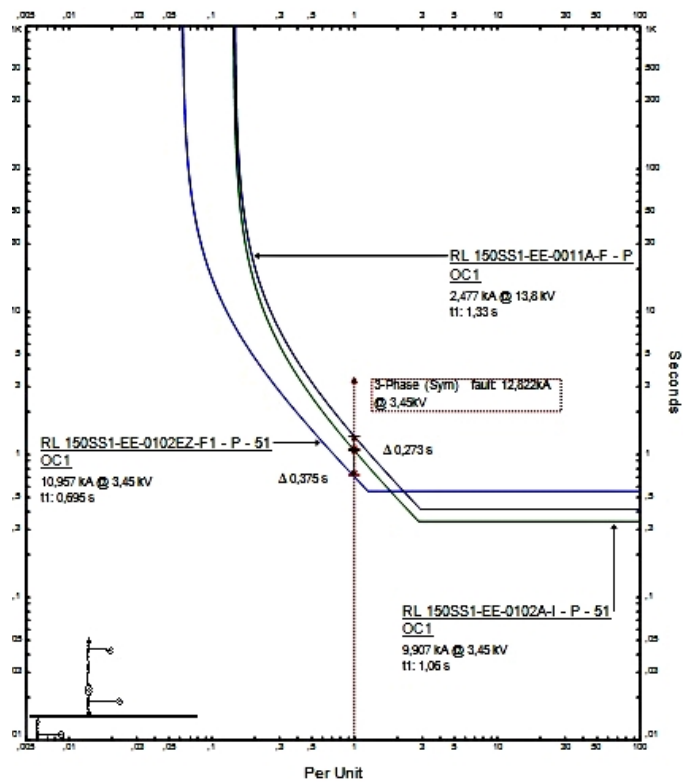
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 5 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.96, gambar 4.97, dan gambar 4.98.



Gambar 4. 96 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 97 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 98 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

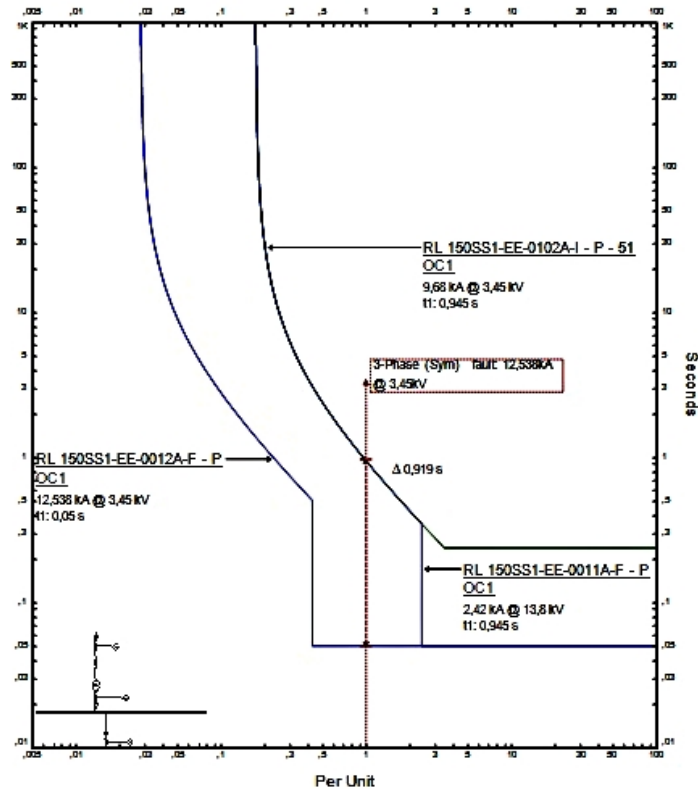
Pada gambar 4.96 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai 150SS1-EE-0011A-F yang berada diluar zona proteksi 5 ikut bekerja ketika zona proteksi 5 mengalami gangguan hubung singkat. Berdasarkan grafik TCC pada gambar 4.96 terdapat tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1, grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Dari gambar 4.96 dapat diamati bahwa relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F bekerja diwaktu yang sama, yaitu kedua relai sama-sama bekerja pada waktu 0,919 detik setelah kedua relai tersebut mendeteksi adanya gangguan hubung singkat atau 0,479 detik setelah relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 gagal bekerja untuk memberikan isyarat kepada *circuit breaker* utama. Sehingga hal ini membuat grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F sejajar dan membuat kedua relai tersebut bekerja secara bersamaan untuk memberikan isyarat kepada *circuit breaker* melakukan *trip* setelah relai utama yaitu relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 mengalami gagal kerja.

Gambar 4.97 dan gambar 4.98 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Pada kedua gambar tersebut terdapat tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1, grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Dari kedua gambar tersebut dapat diamati bahwa ketiga buah grafik memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual yang ditunjukkan oleh gambar 4.97 dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102EZ-F1 dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I sebesar 0,321 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F sebesar 0,576 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP yang ditunjukkan oleh gambar 4.98 dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL

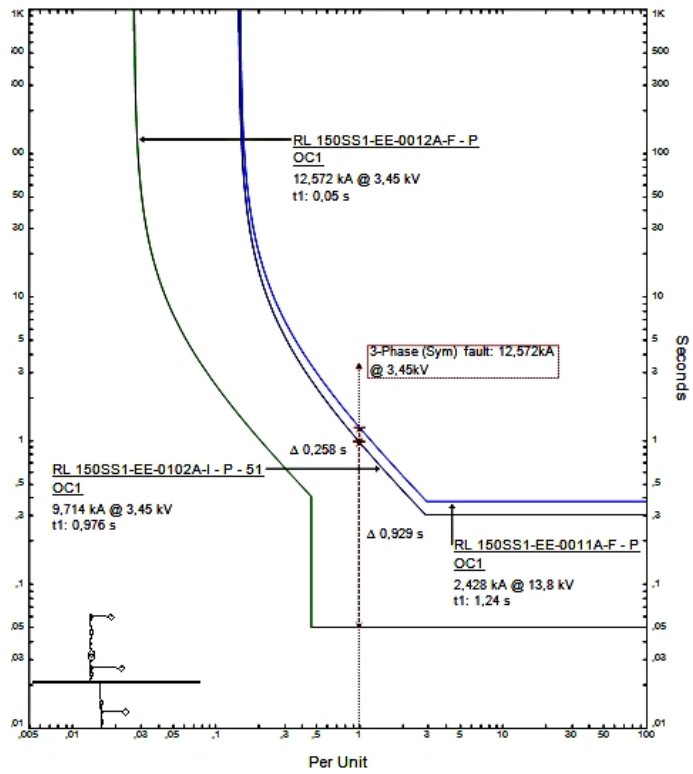
150SS1-EE-0102EZ-F1 dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I sebesar 0,375 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F sebesar 0,273 detik. Oleh sebab itu, *resetting* koordinasi menggunakan perhitungan manual dan *resetting* koordinasi menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP sudah memenuhi standar koordinasi proteksi relai arus lebih.

4.4.6 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 6

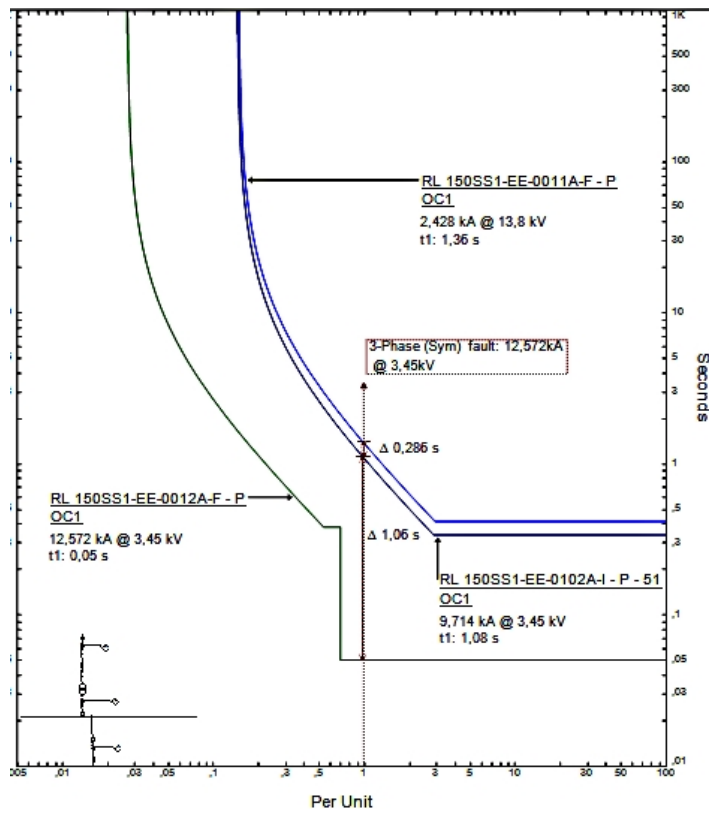
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 6 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.99, gambar 4.100, dan gambar 4.101.



Gambar 4. 99 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 100 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 101 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

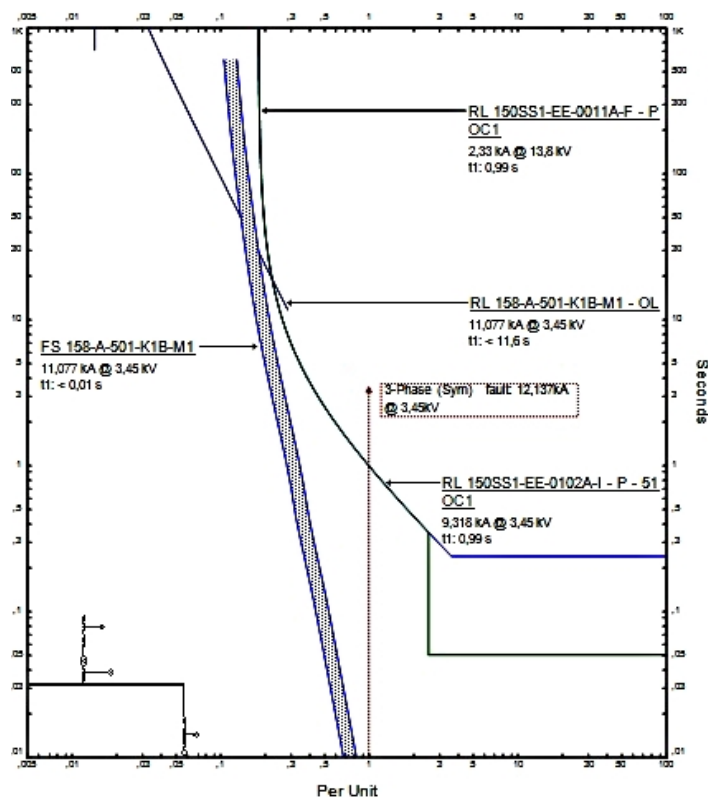
Pada gambar 4.99 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai 150SS1-EE-0011A-F yang berada diluar zona proteksi 6 ikut bekerja ketika zona proteksi 6 mengalami gangguan hubung singkat. Berdasarkan grafik TCC pada gambar 4.99 terdapat tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0012A-F, grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Dari gambar 4.99 dapat diamati bahwa relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F bekerja diwaktu yang sama, yaitu kedua relai sama-sama bekerja pada waktu 0,945 detik setelah kedua relai tersebut mendeteksi adanya gangguan hubung singkat atau 0,919 detik setelah relai RL 150SS1-EE-0012A-F gagal bekerja untuk memberikan isyarat kepada *circuit breaker* utama. Sehingga hal ini membuat grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F sejajar dan membuat kedua relai tersebut bekerja secara bersamaan untuk memberikan isyarat kepada *circuit breaker* melakukan *trip* setelah relai utama yaitu relai RL 150SS1-EE-0012A-F mengalami gagal kerja.

Gambar 4.100 dan gambar 4.101 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Pada kedua gambar tersebut terdapat tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0012A-F, grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Dari kedua gambar tersebut dapat diamati bahwa ketiga buah grafik memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual yang ditunjukkan oleh gambar 4.100 dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0012A-F dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I sebesar 0,929 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F sebesar 0,28 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP yang ditunjukkan oleh gambar 4.101 dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL

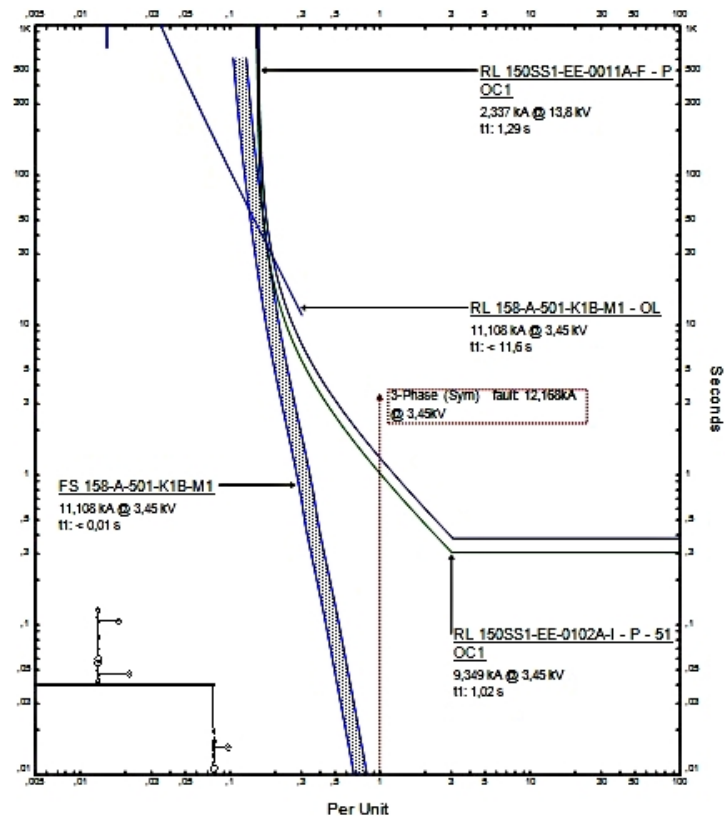
150SS1-EE-0012A-F dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I sebesar 1,06 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F sebesar 0,286 detik. Oleh sebab itu, *resetting* koordinasi menggunakan perhitungan manual dan *resetting* koordinasi menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP sudah memenuhi standar koordinasi proteksi relai arus lebih.

4.4.7 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 7

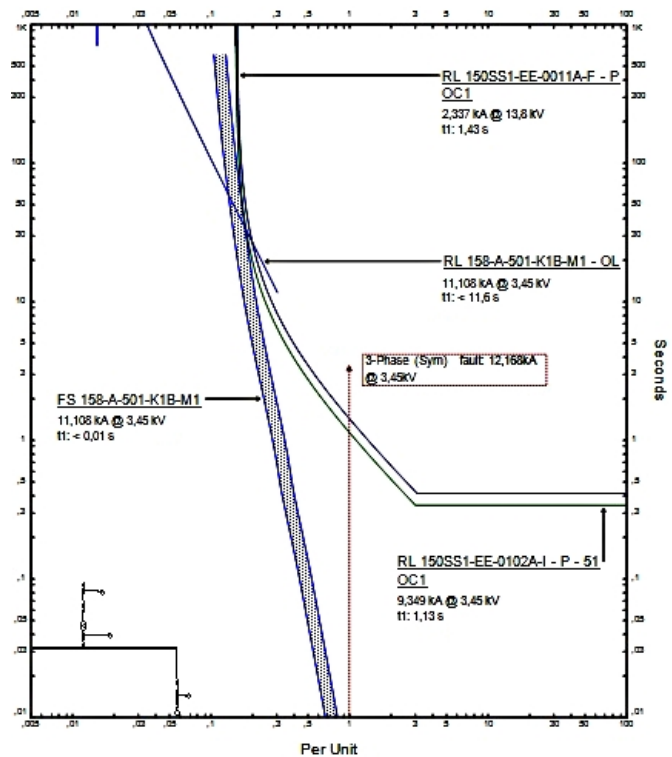
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 7 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.102, gambar 4.103, dan gambar 4.104.



Gambar 4. 102 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 103 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 104 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

Grafik TCC yang ditunjukkan gambar 4.102, gambar 4.103 dan gambar 4.104 secara keseluruhan memunjukkan empat buah grafik, yaitu grafik *fuse* FS 158-A-501-K1B-M, grafik relai 158-A-501-K1B-M *overload*, grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Pada zona proteksi 7 digunakan karakteristik relai *overload* sebagai pengaman motor dikarenakan zona proteksi 7 tidak menggunakan *breaker* sebagai alat pemutus tenaga ketika terjadi gangguan, melainkan zona proteksi 7 menggunakan kontaktor. Hal ini dikarenakan kontaktor tidak mampu memutuskan jaringan ketika timbul arus gangguan hubung singkat dengan nominal besar. Oleh sebab itu kontaktor hanya berfungsi sebagai pengaman zona proteksi 7 untuk gangguan *overload*, sedangkan untuk gangguan hubung singkat digunakan *fuse* sebagai pengaman zona proteksi ini.

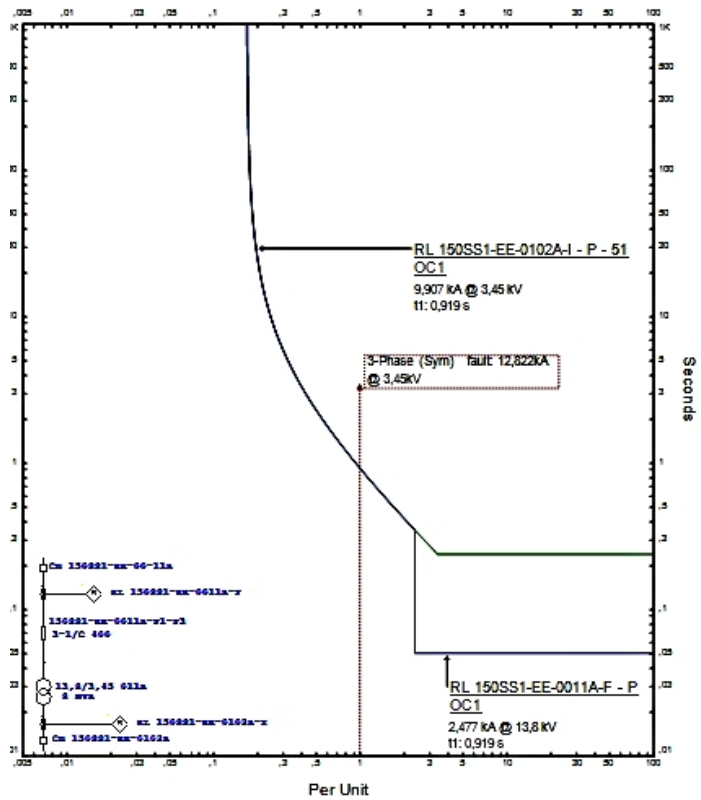
Pada gambar 4.102 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai 150SS1-EE-0011A-F yang berada diluar zona proteksi 7 ikut bekerja ketika zona proteksi 7 mengalami gangguan hubung singkat. Berdasarkan grafik TCC pada gambar 4.102 terdapat tiga buah grafik yang menangani gangguan hubung singkat, ketiga grafik itu adalah grafik *fuse* FS 158-A-501-K1B-M, grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Dari gambar 4.102 dapat diamati bahwa relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F bekerja diwaktu yang sama, yaitu kedua relai sama-sama bekerja pada waktu 0,99 detik setelah kedua relai tersebut mendeteksi adanya gangguan hubung singkat atau 0,99 detik setelah *fuse* FS 158-A-501-K1B-M mengalami gagal kerja dalam memutus komponen leburnya. Sehingga hal ini membuat grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F sejajar dan membuat kedua relai tersebut bekerja secara bersamaan untuk memberikan isyarat kepada *circuit breaker* melakukan *trip* setelah pengaman utama yaitu *fuse* FS 158-A-501-K1B-M mengalami gagal kerja.

Gambar 4.103 dan gambar 4.104 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Dari kedua gambar tersebut

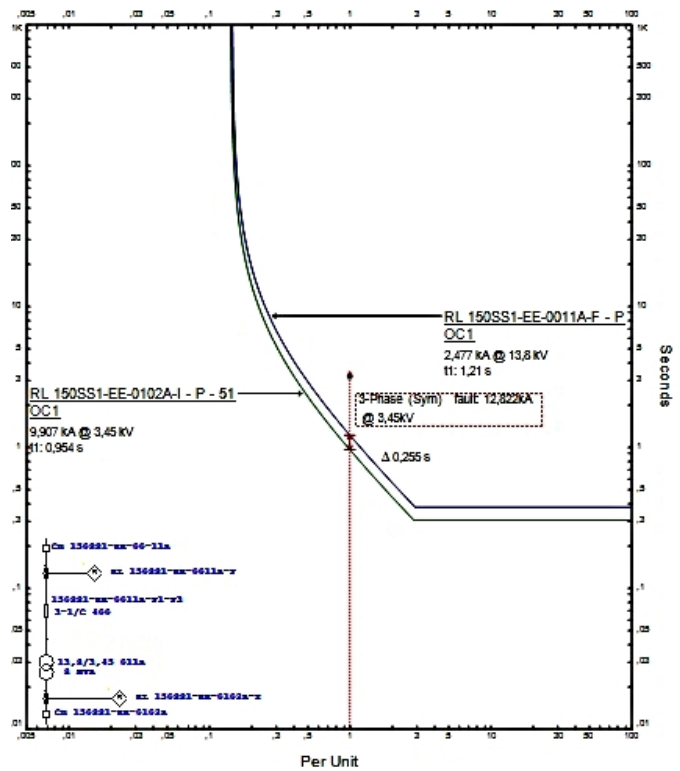
dapat diamati bahwa ketiga buah grafik yang menangani gangguan hubung singkat memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual yang ditunjukkan oleh gambar 4.103 dapat diamati bahwa *margin time* antara *fuse* FS 158-A-501-K1B-M dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I sebesar 1,02 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F sebesar 0,27 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP yang ditunjukkan oleh gambar 4.104 dapat diamati bahwa *margin time* antara *fuse* FS 158-A-501-K1B-M dan relai RL 150SS1-EE-0102A-I sebesar 1,13 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan relai RL 150SS1-EE-011A-F sebesar 0,3 detik. Oleh sebab itu, *resetting* koordinasi menggunakan perhitungan manual dan *resetting* koordinasi menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP sudah memenuhi standar koordinasi proteksi relai arus lebih.

4.4.8 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 8

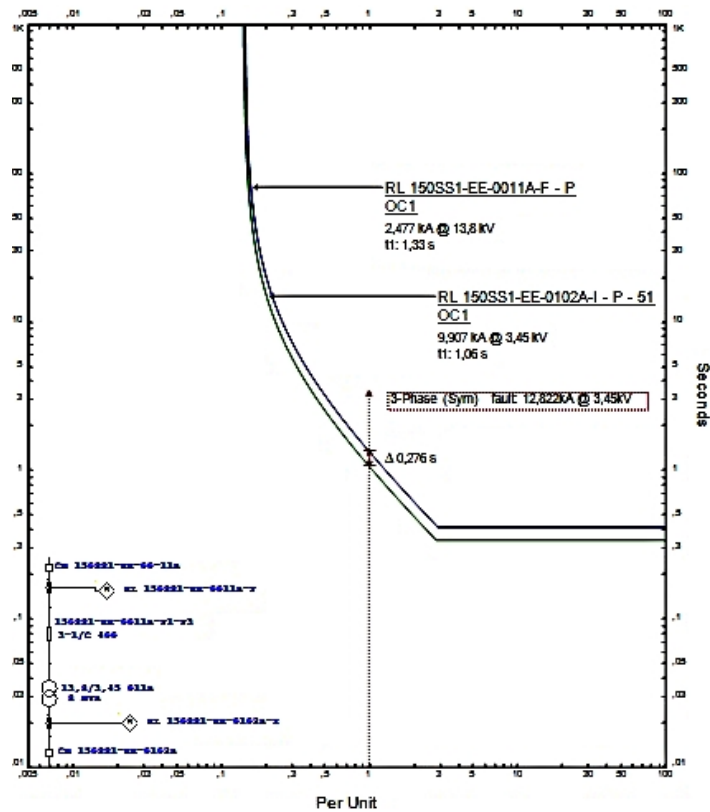
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 8 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.105, gambar 4.106, dan gambar 4.107.



Gambar 4. 105 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 106 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 107 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

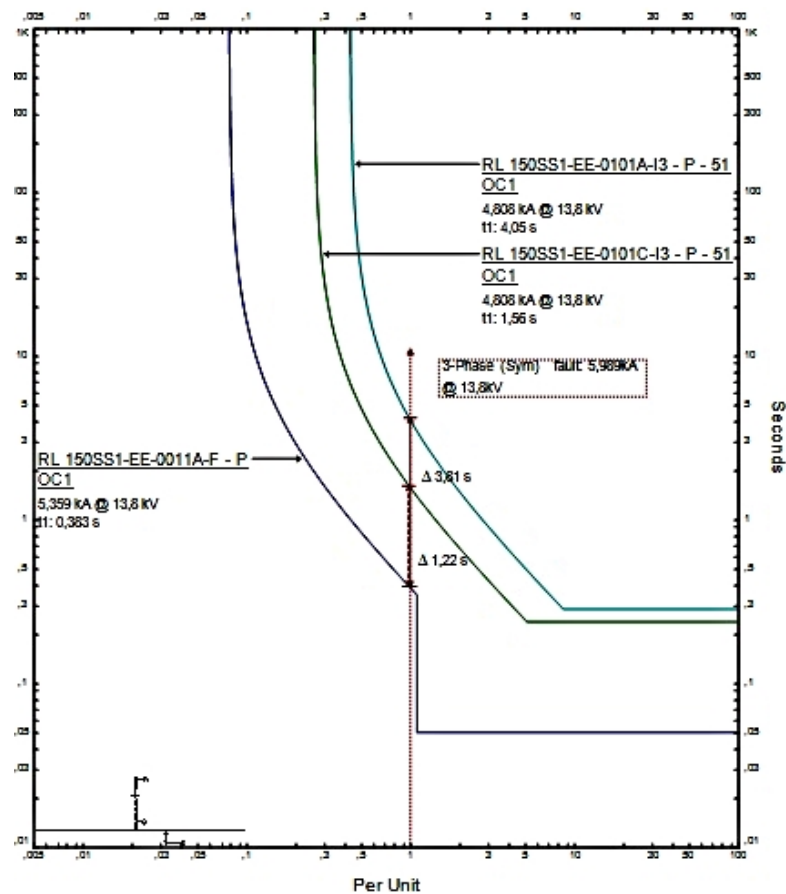
Gambar 4.105, gambar 4.106, dan gambar 4.107 memiliki dua buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0102A-I dan grafik relai RL 150SS1-EE-011A-F. Pada gambar 4.105 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang di lapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi, hal ini dikarenakan kedua grafik relai sejajar, sehingga grafik arus hubung singkat memotong kedua grafik tersebut secara bersamaan. Jika grafik arus hubung singkat memotong kedua grafik secara bersamaan, maka relai utama dan relai cadangan akan bekerja untuk memberikan isyarat kepada circuit breaker melakukan *trip* diwaktu yang sama. Oleh karena itu settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan belum berjalan dengan baik.

Sedangkan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP yang masing-masing ditunjukkan oleh gambar 4.106 dan gambar 4.107 memiliki *margin time* antara relai utama dan relai cadangan masing-masing

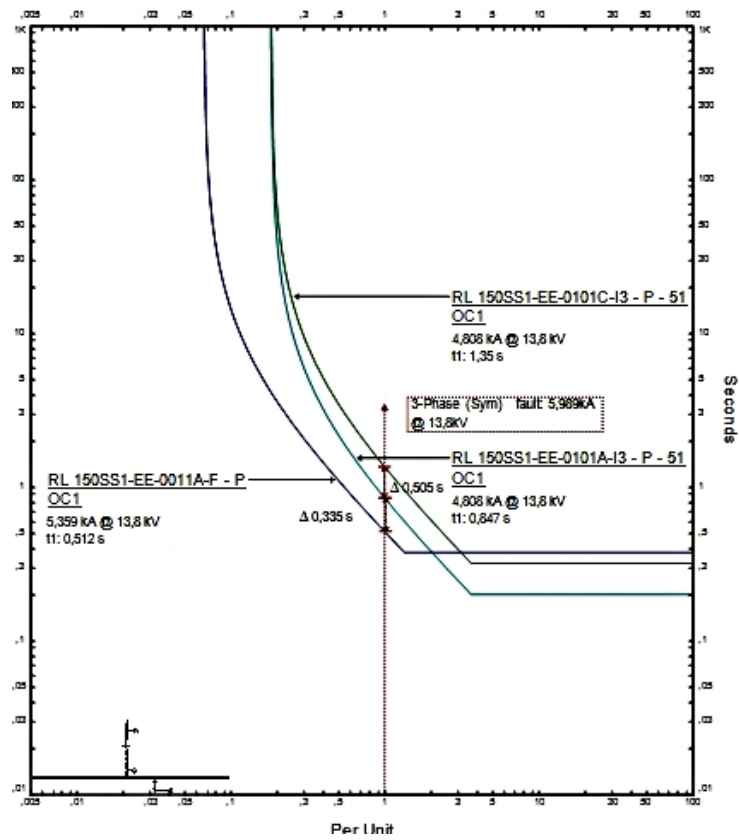
sebesar 0,255 detik dan 0,276 detik. *Margin time resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan menggunakan data arus hubung singkat sudah sesuai dengan standar *margin time* dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik.

4.4.9 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 9

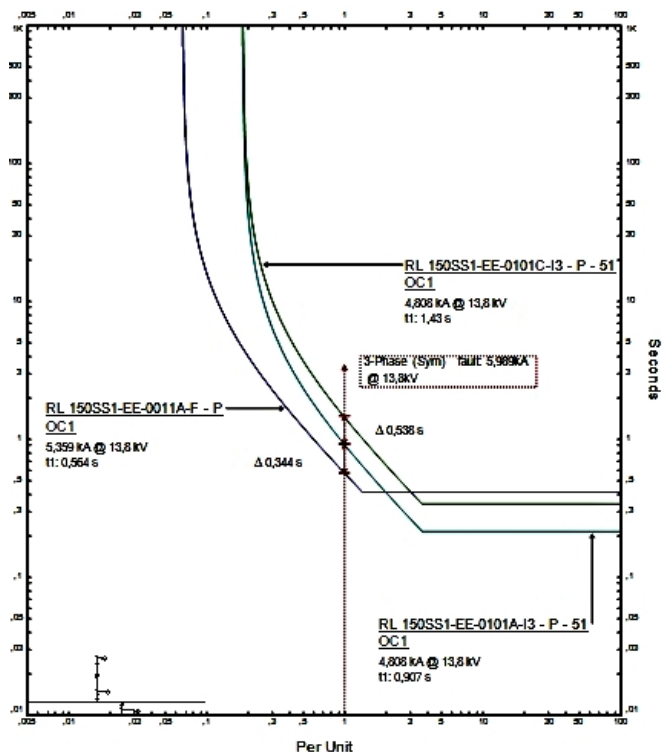
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 9 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, resetting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan resetting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi software ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.108, gambar 4.109, dan gambar 4.110.



Gambar 4. 108 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 109 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



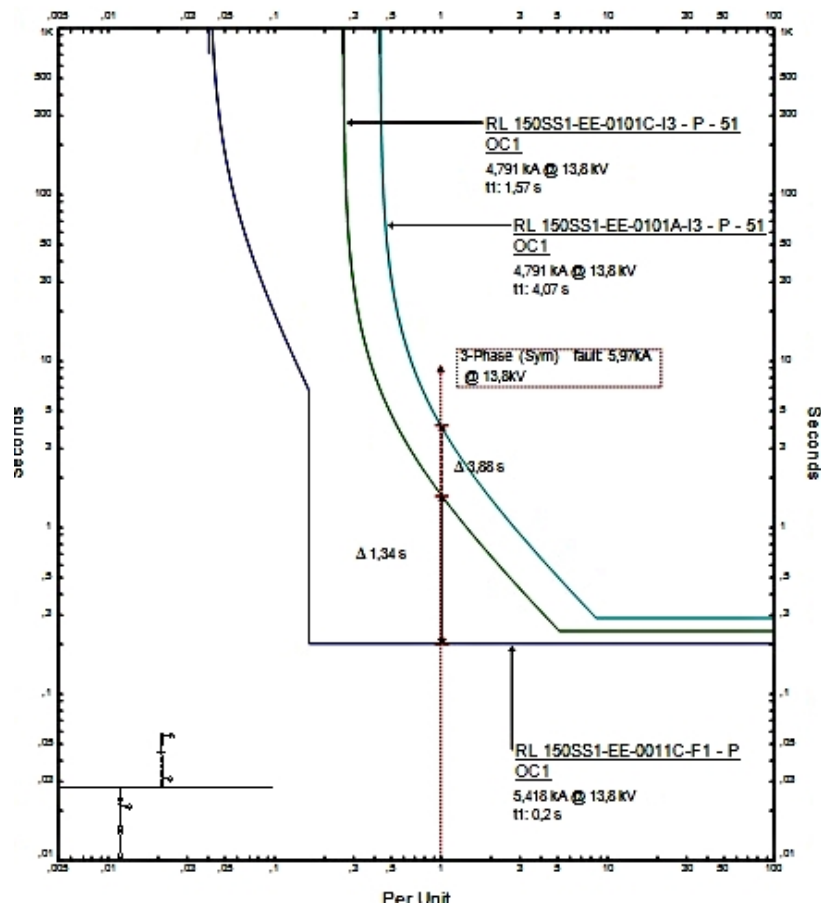
Gambar 4. 110 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

Pada gambar 4.108 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai RL 150SS1-EE-0101C-I yang berada diluar zona proteksi 9 ikut bekerja ketika zona proteksi 9 mengalami gangguan hubung singkat. Grafik TCC pada gambar 4.108 menunjukkan tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0011A-F, grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I. Dari gambar 4.108 dapat diamati bahwa grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I terletak diatas grafik relai RL 150SS1-EE-0011A-F dan dibawah grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I. Jika relai utama yaitu relai RL 150SS1-EE-0011A-F gagal bekerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101C-I bekerja sebagai relai cadangan. Hal ini menyebabkan syarat selektif dari koordinasi proteksi relai tidak terpenuhi, karena relai RL 150SS1-EE-0101C-I terletak di luar zona proteksi 9.

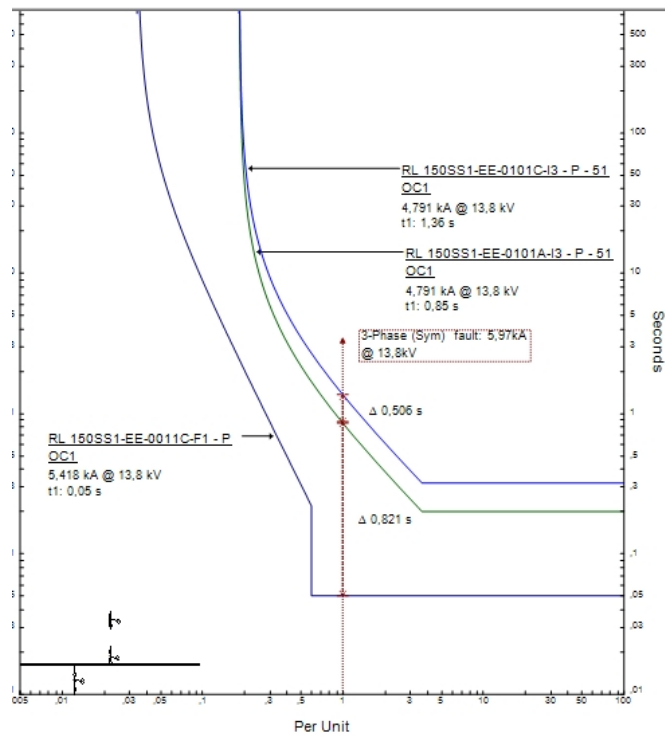
Gambar 4.109 dan gambar 4.110 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Dari kedua gambar tersebut dapat diamati bahwa koordinasi proteksi sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I yang berada diluar zona proteksi 9 terletak diatas grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I. Sehingga jika relai RL 150SS1-EE-0011A-F mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101A-I akan bekerja sebagai relai cadangan. Selain itu ketiga grafik memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0011A-F dan relai RL 150SS1-EE-0101A-I sebesar 0,335 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan relai RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,505 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0011A-F dan relai RL 150SS1-EE-0101A-I sebesar 0,344 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan relai RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,538 detik.

4.4.10 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 10

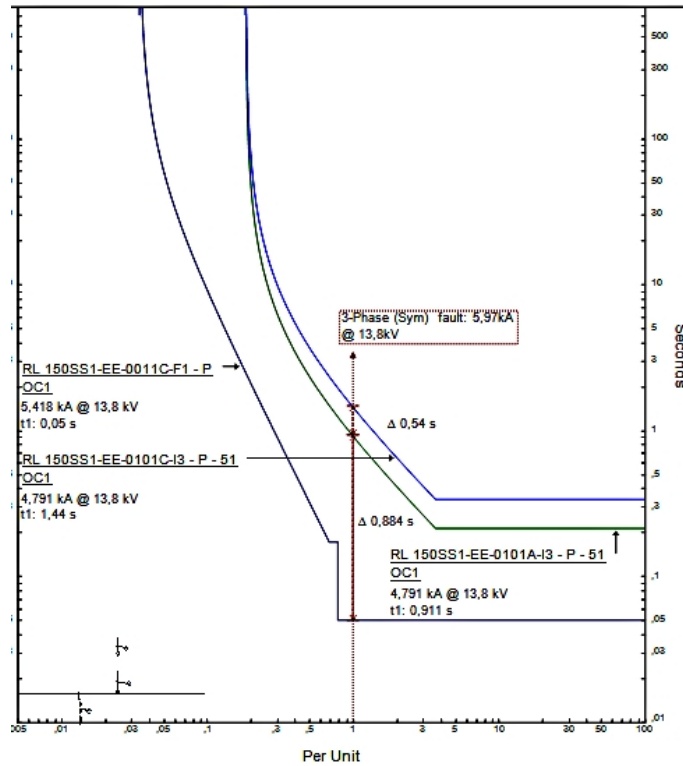
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 10 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, resetting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan resetting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi software ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.110, gambar 4.111, dan gambar 4.112.



Gambar 4. 111 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 112 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 113 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

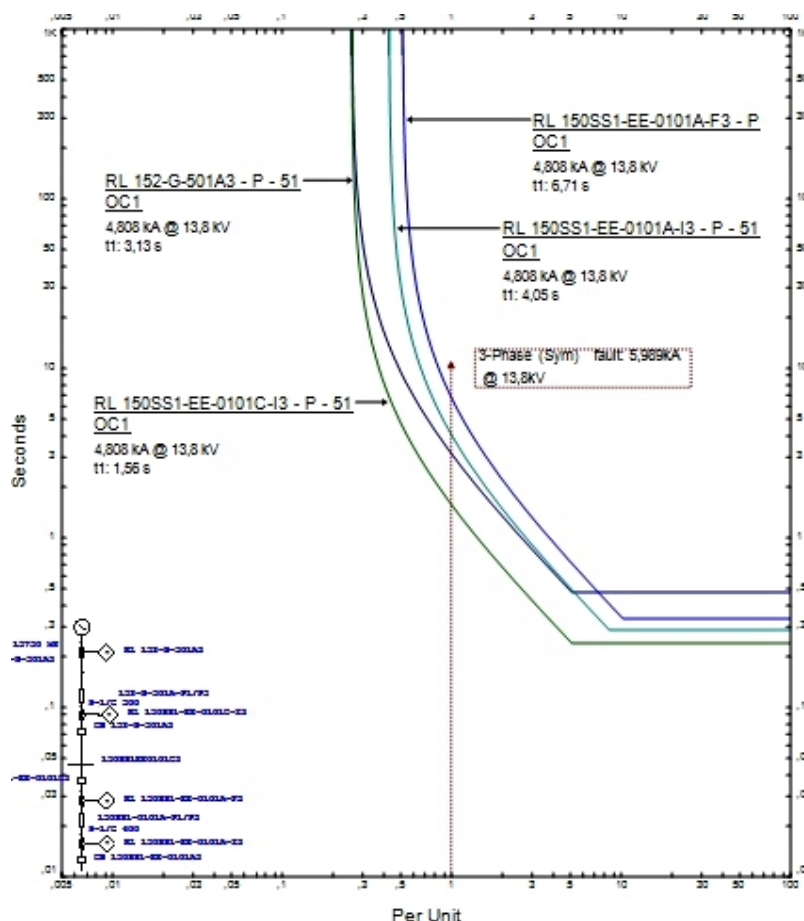
Pada gambar 4.111 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai RL 150SS1-EE-0101C-I yang berada diluar zona proteksi 10 ikut bekerja ketika zona proteksi 10 mengalami gangguan hubung singkat. Grafik TCC pada gambar 4.111 menunjukkan tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0011C-F, grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I, dan grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I. Dari gambar 4.111 dapat diamati bahwa grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I terletak diatas grafik relai RL 150SS1-EE-0011C-F dan dibawah grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I. Jika relai utama yaitu relai RL 150SS1-EE-0011A-F gagal bekerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101C-I bekerja sebagai relai cadangan. Hal ini menyebabkan syarat selektif dari koordinasi proteksi relai tidak terpenuhi, karena relai RL 150SS1-EE-0101C-I terletak di luar zona proteksi 10.

Gambar 4.112 dan gambar 4.113 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Dari kedua gambar tersebut dapat diamati bahwa koordinasi proteksi sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I yang berada diluar zona proteksi 10 terletak diatas grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I. Sehingga jika relai RL 150SS1-EE-0011C-F mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101A-I akan bekerja sebagai relai cadangan. Selain itu ketiga grafik memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0011C-F dan relai RL 150SS1-EE-0101A-I sebesar 0,911 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan relai RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,54 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0011C-F dan

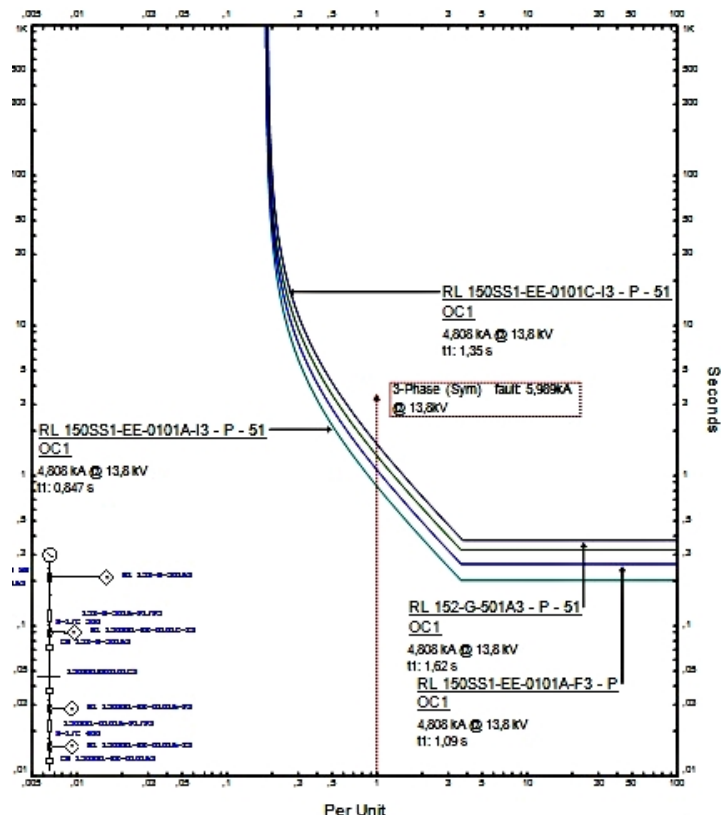
relai RL 150SS1-EE-0101A-I sebesar 0,863 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan relai RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,527 detik.

4.4.11 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 11

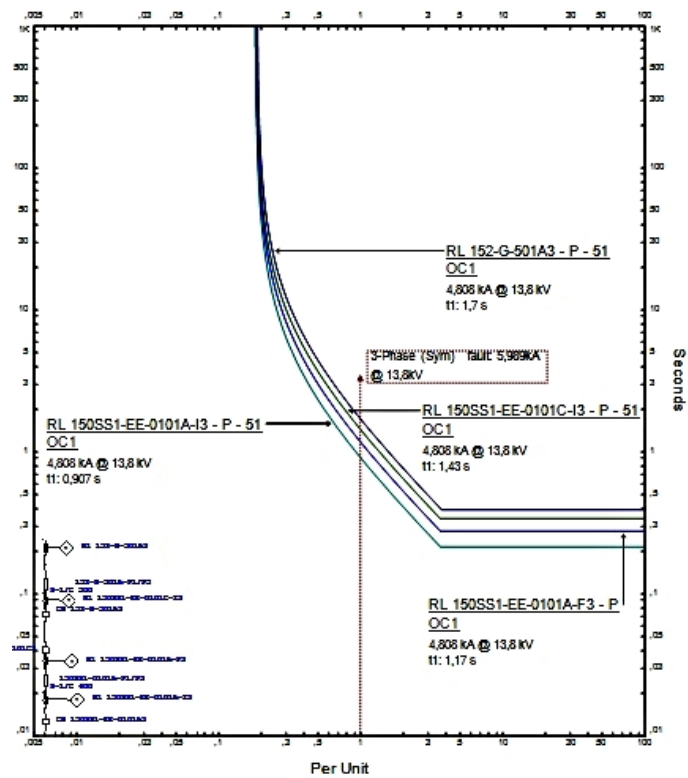
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 11 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, reseting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan reseting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi software ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.113, gambar 4.114, dan gambar 4.115.



Gambar 4. 114 Grafik TCC Setting di Lapangan



Gambar 4. 115 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 116 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

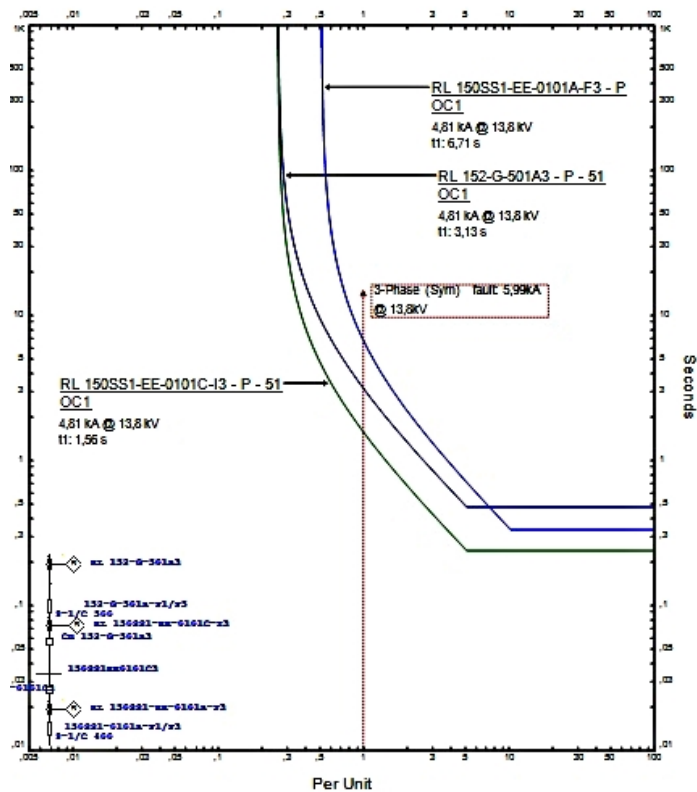
Pada gambar 4.114 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501 yang berada diluar zona proteksi 11 ikut bekerja ketika zona proteksi 11 mengalami gangguan hubung singkat. Grafik TCC pada gambar 4.114 menunjukkan empat buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I, grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-F, grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan grafik relai RL 152-G-501. Dari gambar 4.114 dapat diamati bahwa grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan grafik relai RL 152-G-501 terletak bawah grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-F. Jika terjadi arus gangguan hubung singkat, maka relai yang bekerja adalah relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501. Hal ini menyebabkan syarat selektif dari koordinasi proteksi relai tidak terpenuhi, karena relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501 terletak di luar zona proteksi 11.

Gambar 4.115 dan gambar 4.116 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Dari kedua gambar tersebut dapat diamati bahwa koordinasi proteksi sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan relai RL 152-G-501 yang berada diluar zona proteksi 11 terletak diatas grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan relai RL 150SS1-EE-0101A-F. Sehingga jika relai RL 150SS1-EE-0101A-I mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101A-F akan bekerja sebagai relai cadangan. Selain itu keempat grafik memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan RL 150SS1-EE-0101A-F sebesar 0,243 detik, *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-F dan RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,26 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101C-I

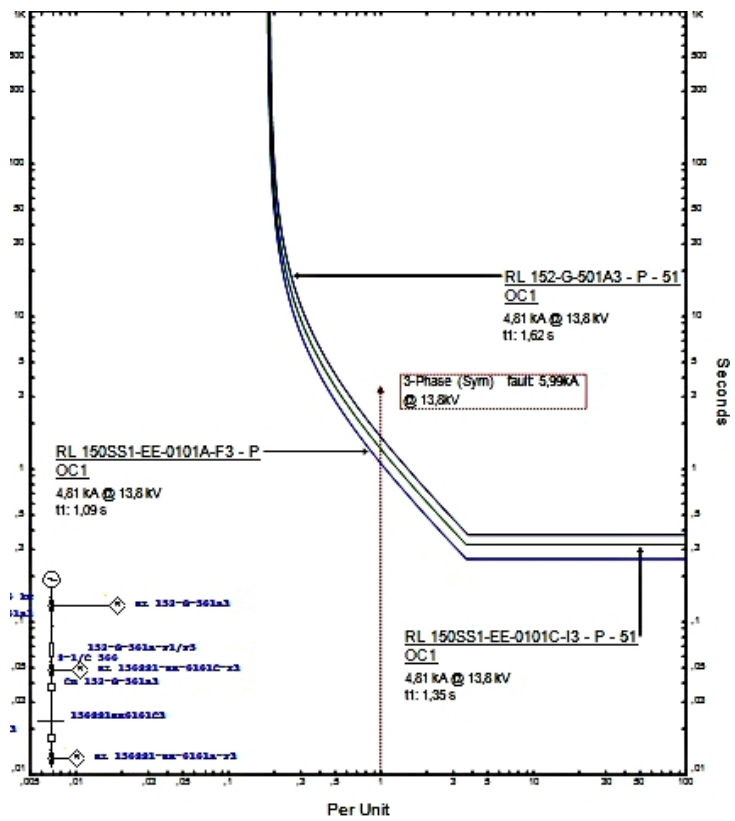
dan RL 152-G-501 sebesar 0,27 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-I dan RL 150SS1-EE-0101A-F sebesar 0,26 detik, *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-F dan RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,26 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan RL 152-G-501 sebesar 0,27 detik

4.4.12 Perbandingan Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 12

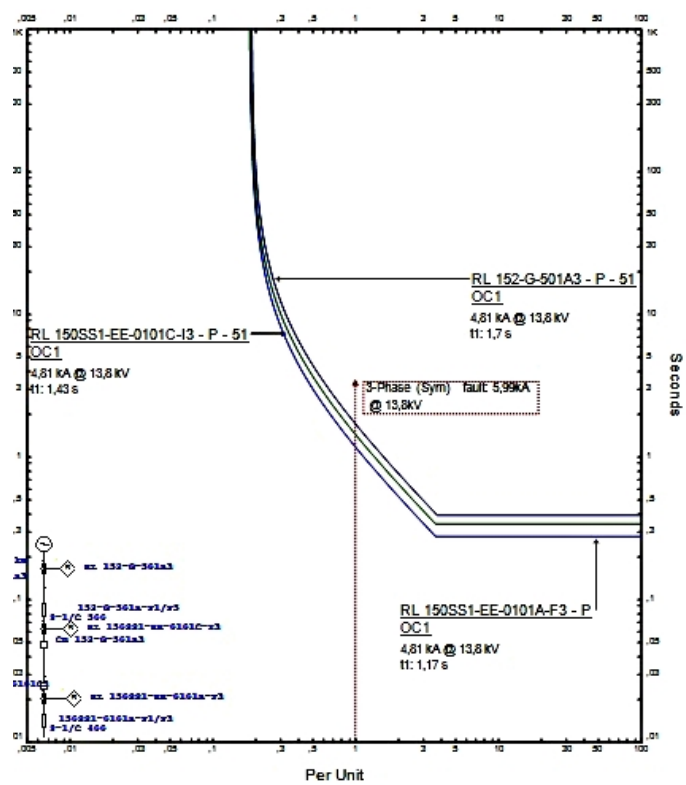
Grafik TCC dari ketiga settingan koordinasi proteksi di zona proteksi 12 yang telah disimulasikan yaitu settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi software ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.117, gambar 4.118, dan gambar 4.119.



Gambar 4. 117 Grafik TCC Terpasang di Lapangan



Gambar 4. 118 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



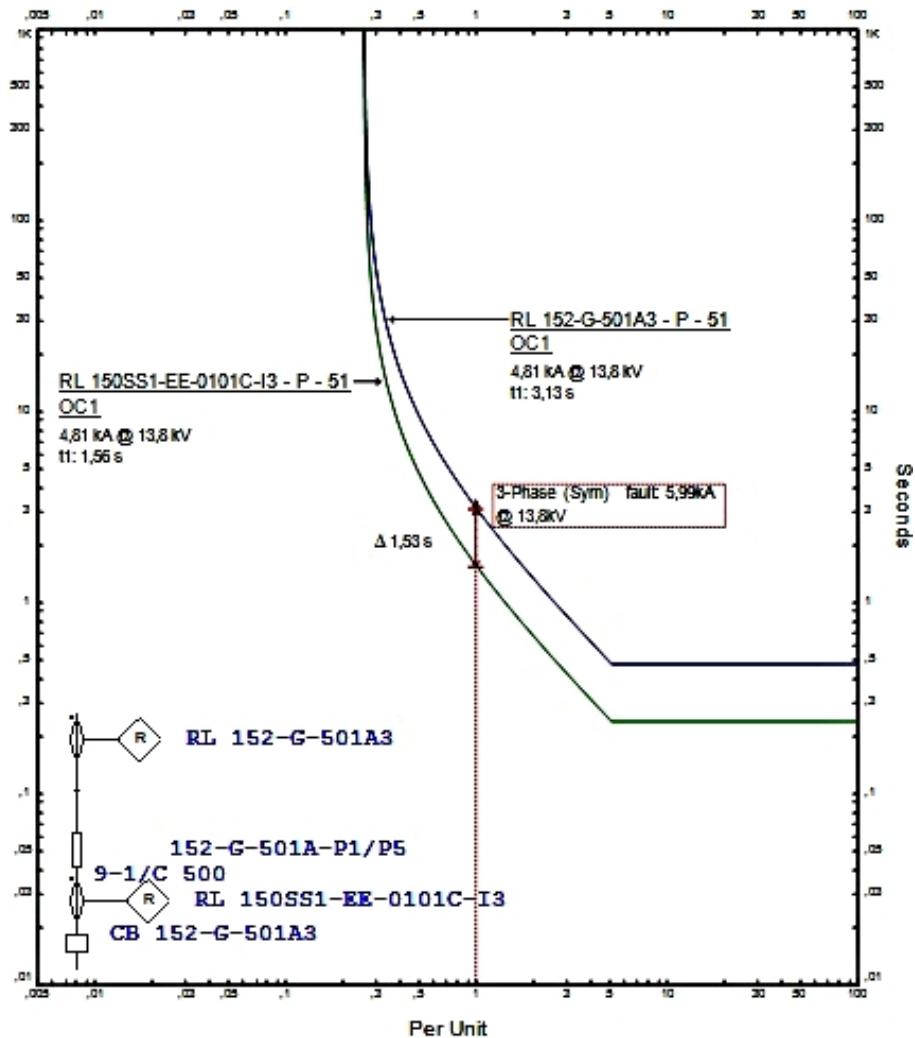
Gambar 4. 119 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

Pada gambar 4.117 dapat dijelaskan bahwa settingan koordinasi proteksi yang terpasang dilapangan tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi. Hal ini disebabkan karena relai relai RL 152-G-501 yang berada diluar zona proteksi 12 ikut bekerja ketika zona proteksi 12 mengalami gangguan hubung singkat. Grafik TCC pada gambar 4.117 menunjukkan tiga buah grafik yaitu grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-F, grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan grafik relai RL 152-G-501. Dari gambar 4.116 dapat diamati bahwa grafik relai RL 152-G-501 terletak bawah grafik relai RL 150SS1-EE-0101A-F. Jika mengalami gangguan hubung singkat dan relai RL 150SS1-EE-0101A-F mengalami gagal kerja, maka relai RL 152-G-501 bekerja sebagai relai cadangan. Hal ini menyebabkan syarat selektif dari koordinasi proteksi relai tidak terpenuhi, karena relai RL 152-G-501 terletak di luar zona proteksi 12.

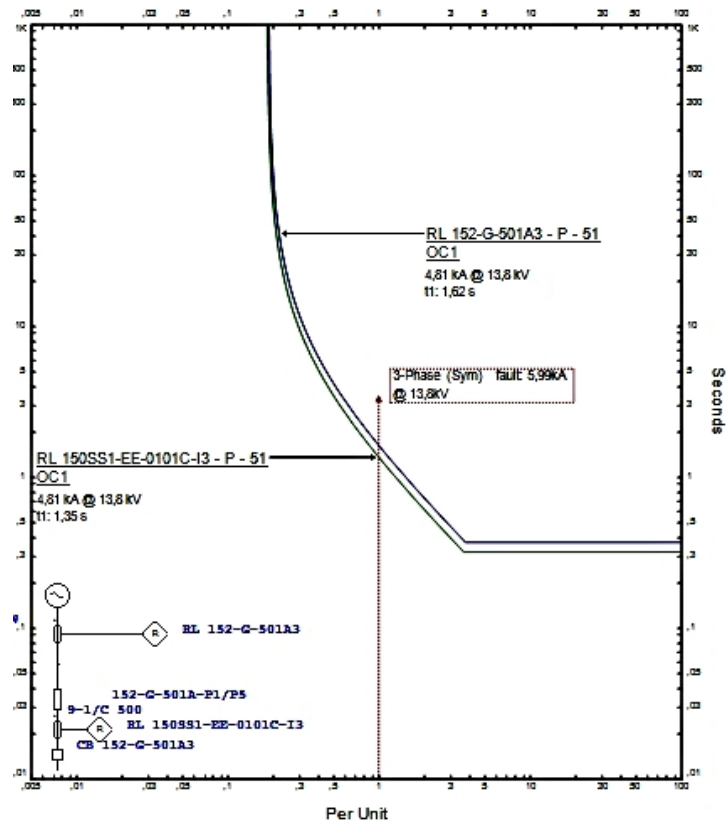
Gambar 4.118 dan gambar 4.119 masing-masing menunjukkan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dan grafik TCC dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP. Dari kedua gambar tersebut dapat diamati bahwa koordinasi proteksi sudah berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan grafik relai RL 152-G-501 yang berada diluar zona proteksi 12 terletak diatas grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I. Sehingga jika relai RL 150SS1-EE-0101A-F mengalami gagal kerja, maka relai RL 150SS1-EE-0101C-I akan bekerja sebagai relai cadangan. Selain itu ketiga grafik memiliki *margin time* yang memenuhi standar dari IEEE std 242-1986. Pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-F dan RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,26 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan RL 152-G-501 sebesar 0,27 detik. Sedangkan pada *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi ETAP dapat diamati bahwa *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101A-F dan RL 150SS1-EE-0101C-I sebesar 0,26 detik, dan *margin time* antara relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan RL 152-G-501 sebesar 0,27 detik.

4.4.13 Perbandingan Setingan Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih Zona Proteksi 13

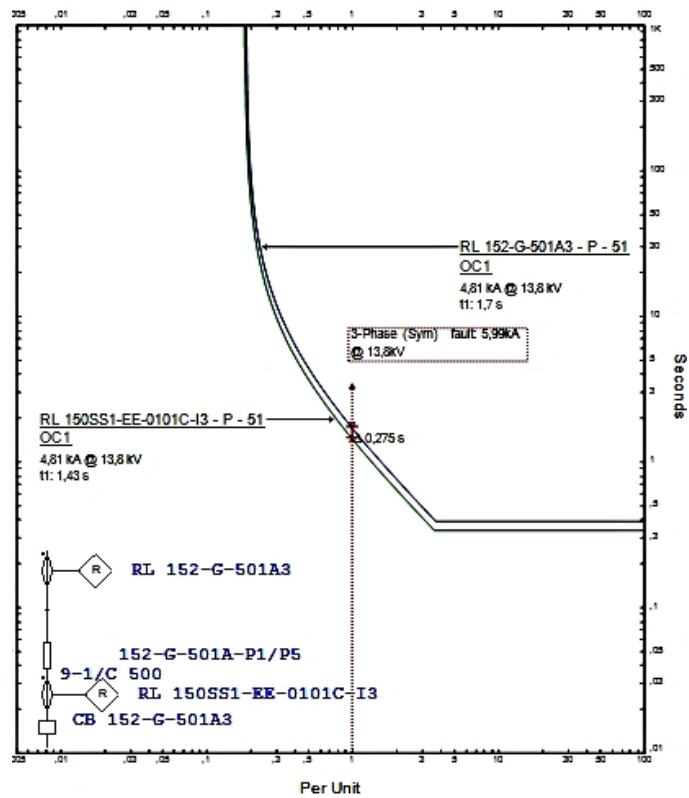
Grafik TCC dari ketiga setingan koordinasi proteksi di zona proteksi 13 yang telah disimulasikan yaitu setingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang di lapangan, reseting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual, dan reseting koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi software ETAP ditunjukkan masing-masing oleh gambar 4.120, gambar 4.121, dan gambar 4.122.



Gambar 4. 120 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 121 Grafik TCC Resetting Perhitungan Manual



Gambar 4. 122 Grafik TCC Resetting Data Hasil Simulasi ETAP

Dari grafik TCC yang ditunjukkan oleh gambar 4.120, gambar 4.121, dan gambar 4.122 dapat dijelaskan bahwa ketiga settingan koordinasi proteksi relai arus lebih sudah berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dari grafik TCC ketiga gambar tersebut bahwa grafik relai RL 152-G-501 terletak di atas grafik RL 150SS1-EE-0101C-I, sehingga grafik arus hubung singkat memotong grafik relai RL 150SS1-EE-0101C-I dan grafik RL 152-G-501 secara berurutan. Perbedaan yang ada pada ketiga gambar grafik adalah pada *margin time* antara relai utama dan relai cadangannya. Pada gambar 4.120 grafik TCC setting di lapangan menunjukkan *margin time* antara relai utama dan relai cadangan sebesar 1,53 detik, pada gambar 4.121 grafik TCC *Resetting* Perhitungan Manual menunjukkan *margin time* antara relai utama dan relai cadangan sebesar 0,27 detik, dan pada gambar 4.122 grafik TCC *Resetting* data arus hubung singkat hasil Simulasi ETAP menunjukkan *margin time* antara relai utama dan relai cadangan sebesar 0,275 detik. Berdasarkan ketiga *margin time* dari setiap settingan koordinasi proteksi menunjukkan bahwa *margin time* sudah sesuai dengan standar *margin time* dari IEEE std 242-1986 yaitu minimal adalah 0,2-0,35 detik.

4.4.14 Perbandingan Selisih Waktu Kerja Relai Pada Setiap Zona Proteksi Ketika Terjadi Gangguan Hubung Singkat

Untuk mempermudah pengamatan terhadap selisih waktu kerja relai secara menyeluruh yang digunakan untuk membandingkan masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih digunakan tabel 4.5. Pada perhitungan selisih waktu masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih, digunakan waktu kerja relai dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus lebih hasil simulasi *software* ETAP sebagai acuan dikarenakan *software* ETAP memiliki akurasi yang tinggi dan perhitungan dilakukan berdasarkan standar internasional. Perhitungan selisih waktu kerja relai dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Selisih } t_{\text{tetap}} \text{ dengan } t_{\text{manual}} = t_{\text{tetap}} - t_{\text{manual}} \dots \dots \dots (4.270)$$

$$\text{Selisih } t_{\text{tetap}} \text{ dengan } t_{\text{lapangan}} = t_{\text{tetap}} - t_{\text{lapangan}} \dots \dots \dots (4.271)$$

Dimana:

t_{tetap} = Waktu kerja relai dari *resetting* koordinasi relai arus lebih menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP.

t_{manual} = Waktu kerja relai dari *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual.

t_{lapangan} = Waktu kerja relai dari setting koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang dilapangan.

Perbandingan selisih waktu kerja relai dari masing-masing settingan koordinasi proteksi relai arus lebih berguna untuk membuktikan bahwa selisih besar arus hubung singkat hasil perhitungan manual dengan besar arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP yang memiliki selisih sebesar 8,40% untuk hubung singkat 3 fasa 1/2 *Cycle* dan sebesar 19,28% untuk hubung singkat 2 fasa 30 *Cycle* yang dibahas pada sub bab 4.3.2 masih dalam batas toleransi.

Tabel 4.5 Perbandingan Selisih Waktu Kerja Relai Antar Settingan Koordinasi Proteksi Relai Arus lebih

Besar Arus Gangguan	Nama Relai	t_{tetap} (detik)	t_{lapangan} (detik)	t_{manual} (detik)	$\Delta t_{\text{etap-lapangan}}$ (detik)	$\Delta t_{\text{etap-manual}}$ (detik)
Zona Proteksi 1 (12,5 kA)	RL 150SS1-EE-0012E-F	0,05	0,05	0,05	0	0
	RL 150SS1-EE-0102EZ-F	0,474	0,369	0,425	0,105	0,049
Zona Proteksi 2 (12,155 kA)	RL 154-P-507CM	0,05	0,05	0,05	0	0
	RL 150SS1-EE-0102EZ-F	0,493	0,385	0,442	0,108	0,051
Zona Proteksi 3 (10,11 kA)	FS 156-K-501BM	<0,01	<0,01	<0,01	0	0
	RL 150SS1-EE-0102EZ-F	0,455	0,478	0,538	0,023	0,083
Zona Proteksi 4 (17,757 kA)	RL 150SS1-EE-0102EZ-F	0,465	0,361	0,416	0,104	0,049
	RL 150SS1-EE-0102EZ-F1	0,7	0,433	0,639	0,267	0,061
Zona Proteksi 5 (12,822 kA)	RL 150SS1-EE-0102EZ-F1	0,695	0,428	0,635	0,267	0,06
	RL 150SS1-EE-0102A-I	1,05	0,919	0,954	0,131	0,096
Zona Proteksi 6 (12,572 kA)	RL 150SS1-EE-0012A-F	0,05	0,05	0,05	0	0
	RL 150SS1-EE-0102A-I	1,08	0,945	0,976	0,135	0,104
Zona Proteksi 7 (12,158 kA)	RL 158-A-501-K1B-M	<0,01	<0,01	<0,01	0	0
	RL 150SS1-EE-0102A-I	1,13	0,99	1,02	0,14	0,11
Zona Proteksi 8 (12,822 kA)	RL 150SS1-EE-0102A-I	1,05	0,919	0,954	0,131	0,096
	RL 150SS1-EE-0011A-F	1,33	0,919	1,21	0,411	0,12
Zona Proteksi 9 (5,989 kA)	RL 150SS1-EE-0011A-F	0,554	0,383	0,512	0,171	0,042
	RL 150SS1-EE-0101A-I	0,907	4,05	0,847	3,143	0,06
Zona Proteksi 10	RL 150SS1-EE-0011C-F	0,05	0,2	0,05	0,15	0

(5,97 kA)	RL 150SS1-EE-0101A-I	0,911	4,07	0,85	3,159	0,061
Zona Proteksi 11 (5,989 kA)	RL 150SS1-EE-0101A-I	0,907	4,05	0,847	3,143	0,06
	RL 150SS1-EE-0101A-F	1,17	6,71	1,09	5,54	0,08
Zona Proteksi 12 (5,99 kA)	RL 150SS1-EE-0101A-F	1,17	6,71	1,09	5,54	0,08
	RL 150SS1-EE-0101C-I	1,43	1,56	1,35	0,13	0,08
Zona Proteksi 13 (5,99 kA)	RL 150SS1-EE-0101C-I	1,43	1,56	1,35	0,13	0,08
	RL 152-G-501A	1,7	3,13	1,62	1,43	0,08
Rata- Rata					1,01	0,06

Dari tabel 4.5 dapat diamati bahwa selisih waktu kerja settingan koordinasi proteksi relai arus lebih yang terpasang dilapangan secara rata-rata memiliki selisih 1,01 detik dan mempunyai selisih tertinggi senilai 5,54 detik. Sedangkan selisih antara *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual secara rata-rata memiliki selisih 0,06 detik dan memiliki selisih tertinggi senilai 0,1 detik. Hasil *resetting* koordinasi proteksi menggunakan perhitungan manual memiliki waktu kerja relai yang hampir mendekati waktu kerja dari relai hasil *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan data arus lebih hasil simulasi *software* ETAP. Hal ini membuktikan bahwa selisih besar arus hubung singkat hasil perhitungan manual dengan besar arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP pada pembahasan sub bab 4.3.2 masih dalam batas toleransi, karena tidak memiliki perbedaan hasil koordinasi proteksi yang signifikan. Dari pembuktian ini dapat dinyatakan bahwa *resetting* koordinasi proteksi relai arus lebih menggunakan perhitungan manual menghasilkan koordinasi proteksi relai arus lebih yang sama baiknya dengan *resetting* koordinasi proteksi menggunakan data arus hubung singkat hasil simulasi *software* ETAP.