

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Gardu Induk Kebonagung Malang

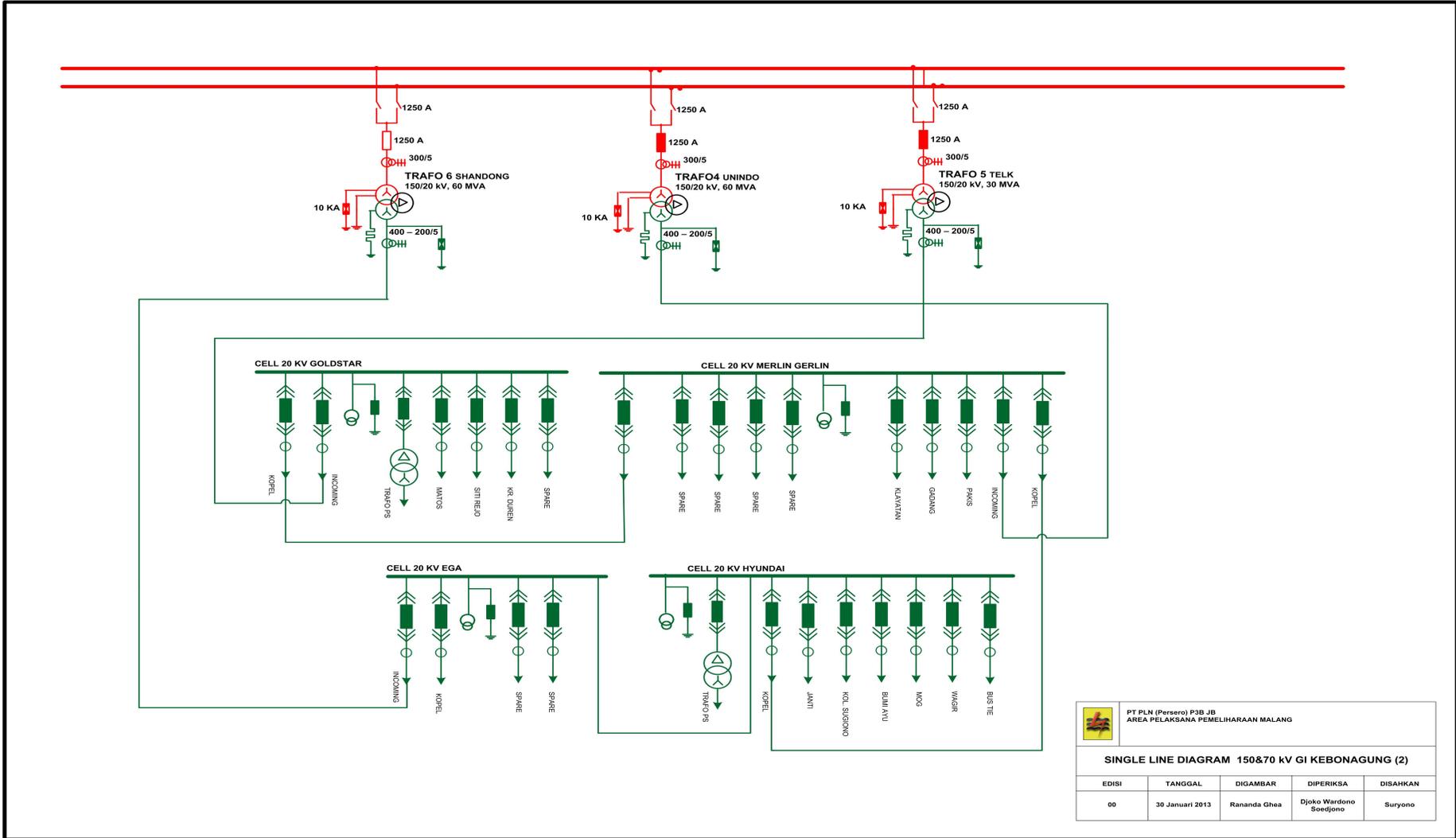
Gardu Induk Kebonagung merupakan gardu induk yang berlokasi di wilayah Unit Pelayanan Transmisi Malang. Gardu Induk Kebonagung memiliki 6 buah transformator yang terdiri dari 3 transformator IBT (*interbus transformer*) yang menurunkan tegangan dari 150kV ke 70 kV dan 3 transformator distribusi 150/20 kV yang akan disalurkan ke penyulang-penyulang kemudian tegangannya diturunkan dari 20 kV menjadi 380/220 volt sesuai dengan kebutuhan para konsumen.

Sistem jaringan distribusi pada gardu induk kebonagung seringkali terjadi gangguan yang berakibat kegagalan ataupun keterlambatan sistem proteksi pada penyulang Klayatan yang berdampak pada beroperasinya rele masukan 20 kV mengakibatkan padamnya penyulang – penyulang lain yang mendapat suplai tegangan dari masukan 20 kV tersebut.

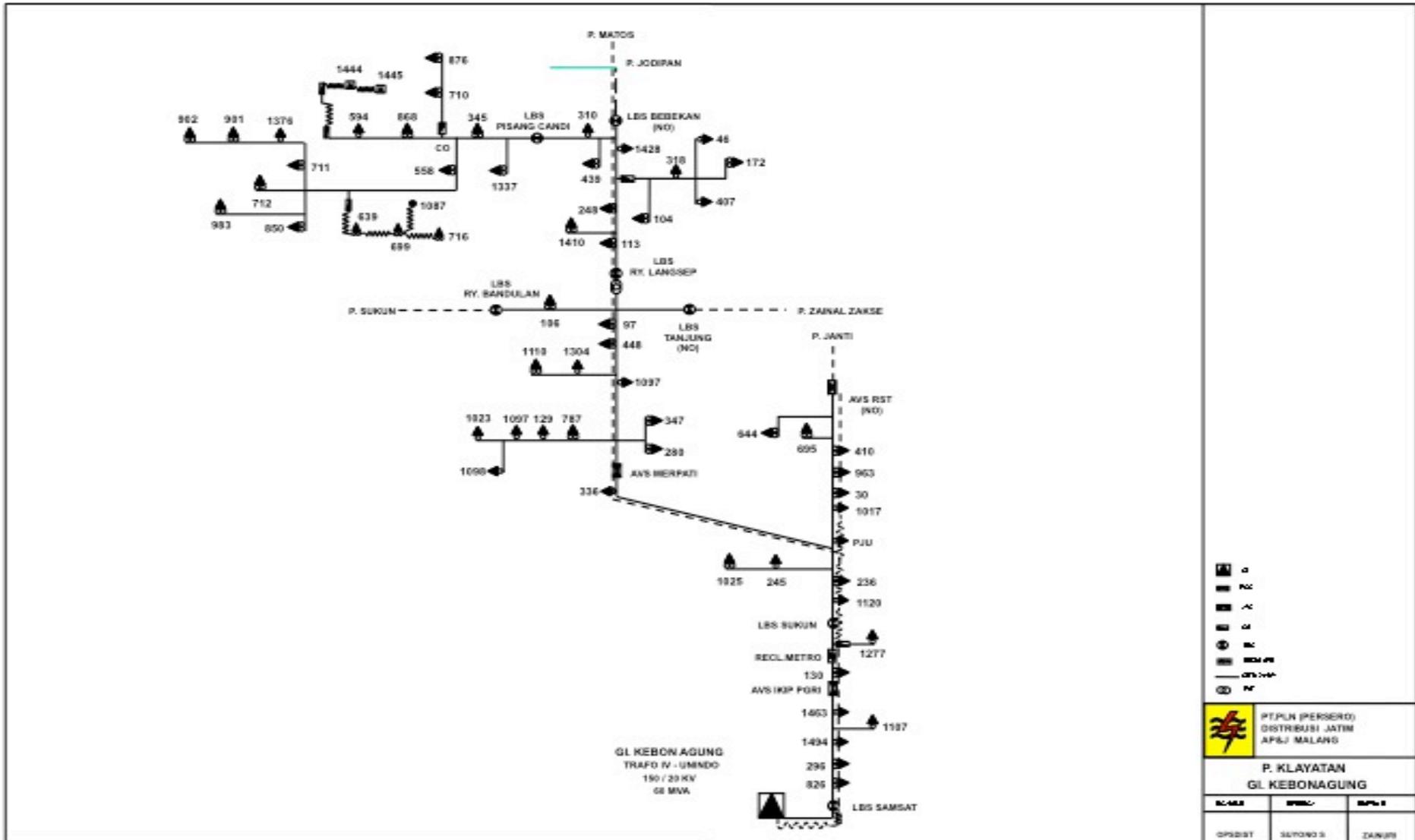
Dari penjelasan berarti penyulang Klayatan merupakan salah satu penyulang yang cukup bermasalah dari sisi keandalan dan koordinasi sistem proteksinya. Maka dari itu penulis hendak melakukan analisis proteksi pada sisi masukan 20 kV dan penyulang Klayatan dan mencari solusi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksinya. Adapun pengaturan beban dan energi Gardu Induk kebonagung Malang adalah sebagai berikut:

- a. Trafo 4 yang disalurkan ke penyulang: Klayatan, Gadang, dan Pakisaji.
- b. Trafo 5 yang disalurkan ke penyulang: Karang Duren, Siti Rejo, dan Matos.
- c. Trafo 6 yang disalurkan ke penyulang: Wagir, MOG, Bumiayu, K. Sugiono, Janti, Kenarok, P. Landung.

Adapun diagram satu garis transformator 4 di Gardu Induk Kebonagung Malang ditunjukkan pada gambar 4.1 Dan diagram satu garis penyulang Klayatan ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Diagram satu garis transformator daya IV gardu induk Kebonagung Malang



Gambar 4.2 Diagram satu garis penyulang Klayatan

Tabel 4.1
Data Spesifikasi Transformator Daya IV Gardu Induk Kebonagung Malang

Merk	UNINDO
Tipe	TTUB150/60000
Daya	60 MVA
Impedansi	12,39%
Tegangan	150/20 kV
Hub. Belitan	YNyn0 (d)

Tabel 4.2
Data Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV

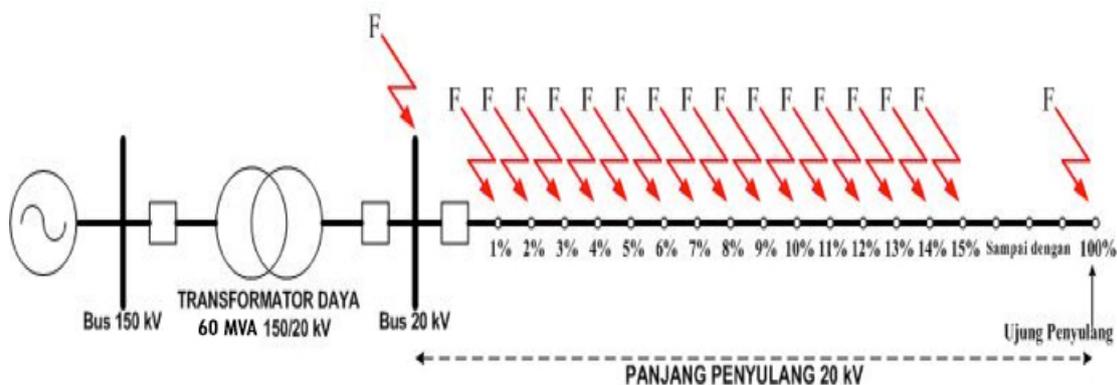
Merk	AREVA
Tipe	MiCOM P122
Nomor Serie	31526996
Setelan Arus (I>)	2000 A
Time Dial >	0,2 (SI)
Setelan Arus Instan (I>>)	7000 A
Time Dial >>	Instan (0,4 det)
Rasio CT	2000/5
Karakteristik	<i>Standard Inverse</i>
Arus Nominal	5 A

Tabel 4.3
Data Arus Lebih Sisi Penyulang Klayatan

Merk	MICOM
Tipe	P127
Nomor Seri	36008082
Setelan Arus (I>)	400 A
Time Dial >	0,15 SI
Setelan Arus Instan (I>>)	4000
Time Dial >>	instan
Rasio CT	400/5
Karakteristik	<i>Standard Inverse</i>

4.2 Perhitungan Impedansi

Sebelum melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat maka kita hitung impedansi terlebih dahulu. Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini dihitung berdasarkan panjang penyulang, seperti ditunjukkan pada gambar (4.3), yaitu arus gangguan hubung singkat diasumsikan terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Kebonagung Malang dan 1%, 2%, 3%, sampai dengan 100% panjang penyulang.



Gambar 4.3 Diagram satu garis penyulang Klayatan dengan berbagi titik lokasi gangguan

4.2.1 Menghitung Impedansi Dasar

Perhitungan impedansi dasar mengacu dari transformator daya pada sisi tegangan sekundernya. Impedansi dasar diperoleh dari hasil perbandingan antara tegangan dan daya transformator tersebut. Berdasarkan tabel (4.1), nilai tegangan sekunder yang dijadikan sebagai tegangan dasar adalah 20 kV dan daya transformator yang digunakan sebagai daya dasar adalah 60 MVA. Dengan menggunakan nilai dasar tersebut dan persamaan (2-44) didapat impedansi dasar sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{\text{Dasar}} &= \frac{kV_{L-L}^2}{MVA_{3\phi}} \\ &= \frac{20^2}{60} \\ &= 6,67 \Omega \end{aligned}$$

4.2.2 Menghitung Impedansi Sumber

Impedansi sumber diperoleh dengan membandingkan antara tegangan dasar dan MVA hubung singkat. Tegangan dasar merupakan tegangan sisi sekunder transformator daya sedangkan MVA hubung singkat diperoleh dari jaringan distribusi yang dipasang dari tegangan tinggi dengan menggunakan transformator daya. Pada tabel (4.1) diketahui besar tegangan dasar, yaitu 20 kV sedangkan untuk MVA hubung singkat terlebih dahulu harus diketahui nilai arus hubung singkat pada busbar sisi tegangan tinggi yang mewakili semua

unit pembangkit beroperasi, menurut data sekunder yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.1, nilai arus hubung singkat tiga fasa pada busbar sisi tegangan tinggi 150 kV yang menjadi suplai Gardu Induk Kebonagung Malang sebesar 14,06902 kA. Dengan menggunakan persamaan (2-46) didapat nilai MVA hubung singkat sebagai berikut:

$$MVA_{hs3\phi} = \sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 14,06902 \text{ kA} = 3655,239 \text{ MVA}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan MVA hubung singkat diatas, dapat dihitung impedansi sumber dengan menggunakan persamaan (2-47) sebagai berikut:

$$Z_s(\Omega) = \frac{(kV_{L-L})^2}{MVA_{hs3\phi}} = \frac{(20)^2}{3655,239} = 0,1094 \Omega$$

Impedansi sumber mempengaruhi nilai impedansi total suatu jaringan yang dilakukan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah perhitungan arus gangguan hubung singkat, maka impedansi sumber dibuat dalam satuan per unit (pu) dengan menggunakan persamaan (2-48) sebagai berikut:

$$Z_s(\text{pu}) = \frac{Z_s(\Omega)}{Z_{dasar}} = \frac{0,1094 \Omega}{6,67 \Omega} = j 0,0164 \text{ pu}$$

4.2.3 Menghitung Impedansi Transformator Daya

Data sekunder impedansi transformator yang terlihat pada tabel (4.1) diketahui masih dalam bentuk persentase, yaitu sebesar 12,39%. Maka impedansi transformator dengan menggunakan dasar baru dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-49) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{1T}(\text{pu}) = Z_{2T}(\text{pu}) &= j0,1239 \left(\frac{20}{20}\right)^2 \times \frac{60}{60} \\ &= j0,1239 \text{ pu} \end{aligned}$$

Karena transformator daya 4 Gardu Induk Gardu Induk Kebonagung Malang yang terpasang mempunyai hubungan belitan YNyn0 (d1), yang mempunyai belitan delta di dalamnya dan ditanahkan maka nilai impedansi urutan nol transformator daya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-53) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Z_{0T} \text{ (pu)} &= 3 \times Z_{1T} \text{ (pu)} \\
 &= 3 \times j 0.1239 \text{ pu} \\
 &= j 0.3717 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Menghitung Impedansi Penyulang

Untuk mengetahui besar impedansi penyulang pada suatu titik gangguan tertentu dapat diasumsikan pada lokasi gangguan di busbar 20 kV Gardu Induk Kebonagung Malang dan 1%, 2%, 3% sampai dengan 100% panjang penyulang, dengan memasukkan data yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.3, yaitu jenis kawat penghantar yang digunakan pada penyulang Klayatan adalah tipe XLPE, MVTIC, dan A3COC dan panjang penyulang Klayatan 13,94 km dan nilai impedansi dari kawat penghantar dapat dilihat pada tabel di lampiran I.3. Sehingga dapat dihitung impedansi penyulang urutan positif dan negatif dengan menggunakan persamaan (2-55) sebagai berikut:

- Kabel XLPE, $3 \times 240 \text{ mm}^2$, dengan panjang jaringan 0,355 km. Impedansi penyulang urutan positif dan impedansi urutan negatif dengan konstanta jaringan per km adalah $0,0987 + j 0,0948 \text{ } \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned}
 Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} &= (0,0987 + j 0,0948 \text{ } \Omega/\text{km}) \times 0,355 \text{ km} \\
 &= 0,0350385 + j 0,033654 \\
 &= 0,04858 \angle 43,8454^\circ \text{ } \Omega
 \end{aligned}$$

- Kabel MVTIC, $3 \times 150 \text{ mm}^2$, dengan panjang jaringan 2,372 km. Impedansi penyulang urutan positif dan impedansi urutan negatif dengan konstanta jaringan per km adalah $0,206 + j 0,014 \text{ } \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned}
 Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} &= (0,206 + j 0,014 \text{ } \Omega/\text{km}) \times 2,372 \text{ km} \\
 &= 0,488632 + j 0,033208 \text{ } \Omega \\
 &= 0,4898 \angle 3,8879^\circ \text{ } \Omega
 \end{aligned}$$

- Kabel A3COC, $3 \times 240 \text{ mm}^2$, dengan panjang jaringan 11,213 km. Impedansi penyulang urutan positif dan impedansi urutan negatif dengan konstanta jaringan per km adalah $0,2331 + j 1,2638 \text{ } \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned}
Z_{1penyulang} = Z_{2penyulang} &= (0,2331 + j 1,2638 \text{ } \Omega/\text{km}) \times 11,213 \text{ km} \\
&= 2,6137503 + j 14,1709894 \text{ } \Omega \\
&= 14,41 \angle 79,5496^\circ \text{ } \Omega
\end{aligned}$$

Total Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif

$$\begin{aligned}
Z_{1penyulang} = Z_{2penyulang} &= \\
&= (0,03504 + j 0,0336) + (0,4886 + j 0,0332) + (2,6137 + j 14,1709) \\
&= 3,1374 + j 14,2378 = 14,5794 \angle 77,5730^\circ
\end{aligned}$$

Untuk mendapatkan satuan per unit (pu) dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2-48) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
Z_{1penyulang}(\text{pu}) &= \frac{Z_{1penyulang}}{Z_{dasar}} \\
&= \frac{14,5794 \angle 77,5730^\circ \text{ } \Omega}{6,67 \text{ } \Omega} \\
&= 2,1867 \angle 77,5775^\circ \\
&= 0,4704 + j 2,1355 \text{ pu}
\end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan impedansi nol, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-56) sebagai berikut:

- Kabel XLPE, $3 \times 240 \text{ mm}^2$, dengan panjang jaringan 0,355 km. Impedansi penyulang urutan nol dengan konstanta jaringan per km adalah $0,15693 + j 0,24079 \text{ } \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned}
Z_{0penyulang} &= (0,15693 + j 0,24079 \text{ } \Omega/\text{km}) \times 0,355 \text{ km} \\
&= 0,0557 + j 0,0855
\end{aligned}$$

- Kabel MVTIC, $3 \times 150 \text{ mm}^2$, dengan panjang jaringan 2,372 km. Impedansi penyulang urutan positif dan impedansi urutan negatif dengan konstanta jaringan per km adalah $0,206 + j 0,014 \text{ } \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned}
Z_{1penyulang} &= (0,206 + j 0,014 \text{ } \Omega/\text{km}) \times 2,372 \text{ km} \\
&= 0,4886 + j 0,2467 \text{ } \Omega
\end{aligned}$$

- Kabel A3COC, $3 \times 240 \text{ mm}^2$, dengan panjang jaringan 11,213 km. Impedansi penyulang urutan positif dan impedansi urutan negatif dengan konstanta jaringan per km adalah $0,43933 + j 1,84419 \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned} Z_{\text{openyulang}} &= (0,43933 + j 1,84419 \Omega/\text{km}) \times 11,213 \text{ km} \\ &= 4,9262 + j 20,6789 \Omega \end{aligned}$$

Total Impedansi penyulang urutan nol :

$$\begin{aligned} Z_{\text{openyulang}} &= (0,0557 + j 0,0855) + (0,4886 + j 0,2467) + (4,9262 + j 20,6789) \\ &= 5,4705 + j 21,0111 \\ &= 21,7116 \angle 75,4063^\circ \Omega \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan satuan per unit (pu) dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (2-48) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{\text{openyulang}}(\text{pu}) &= \frac{Z_{\text{openyulang}}}{Z_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{21,7116 \angle 75,4063^\circ}{6,67 \Omega} \\ &= 3,2565 \angle 75,4064^\circ \Omega \\ &= 0,8205 + j 3,1514 \Omega \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan impedansi penyulang urutan positif, urutan negatif dan urutan nol untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan dapat dilihat pada tabel di lampiran I.4.

4.2.5 Menghitung Impedansi Total

Dalam perhitungan ini dicari impedansi total urutan positif, urutan negatif dan urutan nol untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan. Dengan memanfaatkan hasil perhitungan diatas yang terdiri dari impedansi sumber, impedansi transformator daya dan impedansi penyulang. Dapat dihitung impedansi total urutan positif dan negatif menggunakan persamaan (2-57) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
Z_{1total} = Z_{2total} &= Z_s + Z_{1T} + Z_{1penyulang} \\
&= (j 0,0164) + (j0.1239) + (0,4704 + j 2,1346) \\
&= 0,4704 + j 2,2758 \text{ pu} \\
&= 2,3239 \angle 78,3216^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan impedansi total urutan nol, karena transformator daya IV Gardu Induk Kebonagung Malang titik netralnya ditanahkan dengan tahanan tinggi sebesar 500Ω . Tahanan pentanahan diikuti sertakan dalam perhitungan impedansi total urutan nol. Perhitungan impedansi pentanahan dalam satuan per unit (pu) menggunakan persamaan (2-48) yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
Z_n &= \frac{R_n}{Z_{dasar}} \\
&= \frac{500 \Omega}{6,67 \Omega} \\
&= 74,9625 \text{ pu}
\end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan impedansi pentanahan dalam per unit (pu) diatas, dapat dihitung impedansi total urutan nol dengan menggunakan persamaan (2-58) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
Z_{0total} &= Z_{0T} + 3 \cdot Z_n + Z_{0penyulang} \\
&= (j 0,3717) + 3(74,9625) + (0,8202 + j 3,15) \\
&= 225,7077 + j 3,5217 \\
&= 225,7352 \angle 0,894^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan impedansi total urutan positif, urutan negatif dan urutan nol untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan dapat dilihat pada tabel di lampiran I.5.

4.3 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa dan Antar Fasa

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi total sesuai titik lokasi terjadinya gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung. Hanya saja impedansi total yang dimaksud adalah yang tergantung dari jenis arus gangguan hubung singkatnya. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat nilai impedansi gangguan Z_f

dianggap nol dan E_a adalah tegangan sebesar $1 \angle 0^\circ$ karena tegangan internal adalah sama dengan tegangan terminal dan karena bentuk per unit (pu).

4.3.1 Menghitung Arus Dasar

Perhitungan arus dasar diperoleh dari hasil perbandingan antara daya dan tegangan transformator daya sisi sekunder. Berdasarkan tabel (4.1), nilai daya dasar dalam satuan kilovoltampere sebesar 60.000 kVA sedangkan untuk tegangan dasar sebesar 20 kV. Dengan menggunakan persamaan (2-12) didapat nilai arus dasar sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{dasar} &= \frac{kVA_{3\phi}}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} = \frac{60000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} \\ &= 1732,0508 \text{ A} \end{aligned}$$

4.3.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dengan menggunakan tabel pada lampiran I.5 kedalam persamaan (2-23) sehingga didapat hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa sebagai berikut:

Untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik gangguan di 100% panjang penyulang.

$$\begin{aligned} I_{hs3\phi} &= \frac{E_a}{Z_{1total} + Z_f} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{2,323 \angle 78,3171^\circ + 0} \\ &= 0,4340 \angle -78,3171^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per unit (pu) maka untuk mendapatkan nilai sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-48) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai Sebenarnya} &= \text{Nilai Per unit (pu)} \times I_{dasar} \text{ (A)} \\ I_{hs3\phi} \text{ (A)} &= I_{hs3\phi} \text{ (pu)} \times I_{dasar} \text{ (A)} \\ I_{hs3\phi} \text{ (A)} &= (0,4340 \angle -78,3171^\circ \text{ pu}) \times 1732,0508 \text{ A} \\ I_{hs3\phi} \text{ (A)} &= 745,3 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa saat terjadi di lokasi 100% panjang penyulang sebesar 745,3 A.

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan di penyulang dapat dilihat pada tabel di lampiran I.6.

4.3.3 Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa dengan menggunakan tabel pada lampiran I.5 kedalam persamaan (2-43) sehingga didapat hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa sebagai berikut:

Untuk arus gangguan hubung singkat antar fasa pada titik gangguan di 100% panjang penyulang.

$$\begin{aligned}
 I_{hs2\phi} &= \frac{E_a}{Z_{1total} + Z_{2total} + Z_f} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(2,323 \angle 78,3171) + (2,323 \angle 78,3171) + 0} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,4704 + j 2,2749) + (0,4704 + j 2,2749) + 0} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,9408 + j 4,5498} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{4,646 \angle 78,3171^\circ} \\
 &= 0,2152 \angle - 78,3171^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

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

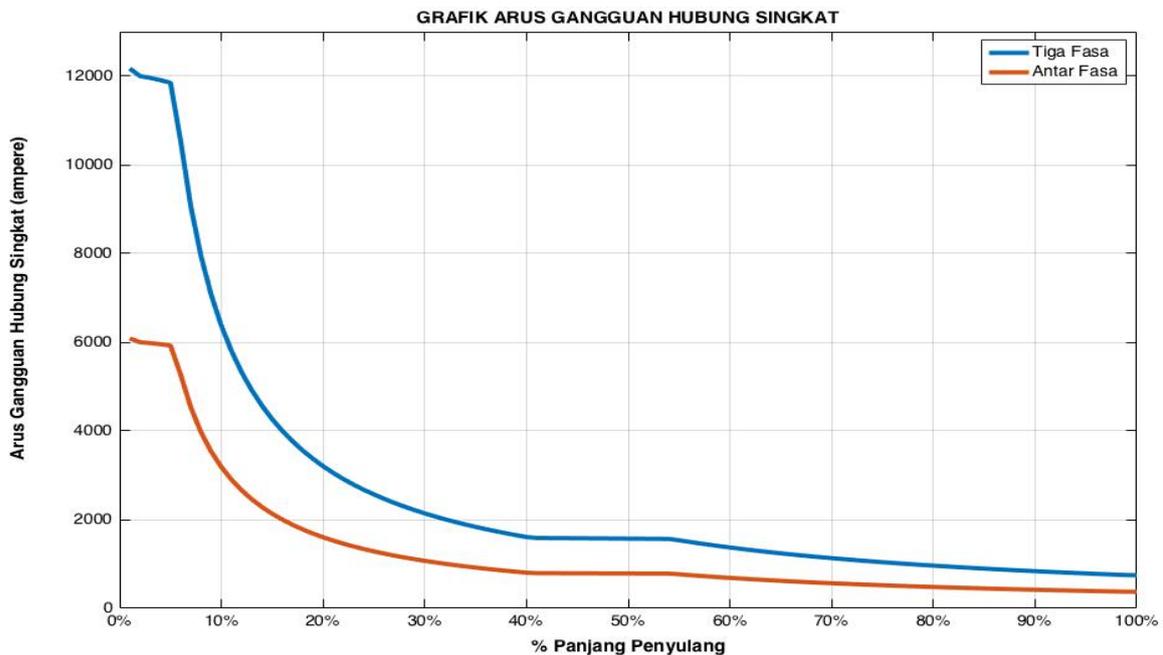
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Sebenarnya} &= \text{Nilai Per unit (pu)} \times I_{dasar} \text{ (A)} \\
 I_{hs2\phi} \text{ (A)} &= I_{hs2\phi} \text{ (pu)} \times I_{dasar} \text{ (A)} \\
 I_{hs2\phi} \text{ (A)} &= (0,2152 \angle - 78,3171^\circ) \times 1732,0508 \text{ A} \\
 I_{hs2\phi} \text{ (A)} &= 372,6503 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat antar fasa saat terjadi di lokasi 100% panjang penyulang sebesar 372,6503 A.

Dengan cara yang sama maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan di penyulang dapat dilihat pada tabel di lampiran I.7.

Dengan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa ini dapat digunakan untuk penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan hubung singkat terhadap titik lokasi terjadinya gangguan, dapat dilihat pada tabel di lampiran I.8.

Dari tabel pada lampiran I.8 dapat digambarkan grafik perbandingan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa untuk berbagai titik lokasi terjadinya gangguan yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa menurut titik lokasi terjadinya gangguan

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.8 dapat dianalisis bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar pada penyulang Klayatan adalah arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Kebonagung Malang, yaitu sebesar 12344,0353 A dan 6172,0176 A sedangkan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa terkecil terjadi di ujung penyulang, yaitu sebesar 745,3007 A dan 372,6503 A. Dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik lokasi gangguan, semakin jauh jarak titik lokasi gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkat yang terjadi dan sebaliknya. Arus gangguan hubung singkat yang terjadi di penyulang Klayatan cukup besar, maka diperlukan sistem proteksi yang dapat bekerja dengan waktu cepat. Kemampuan sistem proteksi untuk memisahkan gangguan secepat mungkin akan mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut, yaitu berupa kerusakan peralatan instalasi. Arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada titik lokasi yang diasumsikan mempunyai

selisih nilai yang tidak jauh berbeda. Perubahan arus gangguan yang relatif kecil ini membutuhkan sistem proteksi dengan selektifitas dan sensitifitas yang tinggi.

4.4 Perhitungan Penyetelan Rele Arus Lebih

Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade. Penyetelan rele arus lebih menggunakan pola non kaskade tergantung pada titik lokasi terjadinya arus gangguan hubung singkat, yaitu saat gangguan di busbar 20 kV diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan setelan invers, akan tetapi jika gangguan yang terjadi didalam daerah instan maka akan bekerja sesuai dengan setelan instan dan pada saat gangguan dipenyulang diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang, maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja sesuai dengan setelan invers dan jika gangguan yang terjadi didalam daerah instan maka akan bekerja sesuai dengan setelan instan.

4.4.1 Penyetelan Sisi Penyulang

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

4.4.1.1 Penyetelan Arus

Untuk menentukan nilai penyetelan arus rele arus lebih yang terpasang pada sisi penyulang, dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir dipenyulang Klayatan. Menurut data sekunder yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.2, arus beban maksimum yang mengalir dipenyulang Junrejo sebesar 306 A, sehingga dapat dihitung penyetelan arus pada bagian primer dan sekunder menggunakan persamaan (2-8) dan (2-9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{set primer} &= 1,05 \times 306 \text{ A} \\ &= 321,3 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan arus pada bagian primer menunjukkan bahwa, jika terdapat arus gangguan hubung singkat dengan nilai sama dengan atau lebih besar dari 321,3 A, maka rele arus lebih sisi penyulang akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan PMT untuk

bekerja. Akan tetapi jika terdapat arus gangguan hubung singkat kurang dari 321,3 A, maka rele arus lebih sisi penyulang tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

$$\begin{aligned} I_{set\ sekunder} &= 321,3 \times \frac{5}{400} \\ &= 4,0163 \text{ A} \end{aligned}$$

4.4.1.2 Penyetelan Arus Instan

Penyetelan arus instan sisi penyulang tergantung dari kapasitas dan arus nominal transformator daya yang terpasang, dapat dilihat pada tabel (4.1) bahwa kapasitas transformator daya sebesar 60 MVA dan untuk mengetahui arus nominal transformator daya yang terpasang, dengan menggunakan persamaan (2-6) sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{n\ trafo} &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV_{L-L}} \\ &= \frac{60000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= 1732,0508 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, dapat dihitung arus instan pada sisi penyulang dengan menggunakan persamaan (2-4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{instan} &= 2 \times I_{n\ trafo} \\ &= 2 \times 1732,0508 \text{ A} \\ &= 3464,1 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus instan pada sisi penyulang, sehingga dapat dihitung penyetelan arus instan pada bagian sekunder dan primer dengan menggunakan persamaan (2-3) dan (2-7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{instan\ sekunder} &= \frac{I_{instan}}{I_{set\ primer}} \\ &= \frac{3464,1016}{321,3} \end{aligned}$$

$$= 10.7815 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{instan primer}} &= I_{\text{instan sekunder}} \times I_{\text{set primer}} \\ &= 10.7815 \times 321,3 \\ &= 3464,1016 \text{ A} \end{aligned}$$

Penyetelan waktu: 40 milidetik

4.4.1.3 Penyetelan Waktu

Arus gangguan hubung singkat yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi penyulang, yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi di busbar 20 kV Gardu Induk Kebonagung Malang. Arus gangguan hubung singkat ini diambil sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih sisi penyulang dengan rele arus lebih sisi masukan 20 kV. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan t : 0,3 detik. Keputusan ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (*inrush current*) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukkan, dengan memanfaatkan persamaan (2-10), didapat perhitungan sebagai berikut:

$$TMS = \frac{\left[\left(\frac{12344,0353}{321,3} \right)^{0,02} \right]^{-1}}{0,14} \times 0,3 = 0,1622 \text{ (tanpa satuan)}$$

Sedangkan arus gangguan hubung singkat yang dipilih untuk menentukan waktu kerja saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dipenyulang, yaitu dimulai dari lokasi gangguan di 19% panjang penyulang. Karena lokasi gangguan tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang, sehingga bekerja sesuai dengan setelan invers. Dengan menggunakan tabel (2.1) dapat dihitung sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{3372,3727}{321,3} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1622 = 0,4717 \text{ detik}$$

Untuk menentukan waktu kerja saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa dipenyulang, yaitu dimulai dari lokasi gangguan di 10% panjang penyulang. Karena lokasi

gangguan tersebut berada diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang. Dengan menggunakan tabel (2.1) dapat dihitung sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{3186,1202}{321,3} \right)^{0,02} \right] - 1} \times 0,1622 = 0,4837 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama maka untuk penyetelan waktu kerja rele arus lebih pada lokasi gangguan diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa dipenyulang, dapat dilihat pada tabel di lampiran I.9.

4.4.2 Penyetelan Sisi Masukan 20 kV

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

4.4.2.1 Penyetelan Arus

Untuk menentukan nilai penyetelan arus rele arus lebih yang terpasang pada sisi masukan 20 kV harus terlebih dahulu dihitung nilai arus nominal transformator daya yang terpasang, dengan menggunakan data pada tabel (4.1) kedalam persamaan 2-6) didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{n \text{ trafo}} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{L-L}} \\ &= \frac{60000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= 1732,0508 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus nominal transformator daya diatas, sehingga dapat dihitung penyetelan arus pada bagian primer dan sekunder sisi masukan 20 kV dengan menggunakan persamaan (2-8) dan (2-9) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{set\ primer} &= 1,05 \times 1732,0508 \\
 &= 1818,6533\text{ A}
 \end{aligned}$$

Penyetelan arus pada bagian primer menunjukkan bahwa, jika terdapat arus gangguan hubung singkat dengan nilai sama dengan atau lebih besar dari 1818,6533 A, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan PMT untuk bekerja. Akan tetapi jika terdapat arus gangguan hubung singkat kurang dari 1818,6533 A, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV tidak dapat mendeteksi gangguan tersebut.

$$\begin{aligned}
 I_{set\ sekunder} &= I_{set\ primer} \times \frac{5}{2000} \\
 &= 1818,6533 \times \frac{5}{2000} \\
 &= 4,5466\text{ A}
 \end{aligned}$$

4.4.2.2 Penyetelan Arus Instan

Penyetelan arus instan pada sisi masukan 20 kV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-5) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{instan} &= 4 \times I_{n\ trafo} \\
 &= 2 \times 1732,0508 \\
 &= 6928,2032\text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan memanfaatkan hasil perhitungan arus instan pada sisi masukan 20 kV, sehingga dapat dihitung penyetelan arus instan pada bagian sekunder dan primer dengan menggunakan persamaan (2-3) dan (2-7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{instan\ sekunder} &= \frac{I_{instan}}{I_{set\ primer}} \\
 &= \frac{6928,2032\text{ A}}{1818,6533} \\
 &= 3,8095\text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{instan\ primer} &= I_{instan\ sekunder} \times I_{set\ primer} \\
 &= 3,8095 \times 1818,6533
 \end{aligned}$$

$$= 6928,2032$$

Penyetelan waktu: 80 milidetik.

4.4.2.3 Penyetelan Waktu

Arus gangguan hubung singkat yang dipilih untuk menentukan besarnya penyetelan TMS rele arus lebih sisi masukan 20 kV, yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang paling besar yaitu terjadi pada 0% panjang penyulang pada Gardu Induk Kebonagung Malang. Waktu kerja sisi masukan 20 kV didapat dengan waktu kerja rele di sisi hilir +0,4 detik. Dengan menggunakan persamaan (2-10) dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_{incoming} = (0,3 + 0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

$$TMS = \frac{\left[\left(\frac{12344,0353}{1818,6533} \right)^{0,02} \right]^{-1}}{0,14} \times 0,7 = 0,1952 \text{ (tanpa satuan)}$$

Sedangkan arus gangguan hubung singkat yang dipilih untuk menentukan waktu kerja saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dipenyulang, yaitu dimulai dari lokasi gangguan di 10% panjang penyulang. Karena lokasi gangguan tersebut diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV, sehingga bekerja sesuai dengan setelan invers. Dengan menggunakan tabel (2.1) sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{6372,2403}{1818,6533} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1952 = 1,0763 \text{ detik}$$

Untuk menentukan waktu kerja saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa dipenyulang, yaitu dimulai dari lokasi gangguan di 0% panjang penyulang. Karena lokasi gangguan tersebut berada diluar daerah instan rele arus lebih sisi penyulang. Dengan menggunakan tabel (2.1) dapat dihitung sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{6172,01765}{1818,6533} \right)^{0,02} \right]^{-1}} \times 0,1952 = 1,14 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama maka untuk penyetelan waktu kerja rele arus lebih pada lokasi gangguan diluar daerah instan rele arus lebih sisi masukan 20 kV saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa dipenyulang, dapat dilihat pada tabel di lampiran I.10.

4.5 Analisa Hasil Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih

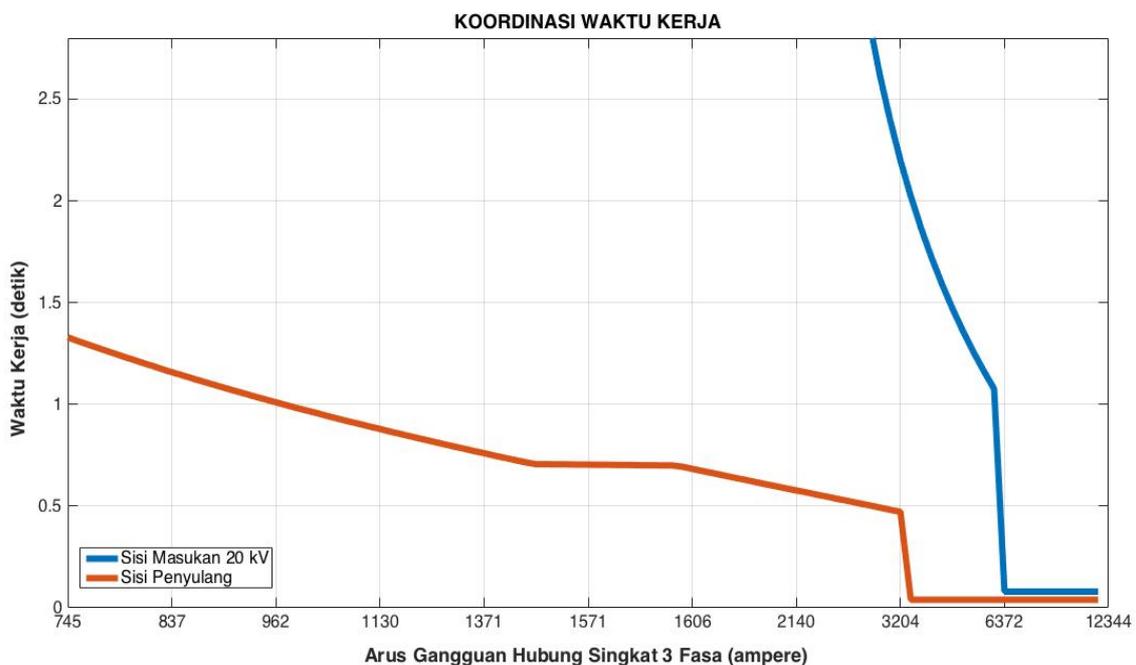
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan maka penyetelan rele arus lebih dapat dilihat pada table 4.4, dan untuk waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang untuk pemutusan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa dapat dilihat pada tabel di lampiran I.9 dan I.10, yang dapat diketahui koordinasi rele arus lebih pada hasil perhitungan, yaitu semakin jauh dari sumber tenaga maka penyetelan waktunya semakin lama.

Tabel 4.4

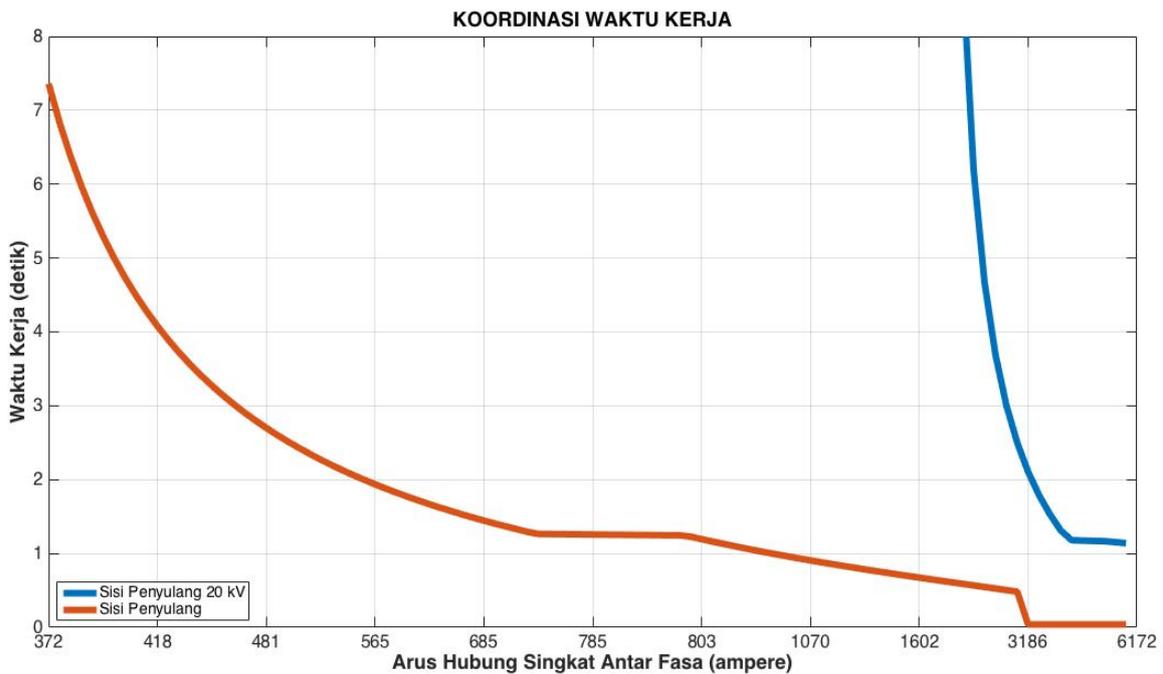
Penyetelan Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan

Lokasi Rele Arus Lebih	Penyetelan Rele Arus Lebih
Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV CT: 2000/5	I _{>} : 1818,65 A TMS: 0,1952 (SI)
	I _{>>} : 6928,2 A t: instan
Rele Arus Lebih Sisi Penyulang CT: 400/5	I _{>} : 321,3 A TMS: 0,1622 (SI)
	I _{>>} : 3461,1 A t: instan

Dari tabel pada lampiran I.9 dan I.10 dapat digambarkan grafik koordinasi waktu kerja rele arus lebih menurut hasil perhitungan pada sisi masukan dan penyulang 20 kV saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik koordinasi waktu kerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan dan penyulang 20 kV saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa



Gambar 4.6 Grafik koordinasi waktu kerja rele arus lebih menggunakan pola non kaskade pada sisi masukan 20 kV dan penyulang saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa.

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

Pada lampiran I.9 dan I.10 menyatakan bahwa:

1. Rele Arus Lebih Sisi Penyulang.

- Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.

Saat nilai arus gangguan antara 745,3007 sampai dengan kurang dari 3464,1 Ampere, maka rele arus lebih sisi penyulang bekerja sesuai dengan setelan invers ($I >$) sedangkan saat terjadi arus gangguan sebesar 3464,1 atau lebih, maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja sesuai dengan setelan instan ($I >>$).

- Pada Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.

Saat nilai arus gangguan antara 372,6503 sampai dengan kurang dari 3464,1 Ampere, maka rele arus lebih sisi penyulang bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$) sedangkan saat terjadi arus gangguan sebesar 3464,1 atau lebih, maka rele arus lebih sisi penyulang akan bekerja sesuai dengan setelan instan ($I>>$).

2. Rele Arus Lebih Sisi Masukan 20 kV.

- Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.

Saat nilai arus gangguan antara 745,3007 sampai dengan kurang dari 6928,2032 Ampere, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$) sedangkan saat terjadi arus gangguan sebesar 6928,2032 A atau lebih, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan setelan instan ($I>>$).

- Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.

Karena arus gangguan hubung singkat antar fasa yang terjadi di sisi masukan 20 kV tidak terdapat arus yang melebihi arus instan sebesar 6928,2032 Ampere, maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV akan bekerja sesuai dengan setelan invers ($I>$).

4.6 Analisis Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan dengan Penyetelan yang Diterapkan di Lapangan

Tabel 4.5

Perbandingan Penyetelan Rele Arus Lebih Menggunakan Pola Non Kaskade Dengan Penyetelan yang Diterapkan Di Lapangan

Lokasi Rele Arus Lebih	Penyetelan yang Diterapkan Di Lapangan	Penyetelan Rele Arus Lebih Hasil Perhitungan
Rele arus Lebih Sisi Masukan 20 kV CT: 2000/5	$I>$: 2000 A TMS: 0.2 (SI)	$I>$: 1818,6533 A TMS: 0,1952 (SI)
	$I>>$: 5100 A t: 0.7 detik	$I>>$: tidak diterapkan
	$I>>>$: 7000 A t: 0,4 detik	$I>>>$: 6928,2032 t: instan
Rele Arus Lebih Sisi Penyulang Klayatan CT: 400/5	$I>$: 400 A TMS: 0,15 (SI)	$I>$: 321,3 A TMS: 0,1622 (SI)
	$I>>$: 3400 t: 0,3 detik	$I>>$: 3464,1 t: instan
	$I>>>$: 4000 A t: instan	$I>>>$: tidak diterapkan

Berdasarkan dari table 4.5 diatas tampak perbedaan penyetelan rele arus lebih antara yang diterapkan di lapangan dengan hasil perhitungan. Pada sisi masukan 20 kV, penyetelan arus *invers* yang diterapkan di lapangan lebih besar dari hasil perhitungan, hal

tersebut karena penyetelan arus yang diterapkan di lapangan telah dibulatkan sesuai dengan range setelan arus jenis rele arus lebih yang digunakan dan mengikuti nilai CT nya yaitu 2000 ampere. Adapun penyetelan rele arus lebih yang diterapkan dilapangan dengan nilai 5100 ampere dengan $t : 0,7$ detik sedangkan hasil perhitungan 5100 ampere masih daerah kerja rele *invers*. Untuk penyetelan arus yang berikutnya memiliki perbedaan nilai arus yang diterapkan dilapangan hal tersebut karena telah dibulatkan sesuai range setelan arus lebih, penyetelan waktu pada hasil perhitungan menggunakan rele instan sedangkan yang dilapangan tidak diterapkan tapi memiliki waktu kerja 0,4 detik.

Untuk penyetelan arus *invers* hasil perhitungan pada sisi penyulang lebih kecil dari yang diterapkan di lapangan, hal ini dikarenakan penyetelan arus yang diterapkan di lapangan juga telah dibulatkan sesuai dengan range setelan rele arus lebih dan mengikuti nilai CT nya. Penyetelan rele instan pada penyulang yang diterapkan dilapangan namun nilainya lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan.

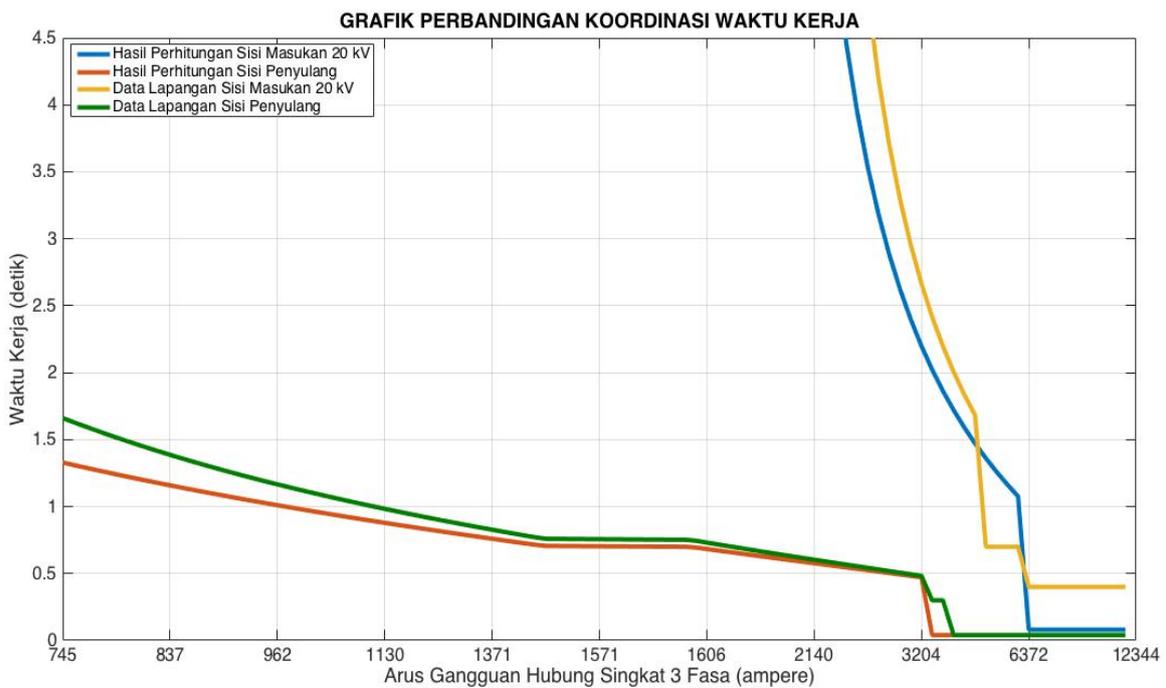
Perbedaan penyetelan TMS yang diterapkan di lapangan dan hasil perhitungan, yaitu dari penentuan lokasi terjadinya gangguan sebagai titik koordinasi antara rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang dan dari awal penentuan waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang yang diinginkan untuk beroperasi. Untuk arus gangguan hubung singkat yang dipilih sebagai titik koordinasi rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang pada hasil perhitungan, yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi di busbar 20 kV. Untuk awal penentuan waktu kerja rele arus lebih yang diinginkan untuk beroperasi, pada penyetelan sisi penyulang, hasil perhitungan ditetapkan 0,3 detik, keputusan ini diambil agar rele tidak sampai beroperasi lagi akibat adanya arus naik (inrush current) dari trafo-trafo distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukkan sedangkan yang diterapkan di lapangan 0,29 detik. Pada penyetelan sisi masukan 20 kV, hasil perhitungan sebesar 0,7 detik dan yang diterapkan di lapangan sebesar 0,75 detik.

Dari tabel (4.5) dapat diketahui perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang hasil perhitungan dengan yang diterapkan di lapangan saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa, yang ditunjukkan pada tabel di lampiran I.13.

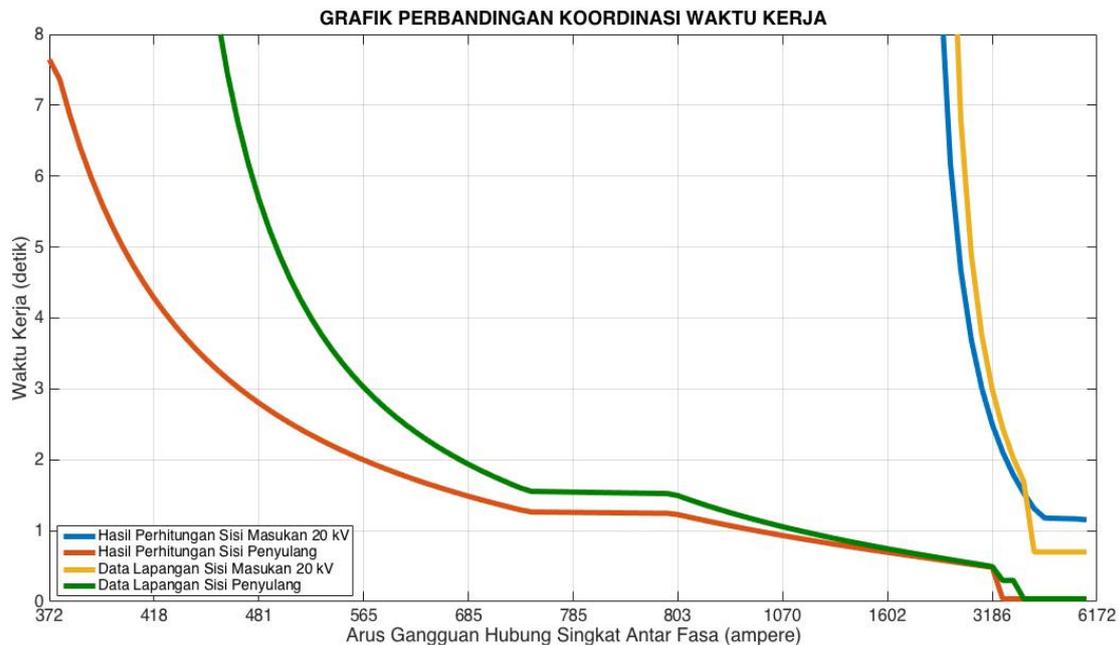
Berdasarkan tabel pada lampiran I.13 terlihat adanya perbedaan, hal ini dikarenakan adanya perbedaan-perbedaan perhitungan yang telah dijelaskan diatas. Selisih waktu kerja antara rele arus lebih sisi penyulang sebagai pengaman utama dan rele arus lebih sisi masukan 20 kV adalah 0,3-0,8 detik (Pedoman Pemeliharaan PLN, 2014,p6) maka dari itu

koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV yang diterapkan di lapangan belum sesuai dengan ketentuan PLN untuk nilai arus gangguan tertentu namun hasil perhitungan menunjukkan sedikit perbedaan hal ini karena waktu kerja rele arus lebih yang diterapkan di lapangan telah dibulatkan sesuai setelan pada peralatan rele arus lebihnya.

Dari tabel pada lampiran I.13 dapat digambarkan grafik perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan dan penyulang 20 kV hasil perhitungan dengan yang diterapkan di lapangan saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan antar fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8 dibawah ini.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang hasil perhitungan dengan yang diterapkan di lapangan saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa



Gambar 4.8 Grafik perbandingan koordinasi waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang hasil perhitungan dengan yang diterapkan di lapangan saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa

4.7. Analisis Perbedaan Setting Rele Antara Pola Pengaman Kaskade dan Non Kaskade

Pada proteksi gardu induk dengan pola kaskade, saat terjadi gangguan arus hubung singkat di sisi penyulang maka rele arus lebih akan memberikan perintah ke PMT penyulang untuk trip, jika PMT penyulang gagal terbuka maka rele arus lebih sisi masukan 20 kV sebagai rele cadangan akan bekerja dengan setelan instan ataupun invers, sedangkan proteksi dengan pola non kaskade, jika PMT penyulang gagal terbuka maka tCBF akan mengirim sinyal trip ke rele arus lebih sisi masukan 20 kV untuk segera bekerja dengan waktu tunda 0,3 detik.

Tabel 4.6

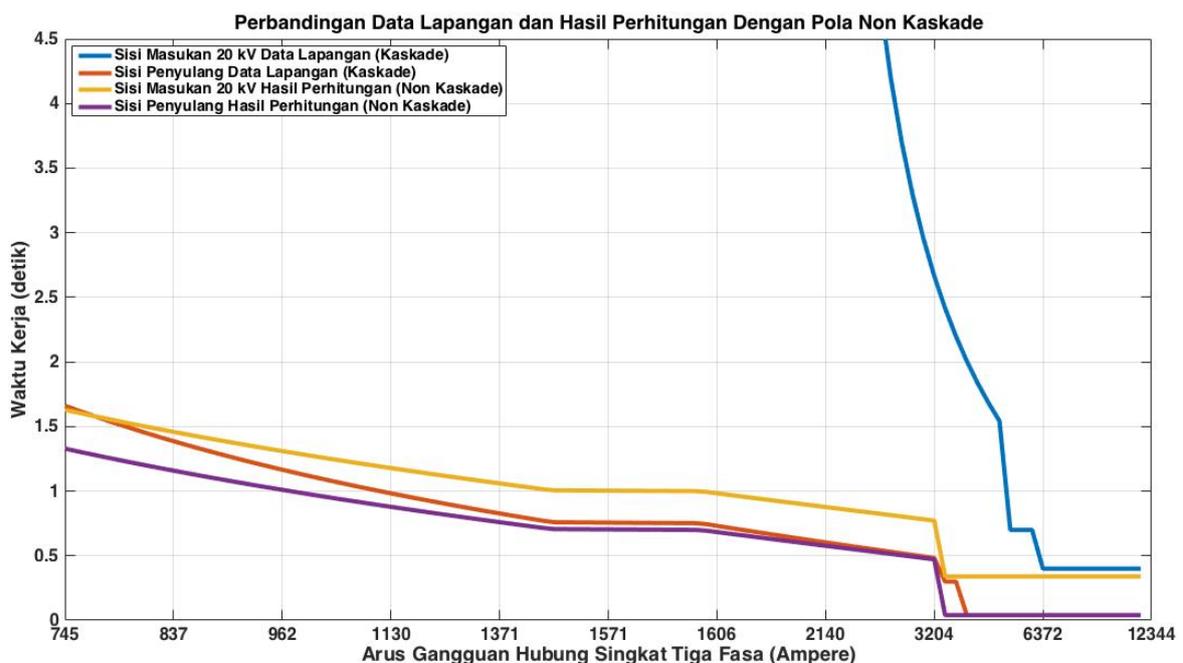
Perbandingan lama waktu kerja pola kaskade dan pola non kaskade 3 fasa

Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Hubung Singkat 3 Fasa (Ampere)	Setting Rele Arus Lebih			
		Hasil Perhitungan (non kaskade)		Data Lapangan (kaskade)	
		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
0% - 9%	12344,03 – 7070,93	0,3 detik	instan	0.4 detik	instan
10% - 12%	6372,24 – 5320,62	0,3 detik	instan	0,7 detik	instan
13% - 16%	4915,03 – 4000,15	0,3 detik	instan	invers	instan
17% -18%	3766,44 – 3558,53	0,3 detik	instan	invers	0,3 detik
19% - 32%	3372,37 – 2007,23	0,3 detik	invers	invers	invers
33% - 100%	1946,61 – 745,30	0,3 detik	invers	tidak bekerja	invers

Tabel 4.7 Perbandingan lama waktu kerja pola kaskade dan pola non kaskade antar fasa

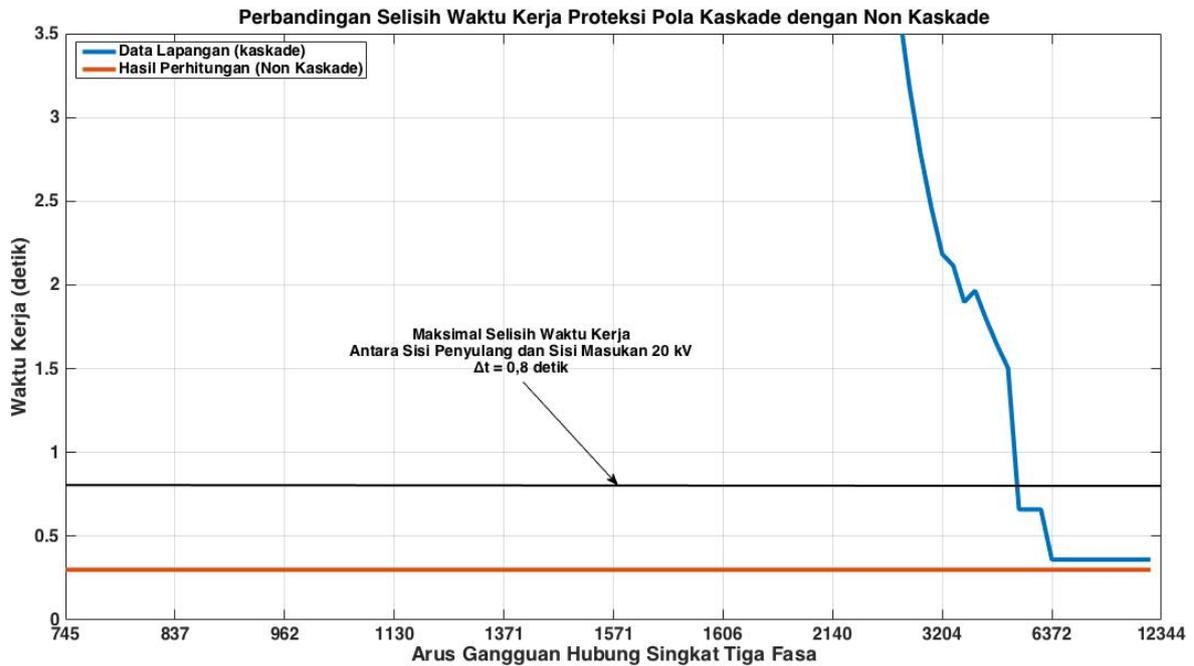
Lokasi Gangguan (% Panjang Penyulang)	Arus Hubung Singkat Antar Fasa (Ampere)	Setting Rele Arus Lebih			
		Hasil Perhitungan (non kaskade)		Data Lapangan (kaskade)	
		Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang	Sisi Masukan 20 kV	Sisi Penyulang
0% - 6%	6172,02 – 5267,62	0,3 detik	instan	0,7 detik	instan
7%	4528,27	0,3 detik	instan	invers	instan
8% - 9%	3970,8 – 3535,47	0,3 detik	instan	invers	0,3 detik
10% - 16%	3186,12 – 2000,07	0,3 detik	invers	invers	invers
17% - 93%	1883,22 - 402,91	0,3 detik	invers	tidak bekerja	invers
94% - 100%	397,93 - 372,65	0,3 detik	invers	tidak bekerja	tidak bekerja

Perbedaan setting rele arus lebih pola kaskade yang diterapkan di lapangan dengan hasil perhitungan yang menggunakan pola non kaskade untuk setiap besarnya arus gangguan 3 fasa dan antar fasa dapat dilihat pada table (4.6) dan (4.7). Untuk rincian nilainya dapat dilihat pada lampiran I.14 dan I.15 Adapun grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar (4.9) dan (4.11), dan grafik perbandingan selisih waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan sisi penyulang terdapat dilihat pada gambar (4.10) dan (4.12).

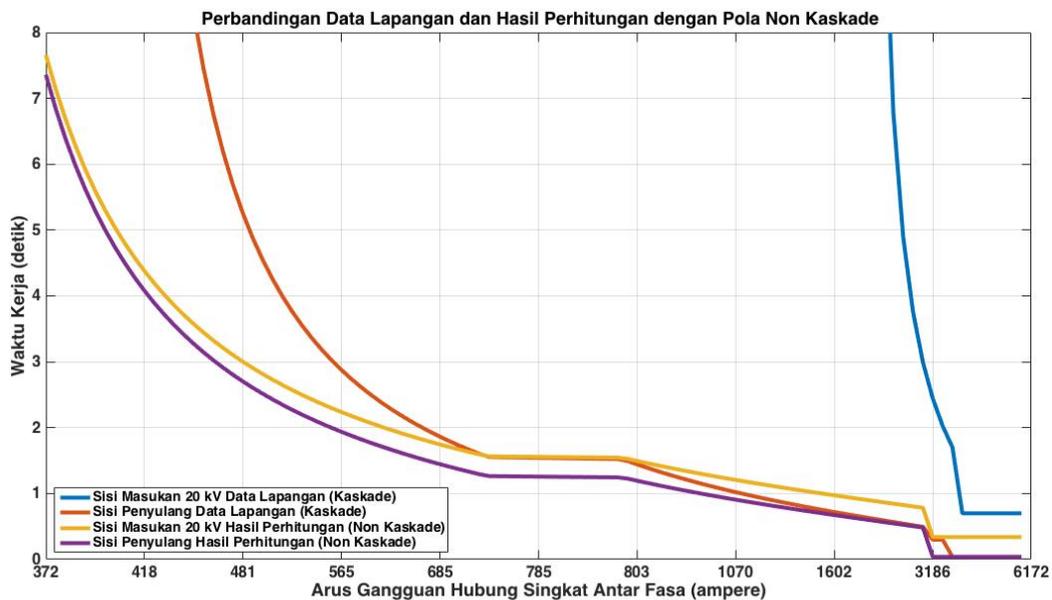


Gambar 4.9 Grafik perbandingan waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang hasil perhitungan menggunakan pola non kaskade dengan yang diterapkan di lapangan menggunakan pola kaskade saat terjadi arus gangguan hubung singkat tiga fasa

Untuk setting rele arus lebih menurut yang diterapkan di lapangan, lokasi arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada 13% - 32% panjang penyulang, selisih waktu kerja rele arus lebih antara sisi masukan 20 kV dan sisi penyulang sudah lebih dari 0,8 detik dan lokasi gangguan pada 33% - 100% panjang penyulang, rele arus lebih sisi masukan 20 kV tidak bekerja karena nilai arus gangguannya tidak lebih dari arus settingnya, sedangkan sisi penyulang masih bekerja karena nilai arus gangguannya sudah melebihi arus settingnya.

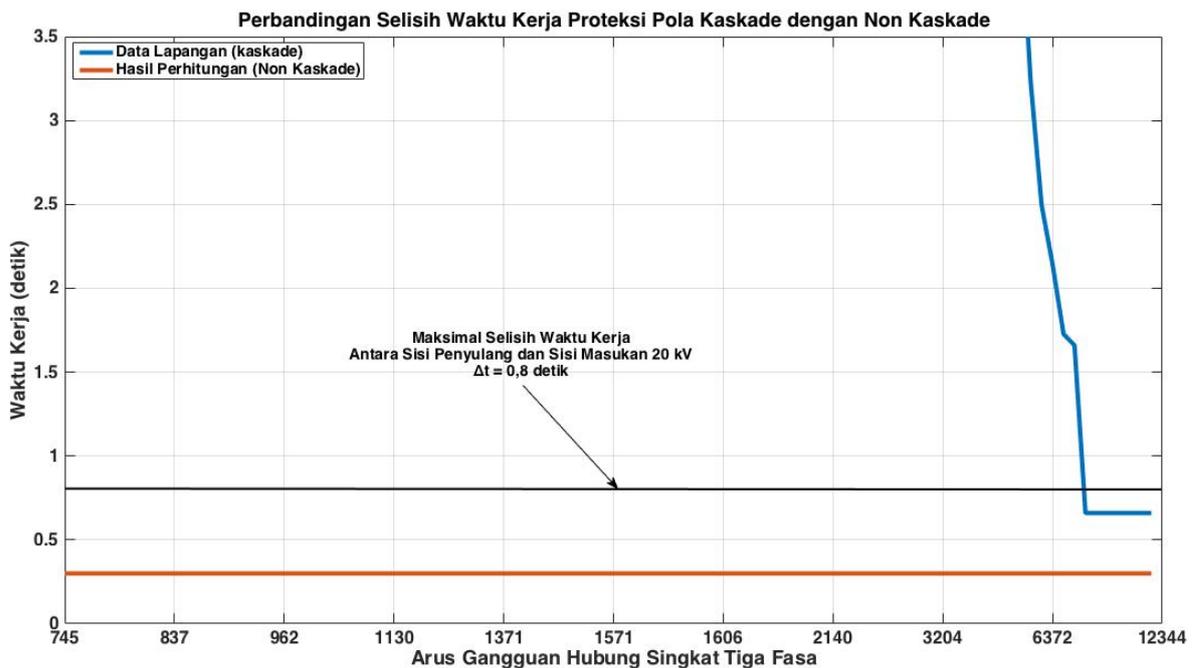


Gambar 4.10 Grafik perbandingan selisih waktu kerja antara proteksi pola kaskade dengan proteksi pola non kaskade untuk arus gangguan hubung singkat tiga fasa



Gambar 4.11 Grafik perbandingan waktu kerja rele arus lebih sisi masukan 20 kV dan penyulang hasil perhitungan menggunakan pola non kaskade dengan yang diterapkan di lapangan menggunakan pola kaskade saat terjadi arus gangguan hubung singkat antar fasa

Untuk setting rele arus lebih menurut yang diterapkan di lapangan, lokasi arus gangguan hubung singkat antar fasa pada 7% - 16% panjang penyulang, selisih waktu kerja rele arus lebih antara sisi masukan 20 kV dan sisi penyulang sudah lebih dari 0,8 detik dan lokasi gangguan pada 17% - 93% panjang penyulang, rele arus lebih sisi masukan 20 kV tidak bekerja karena nilai arus gangguannya tidak lebih dari arus settingnya, sedangkan sisi penyulang masih bekerja karena nilai arus gangguannya sudah melebihi arus settingnya dan 94% - 100% panjang penyulang, sisi masukan 20 kV dan sisi penyulang tidak bekerja



Gambar 4.12 Grafik perbandingan selisih waktu kerja antara proteksi pola kaskade dengan proteksi pola non kaskade untuk arus gangguan hubung singkat antar fasa

Dari gambar (4.9) dan (4.11) dapat dilihat ada perbedaan proteksi menggunakan pola kaskade dengan pola non kaskade dari waktu tundanya. Pola pengaman kaskade tidak memberikan pengaman yang baik karena stressing waktu yang lama apabila terjadi gangguan pada penyulang sehingga bisa menimbulkan kerusakan pada peralatan gardu induk kebon agung. Pola pengaman non kaskade memberikan pengaman yang lebih baik dibandingkan dengan pola pengaman kaskade, yaitu saat terjadi gangguan hubung singkat yang relatif besar maka waktu pemutusan (*clearing time*) relatif lebih cepat yang mengakibatkan *stressing* arus pada peralatan gardu induk kebonagung juga lebih cepat.