

BAB 4

ANALISIS KOORDINASI RELE ARUS LEBIH DAN RELE GANGGUAN TANAH SEBAGAI PENGAMAN MOTOR INDUKSI, KABEL DAN TRAF0 PADA PLANT XI DI PT INDOCEMENT

4.1 Rele Arus Lebih

4.1.1 Setting dan Koordinasi Rele Arus Lebih

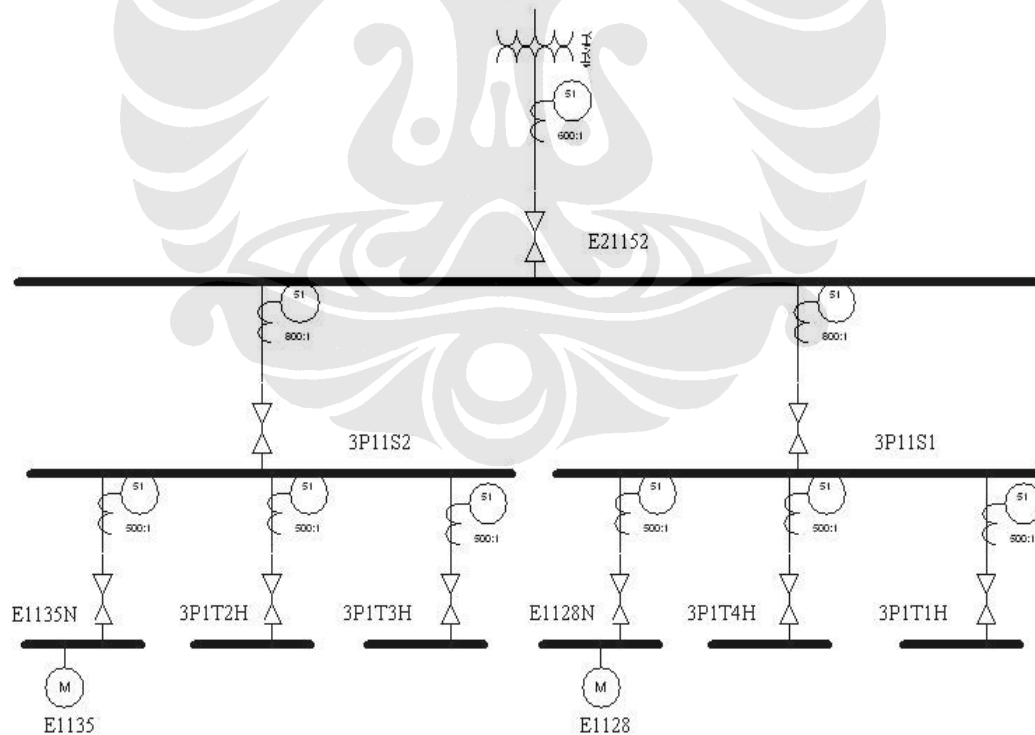
Pada skripsi ini daerah koordinasi rele arus lebih dibatasi oleh bus penyulang motor yang memiliki jumlah arus hubung singkat terbesar (3P11S2) dan memiliki motor induksi dengan kapasitas daya terbesar (3P11S1) seperti terlihat pada gambar 4.1. Dari hasil simulasi gangguan hubung singkat yang berlangsung selama 600 milidetik (30 cycle) dan 10 milidetik (0.5 cycle) masing-masing diperoleh besarnya arus gangguan hubung singkat untuk masing-masing bus sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan arus hubung singkat dari bus penyulang motor yang memiliki jumlah arus hubung singkat terbesar

Jala-Jala Listrik 2					
Nama Bus	Tegangan (kV)	Macam Gangguan (dalam kA (rms))			
		3 Fasa	L - G	L - L	L - L - G
3P1T1H	6.6	78.349	37.673	67.852	72.652
3P1T2H	6.6	87.943	47.904	76.161	84.318
3P1T3H	6.6	84.009	44.432	72.754	78.706
3P1T4H	6.6	76.202	37.280	65.993	70.190
3P11S1	6.6	93.810	58.589	81.242	93.046
3P11S2	6.6	100.873	75.023	87.359	104.186
E1128N	6.6	84.543	43.475	73.216	81.116
E1135N	6.6	92.327	53.723	79.958	89.691
E21152	6.6	117.197	149.394	101.496	146.593

Tabel 4.2 Hasil perhitungan arus hubung singkat dari bus penyalang motor

Jala-Jala Listrik 2						
Nama Bus	Tegangan (kV)	Macam Gangguan (dalam kA (rms))				
		3 Fasa	L - G	L - L	L - L - G	
3P1T1H	6.6	85.064	38.632	74.258	78.654	
3P1T2H	6.6	96.323	49.400	84.153	91.926	
3P1T3H	6.6	91.411	45.713	79.800	85.244	
3P1T4H	6.6	82.383	38.206	71.881	75.610	
3P11S1	6.6	104.052	61.062	91.054	102.604	
3P11S2	6.6	112.285	79.024	98.275	114.843	
E1128N	6.6	93.214	44.870	81.537	89.226	
E1135N	6.6	102.039	55.758	89.251	98.670	
E21152	6.6	132.145	166.903	115.794	161.206	



Gambar 4.1 Diagram satu garis penyalang 3P11S1 dan 3P11S2 di keluaran (outgoing) trafo jala-jala listrik 2 pada Plant XI PT Indocement Tunggal Prakarsa

Pada gambar 4.1, penyulang 3P11S2 mengalirkan daya ke beban motor induksi E1135 yang memiliki daya sebesar 4000 kW, arus start sebesar 1580 A, waktu start sebesar 30 detik dan faktor pelayanan (service factor) sebesar 1. Motor E1135 merupakan motor yang menggerakkan kipas pembuang debu/gas sisa (exhaust fan) hasil pembakaran bahan baku semen. Penyulang 3P11S1 mengalirkan daya ke beban motor induksi E1128 yang memiliki daya sebesar 5000 kW, arus start sebesar 1210 A, waktu start sebesar 25 detik dan faktor pelayanan sebesar 1. Motor E1128 merupakan motor yang menggerakkan penggilingan bahan baku semen. Penyulang 3P11S1 dan 3P11S2 juga mengalirkan daya ke masing-masing motor berkapasitas kecil melalui masing-masing trafo yang terhubung ke bus 3P1T2H, 3P1T3H, 3P1T4H, dan 3P1T1H. Rele arus lebih waktu terbalik bertipe ABB SPCJ 4D24 yang terpasang di setiap penyulang motor memiliki tambahan fungsi yaitu sebagai pengaman beban lebih. Pada skripsi ini, rele arus lebih waktu seketika yang disetting hanya rele yang terdapat pada penyulang motor saja. Pada rele arus lebih tipe ABB SPCJ, jangkauan tetapan setting arusnya yang digunakan bervariasi seperti 0.05 sampai 2.4 dengan tingkat (step) 0.05 dan 0.25 sampai 12 dengan tingkat (step) 0.25. Arus nominal (I_n) yang digunakan adalah 1 A. Ratio (perbandingan) arus primer dan sekunder dari trafo arus bermacam-macam seperti tabel berikut.

Tabel 4.3 Perbandingan sisi primer dan sekunder trafo arus pada masing-masing rele

Letak Rele (Bus Penyulang)	CT Ratio
3P1T1H	150/1
3P1T2H	150/1
3P1T3H	150/1
3P1T4H	50/1
3P11S1	800/1
3P11S2	800/1
E1128N	600/1
E1135N	500/1
E21152	600/1

Kondisi operasi normal yang dirasakan oleh rele sebagai adanya gangguan arus lebih adalah pada saat motor *start*. Kondisi operasi normal terberat yang diperhitungkan dalam analisis unjuk kerja sistem pengaman arus lebih adalah pada saat motor terbesar *start*.

Kondisi operasi start motor ini merupakan keadaan tiga fasa seimbang, oleh karena itu analisis unjuk kerja rele terhadap operasi start motor adalah untuk kerja rele arus lebih gangguan fasa. Jika motor mengalami start yang berat karena dikopel dengan beban yang memiliki torsi cukup besar, maka waktu start yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan nominal dapat menjadi lebih lama. Penyetelan waktu rele arus lebih di penyulang motor seharusnya 25 – 30 detik dengan kurva karakteristik rele arus lebih jenis *very inverse* atau *long time inverse* yang dikombinasikan dengan rele arus lebih jenis seketika (*instantaneous*) yang bekerja terlebih dahulu jika terjadi gangguan hubung singkat. Menurut IEEE Std C37.96-2000 memberikan standar bahwa selisih waktu kerja rele pada waktu start dengan waktu start motor adalah 2 detik untuk motor dengan waktu start 5-10 detik dan 5 detik untuk motor dengan waktu start lebih dari 10 detik. Dengan ketentuan ini, maka waktu kerja rele di penyulang motor E1128 dan E1135 yang diinginkan terhadap operasi start adalah masing-masing 30 dan 35 detik.

Rele arus lebih jenis waktu seketika digunakan sebagai pelindung dari gangguan hubung singkat di penyulang motor. Berdasarkan IEEE Std C37.96-2000, rele ini dapat diset antara 165% - 250% dari arus rotor terkunci (*Locked Rotor Current/LRA*). Namun biasanya ditambahkan sebesar 10% - 25% sebagai faktor aman (*safety factor*) ketika setting arus dihitung. Rele arus lebih waktu seketika jenis *High Drop Out (HDO)* mencegah rele arus lebih waktu terbalik agar tidak bekerja pada saat motor start. Dengan konfigurasi tersebut, rele arus lebih waktu seketika dapat disetting lebih sensitif tanpa adanya kekhawatiran pemutus tenaga terbuka karena beban lebih. Setting rele waktu seketika jenis HDO dapat diset 125%-200% dari arus beban penuh. Setting rele arus lebih seketika seharusnya juga lebih besar dari arus kontribusi maksimum dari motor di penyulang tersebut ketika terjadi gangguan hubung singkat di penyulang yang lain. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi pemadaman di penyulang motor tersebut karena rele arus lebih

seketika menganggap arus kontribusi maksimum motor sebagai arus gangguan hubung singkat. Namun penyetelan arus tersebut diusahakan tidak terlalu jauh dibandingkan arus kontribusi maksimum motor ketika terjadi gangguan hubung singkat. Setting rele ini pada umumnya memiliki jangkauan seperti berikut.

$$I_{\text{instananeous}} = (1.2 \text{ s/d } 2) \times I_{\text{maksimum}} \quad (4.1)$$

Dimana I_{maksimum} adalah arus kontribusi maksimum motor ketika terjadi gangguan hubung singkat.

Pada skripsi ini menggunakan standar ANSI/IEEE sehingga untuk mendapatkan baik waktu kerja rele maupun nilai TMS tiap kurva rele dapat menggunakan rumus berikut :

$$t = \left(\frac{A}{M^p - 1} + B \right) \cdot TMS \quad (4.2)$$

M adalah pembagian dari arus gangguan hubung singkat pada sisi sekunder trafo arus (CT) terhadap setting arus (MTVC – Multiple of Tap Value current). Sedangkan untuk konstanta A, B dan p untuk masing-masing karakteristik di atas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.4 Konstanta karakteristik rele arus lebih waktu terbalik menurut standar IEEE

Karakteristik	A	B	p
Short Time Inverse	0,019	0,113	0,04
Moderately Inverse	0,052	0,113	0,02
Inverse	8,93	0,179	2,09
Very Inverse	18,92	0,492	2
Exteremely Inverse	28,08	0,13	2
Long Time Inverse	5,61	2,18	2,09

Perhitungan arus setting dan TMS masing-masing rele arus lebih waktu terbalik yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu seketika di penyulang motor E1128N dan E1135N diuraikan sebagai berikut.

Untuk motor E1128, $I_{\text{beban penuh}} = 523.2 \text{ A}$

Ratio (perbandingan) trafo arus (Current Transformer/CT) = 600/1

$$I_{set} (I_{sek} CT) = 1.3 \times I_{beban\ penuh} \times 1/CT = 1.3 \times 523.2 \times (1/600) = 1.1336 \text{ A}$$

Maka rele arus lebih dapat diset pada tap = 1.2 atau arus primer pickup rele adalah 720 A. Besarnya arus start motor adalah 1210 A pada sisi primer trafo arus dan 2.02 A pada sisi sekunder trafo arus. Waktu kerja rele di penyulang E1128N yang diinginkan terhadap operasi start motor adalah 30 detik sehingga nilai TMS dengan menggunakan kurva karakteristik rele arus lebih jenis long time inverse diperoleh :

$$TMS = \frac{t}{\left[\frac{5.61}{\left(\frac{I_{start}}{I_{set}} \right)^{2.09} - 1} + 2.18 \right]}$$

$$TMS = \frac{30}{\left[\frac{5.61}{\left(\frac{2.02}{1.2} \right)^{2.09} - 1} + 2.18 \right]}$$

$$TMS = 5.96.$$

Sedangkan rele arus lebih seketika diset 200% (175% + faktor keamanan 25%) dari arus rotor terkunci yang bernilai 2420 A. Rele arus lebih waktu seketika jenis HDO diset 150% dari arus beban penuh yang bernilai 637.95 A.

Perhitungan setting rele arus lebih waktu terbalik dan seketika seperti diatas sudah memenuhi selektivitas koordinasi kurva rele dengan kurva start motor yang dapat dilihat pada gambar 4.4. Rele arus lebih seketika mengamankan rele arus lebih waktu terbalik untuk tidak bekerja ketika motor sedang start.

Untuk motor E1135, $I_{beban\ penuh} = 425.3 \text{ A}$

Ratio (perbandingan) trafo arus (Current Transformer/CT) = 500/1

$$I_{set} (I_{sek} CT) = 1.3 \times I_{beban\ penuh} \times 1/CT = 1.3 \times 425.3 \times (1/500) = 1.105 \text{ A}$$

Maka rele arus lebih dapat diset pada tap = 1.2 atau arus primer pick up rele adalah 600 A. Besarnya arus start motor adalah 1580 A pada sisi primer trafo arus

dan 3.16 A pada sisi sekunder trafo arus. Waktu kerja rele di penyulang E1135N yang diinginkan terhadap operasi start motor adalah 35 detik sehingga nilai TMS dengan menggunakan kurva karakteristik rele arus lebih jenis long time inverse diperoleh :

$$TMS = \frac{t}{\left[\frac{5.61}{\left(\frac{I_{start}}{I_{set}} \right)^{2.09} - 1} + 2.18 \right]}$$

$$TMS = \frac{35}{\left[\frac{5.61}{\left(\frac{3.16}{1.2} \right)^{2.09} - 1} + 2.18 \right]}$$

$$TMS = 11.53.$$

Sedangkan rele arus lebih seketika diset 200% (175% + faktor kemanan 25%) dari arus rotor terkunci yang bernilai 3160 A. Rele arus lebih waktu seketika jenis HDO diset 150% dari arus beban penuh yang bernilai 784.8 A.

Perhitungan setting rele arus lebih waktu terbalik dan seketika seperti diatas sudah memenuhi selektivitas koordinasi kurva rele dengan kurva start motor yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Rele arus lebih seketika mengamankan rele arus lebih waktu terbalik untuk tidak bekerja ketika motor sedang start.

Untuk menghitung setting rele arus lebih maka perlu diperhatikan jangkauan arus untuk membagi fungsi rele baik sebagai pengaman utama di penyulangnya maupun pengaman cadangan di penyulang berikutnya yang dirumuskan sebagai berikut :

$$1.3I_{load} < I_{set} < 0.8I_{short\ min} \quad (4.3)$$

Dimana arus setting rele lebih besar daripada 1.3 X arus beban penuh (I_{load}) sehingga rele tidak memerintahkan pemutus tenaga terbuka (trip) ketika sistem dalam kondisi beban puncak dan lebih kecil daripada 0.8 kali arus gangguan hubung singkat 2 fasa dalam kondisi pembangkitan minimum. Rumus diatas dapat

ditetapkan sebagai penentu batas atas dan batas bawah untuk menentukan arus setting rele arus lebih. Sementara perhitungan arus setting adalah sebagai berikut :

$$I_{\text{setting}} = \frac{I_{\text{pickup}}}{CT_{\text{ratio}} \times I_n} \quad (4.4)$$

Besarnya arus beban penuh di tiap bus adalah :

Tabel 4.5 Arus beban penuh tiap bus dari penyulang keluaran trafo jala-jala listrik 2

Nama Bus	Arus Beban Penuh (A)
3P1T1H	103.56
3P1T2H	79.19
3P1T3H	99.4
3P1T4H	33.82
3P11S1	662.06
3P11S2	604.63
E1128N	525.25
E1135N	426.59
E21152	2800.96

Perhitungan arus setting rele arus lebih waktu terbalik menggunakan data gangguan hubung singkat dengan waktu gangguan selama 600 milidetik pada simulasi di ETAP 4.0 karena impedansi yang digunakan adalah impedansi peralihan generator sedangkan rele arus lebih waktu seketika menggunakan data gangguan hubung singkat dengan waktu gangguan selama 10 milidetik pada simulasi di ETAP 4.0 karena impedansi yang digunakan adalah impedansi subperalihan generator dan motor.

Dengan menggunakan persamaan 3.3, kita menghitung arus setting rele pada semua penyulang seperti pada gambar 4.1 dalam sebuah jangkauan arus pickup seperti berikut.

Arus pickup rele arus lebih dengan mengambil contoh pada penyulang 3P1T1H adalah :

$$1.3 \times 103.56 \text{ A} < I_{\text{pickup}} < 0.8 \times 67852 \text{ A (arus gangguan hubung singkat 2 fasa)}$$

$$134.628 \text{ A} < I_{\text{pickup}} < 54281 \text{ A}$$

Sehingga tetapan rele arus lebih menjadi :

$$\frac{134.628}{\left(\frac{150}{1}\right) \times 1} < I_{\text{set}} < \frac{54281}{\left(\frac{150}{1}\right) \times 1}$$

$$0.8975 \text{ A} < I_{\text{set}} < 361.87 \text{ A}$$

Dengan cara yang sama dengan diatas maka didapatkan jangkauan setting arus seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4.6 Arus setting rele arus lebih waktu terbalik dengan jangkauan arus batas bawah dan batas atas

nama penyulang	setting rele arus lebih (A)	
	arus batas bawah	arus batas atas
3P1T1H	0.8975	361.87
3P1T2H	0.686	406.192
3P1T3H	0.8615	388.02
3P1T4H	0.879	1055.888
3P11S1	1.076	81.242
3P11S2	0.9825	87.359
E1128N	1.138	97.621
E1135N	1.109	127.933
E21152	6.0687	135.328

Dalam koordinasi rele arus lebih, rele harus dapat bekerja sesuai dengan cakupan daerah pengamanannya dan adanya rele cadangan dengan beda interval waktu tertentu yang harus bekerja bila rele yang bersangkutan gagal bekerja. Penentuan karakteristik rele dapat berubah sesuai dengan kebutuhan koordinasi dengan batasan bahwa waktu kerja rele harus lebih kecil dibandingkan waktu maksimum kabel dan trafo dalam menahan arus gangguan hubung singkat yang berlangsung. Di plant XI PT Indocement ini, antara bus penyulang menggunakan konduktor tembaga berisolasi XLPE 120 mm², 185 mm² dan 240 mm² dengan tegangan maksimum 12 kV. Konduktor XLPE 120 mm² terdapat di penyulang 3P1T1H, 3P1T2H, 3P1T3H, 3P1T4H, E1128N, dan E1135N. Konduktor XLPE 185 mm² terdapat di penyulang 3P11S1 dan 3P11S2. Konduktor XLPE 185 mm² terdapat di penyulang E21152. Temperatur konduktor sebelum terjadi gangguan hubung

singkat sebesar 90° C dan temperatur konduktor maksimum ketika terjadi gangguan sebesar 250° C. Untuk koordinasi rele yang berada pada awal penyulang yang dalam skripsi ini di penyulang E21152, TMSnya harus paling besar agar tetap selektif terhadap semua penyulang motor.

Dari hasil perhitungan dan simulasi koordinasi peralatan pengaman di kurva arus dan waktu, diperoleh hasil penyettingan rele arus lebih waktu terbalik dan rele arus lebih seketika yang akan diuraikan sebagai berikut.

1. Rele 3P1T1H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

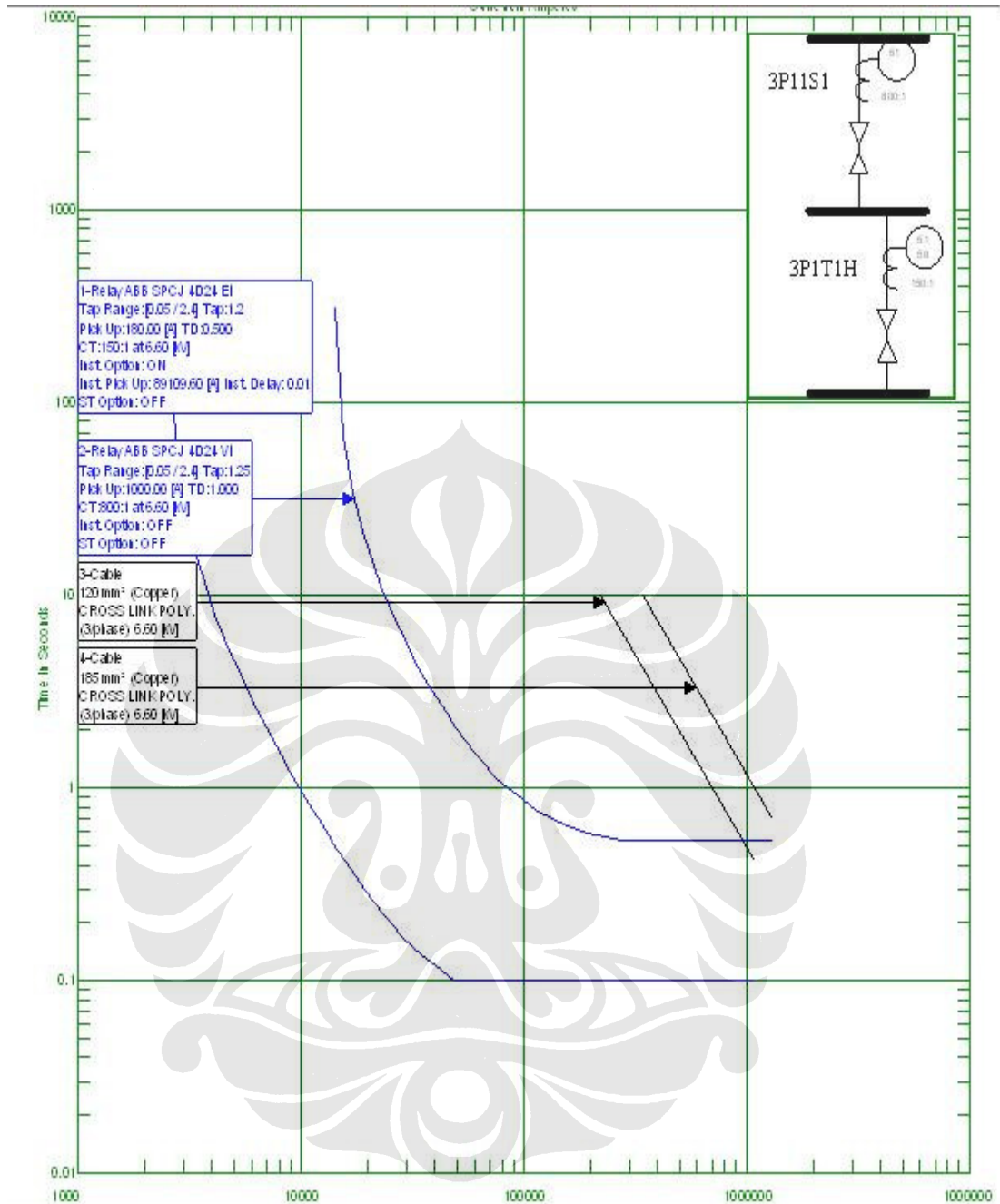
Arus setting : 1.2 A

TMS : 0.5

t_{operasi} : 0.12 detik

$I_{\text{instananeous}}$: 89109.6 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.2, waktu kerja rele 3P1T1H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3255 detik.



Gambar 4.2 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele 3P1T1H dan 3P11S1

2. Rele 3P1T2H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

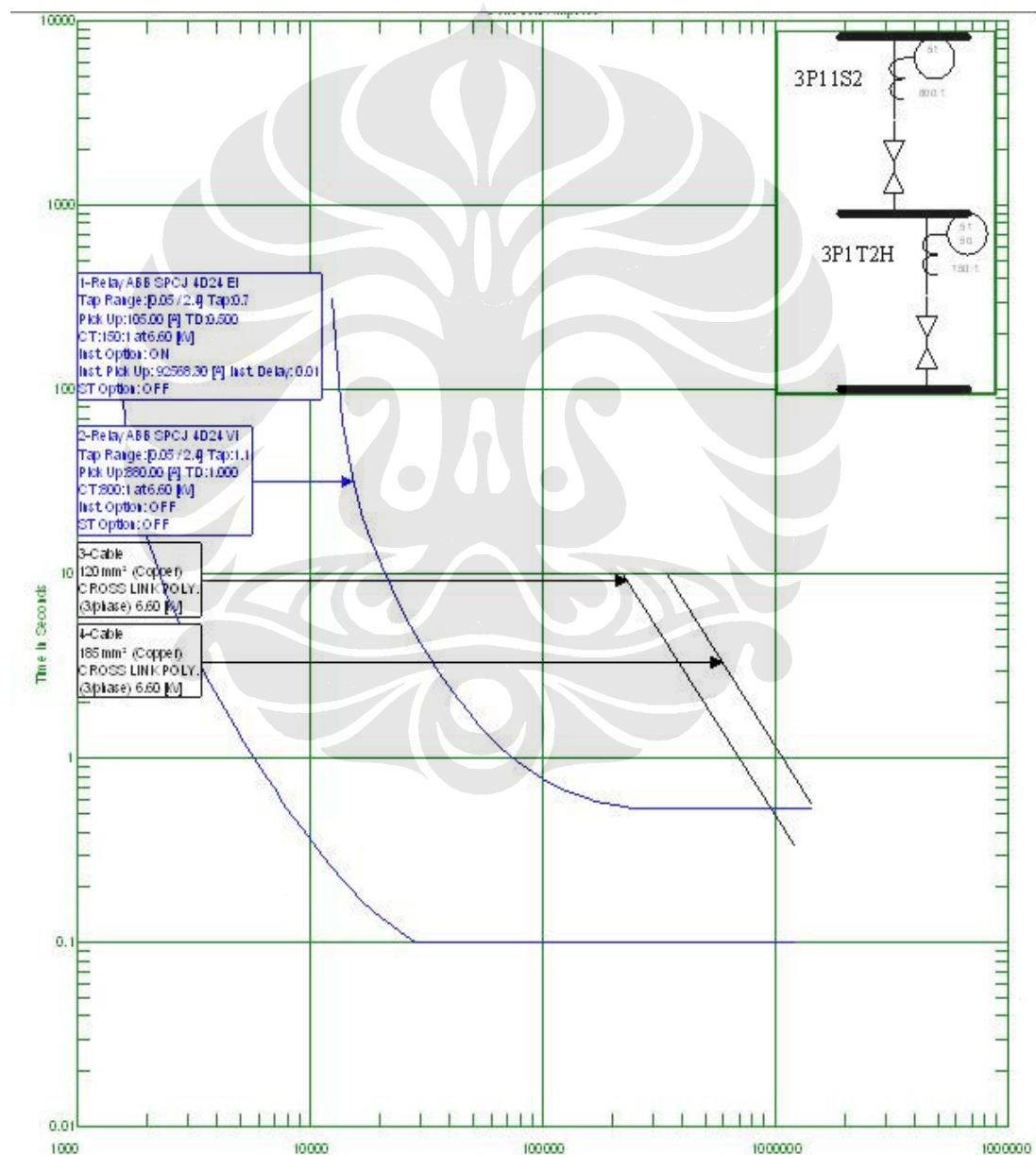
Arus setting : 0.7 A

TMS : 0.5

t_{operasi} : 0.12 detik

$I_{\text{instananeous}}$: 92568.3 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.3, waktu kerja rele 3P1T2H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.2377 detik.



Gambar 4.3 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele 3P1T2H dan 3P11S2

3. Rele 3P1T3H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

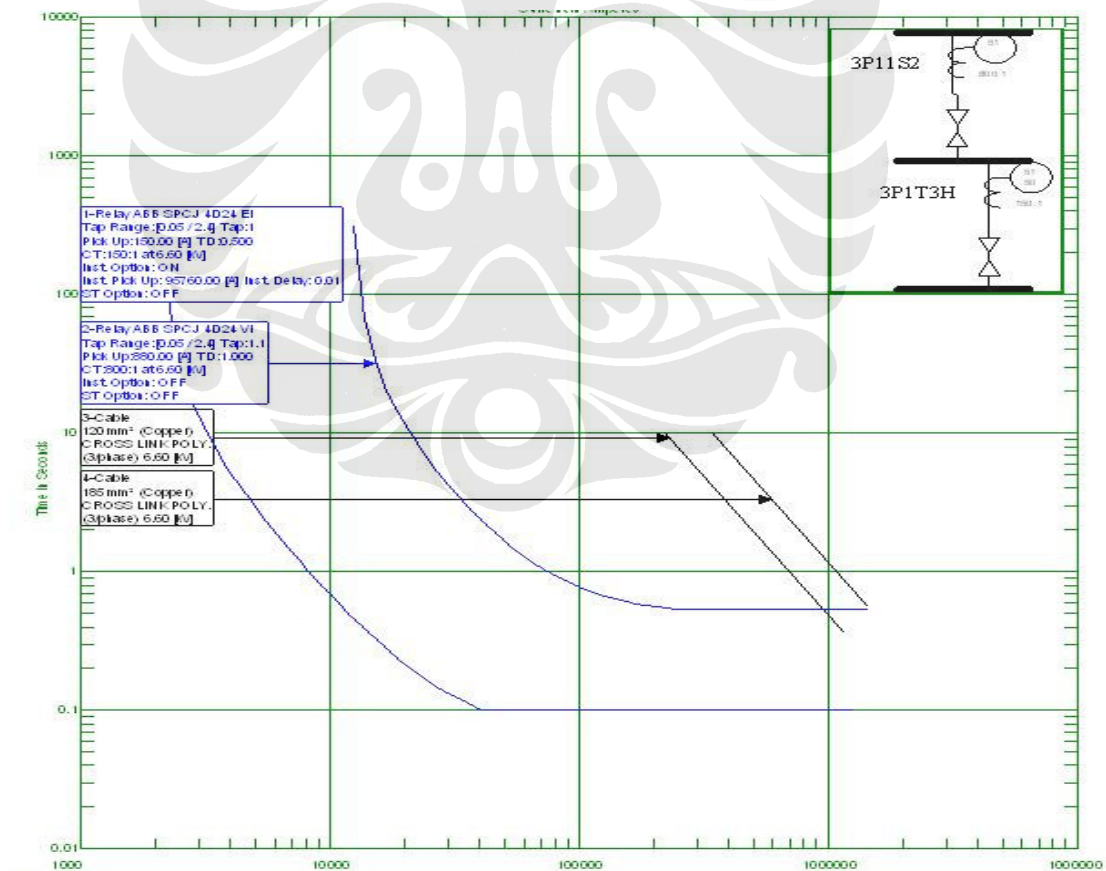
Arus setting : 1 A

TMS : 0.5

$t_{operasi}$: 0.12

$I_{instananeous}$: 95760 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.4, waktu kerja rele 3P1T3H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.2701 detik.



Gambar 4.4 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele 3P1T3H dan 3P11S2

4. Rele 3P1T4H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

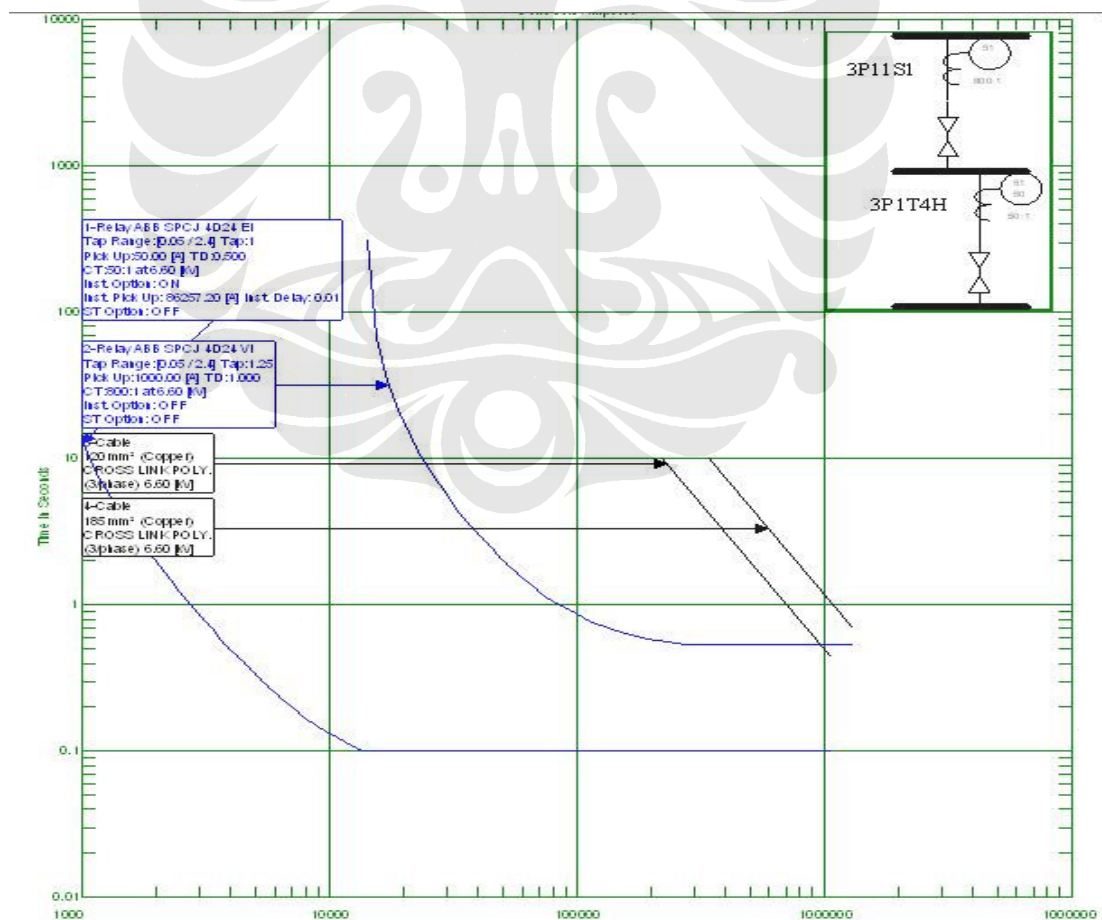
Arus setting : 1 A

TMS : 0.5

$t_{operasi}$: 0.12 detik

$I_{instananeous}$: 86257.2 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.5, waktu kerja rele 3P1T4H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3498 detik.



Gambar 4.5 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele 3P1T4H dan 3P11S1

5. Rele E1128N

Kurva Karakteristik : Long Time Inverse

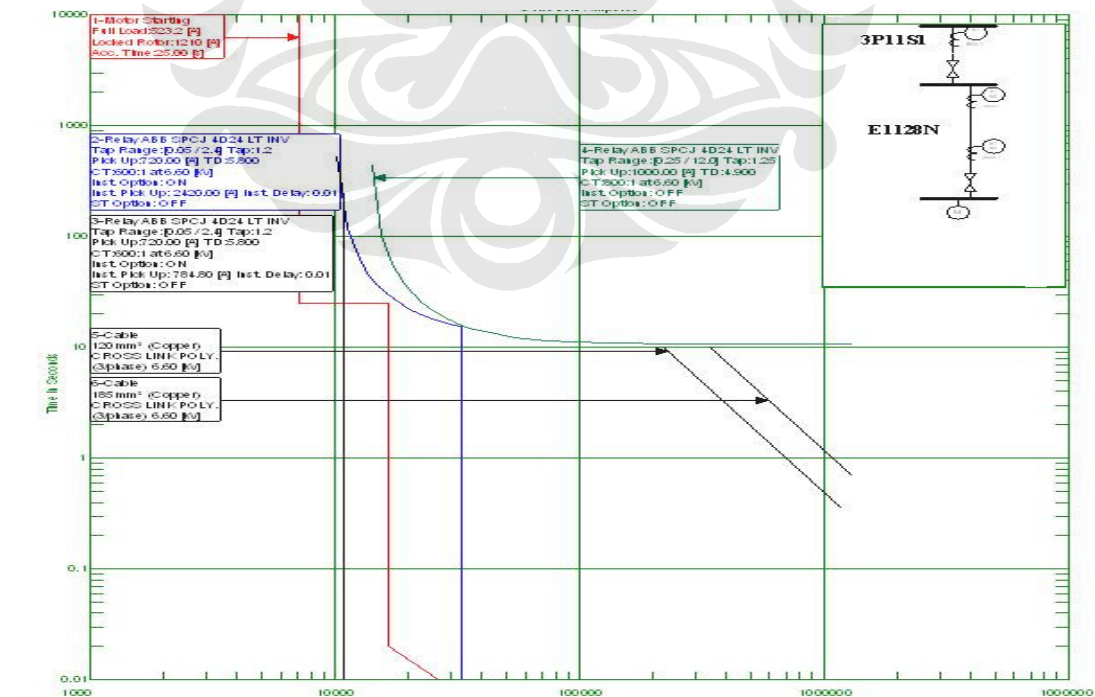
Arus setting : 1.2 A

TMS : 5.8

$t_{operasi}$: 30.1816 detik

$I_{instananeous}$: 2420 A

Pada perhitungan sebelumnya diperoleh TMS sebesar 5.96 yang kemudian diset menjadi 5.8. Dengan menggunakan kurva karakteristik long time inverse dan waktu kerja rele seperti di atas maka sudah cukup memberikan kesempatan motor untuk start karena selisih (margin) antara waktu kerja rele dengan waktu start motor sebesar 5.1816 detik. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.6, waktu kerja rele E1128N sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3556 detik.



Gambar 4.6 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele E1128N dan 3P11S1

6. Rele E1135N

Kurva Karakteristik : Long Time Inverse

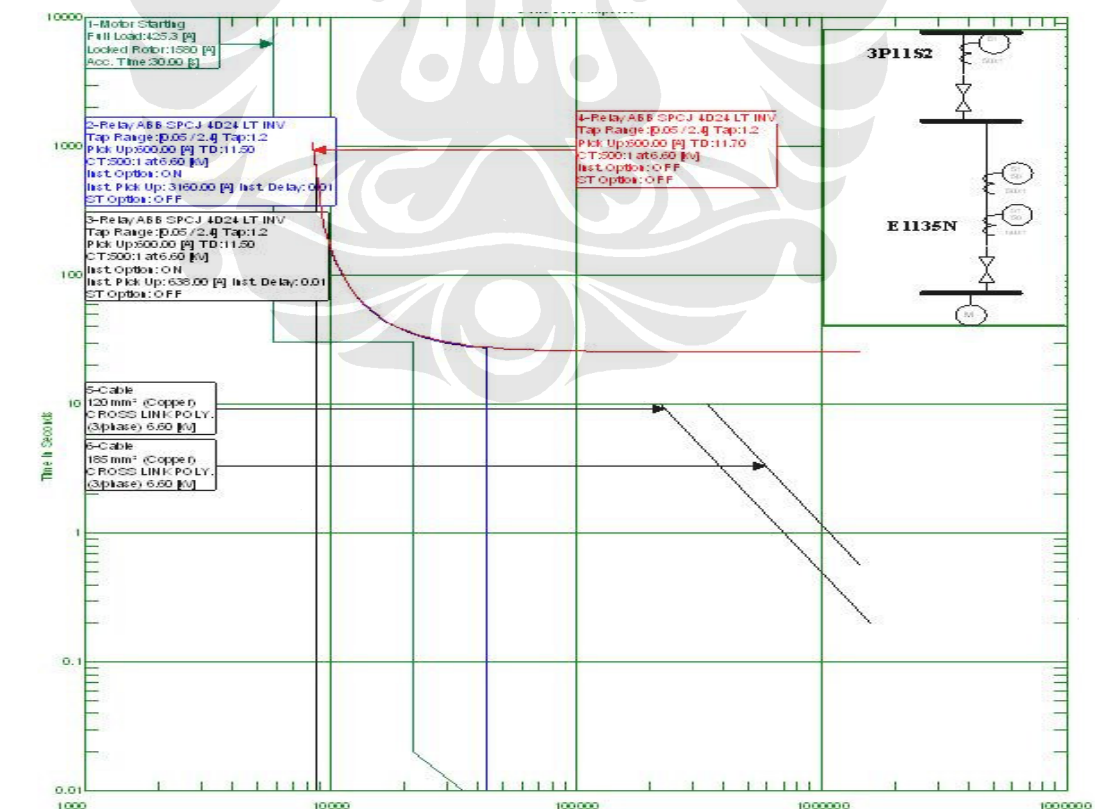
Arus setting : 1.2 A

TMS : 11.5

$t_{operasi}$: 35.0549 detik

$I_{instananeous}$: 3160 A

Pada perhitungan sebelumnya TMS bernilai 11.53 yang diset menjadi 11.5 sudah cukup memberikan kesempatan motor untuk start karena selisih (margin) antara waktu kerja rele dengan waktu start motor sebesar 5.0549 detik. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.7, waktu kerja rele E1135N sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.2966 detik.



Gambar 4.7 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele E1135N dan 3P11S2

7. Rele 3P11S1

Kurva Karakteristik : Normally inverse

Arus setting : 2 A

TMS : 2.5

$t_{operasi}$: 0.588 detik

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa ($I_{hs3fasa}$) pada penyulang ini adalah 93810 A dan $I_{hs3fasa}$ pada sisi sekunder trafo arus adalah 117.2625 A.

Untuk mendapatkan setting rele 3P11S1 yang berkoordinasi dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele 3P1T1H dan 3P1T4H adalah 0.12 detik. Arus setting rele 3P11S1 sebesar 1.25 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S1 yang diset menjadi 1. Pada gambar 4.2 dan 4.5, koordinasi antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik very inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H berdasarkan gambar 4.2 dan 4.5 masing-masing sebesar 0.4392 detik. Pada gambar 4.2 dan 4.5, waktu kerja rele 3P11S1 sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya masing-masing sebesar 0.1664 detik.

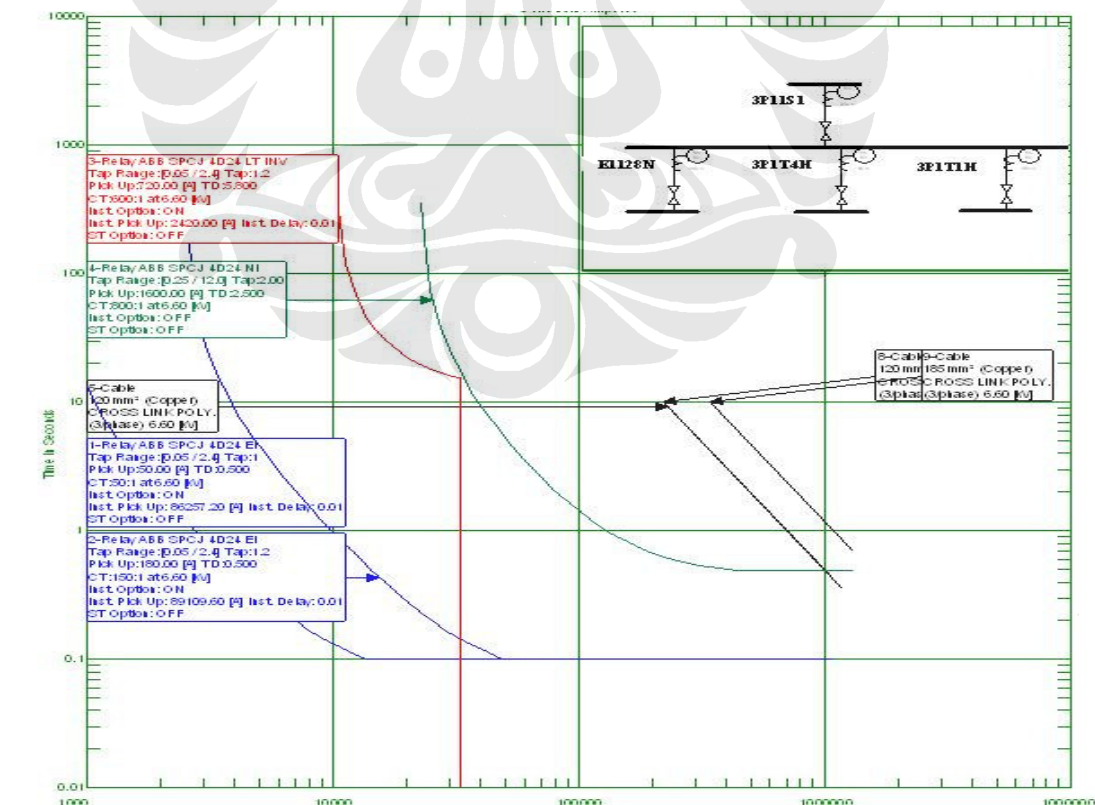
Untuk mendapatkan setting rele 3P11S1 yang berkoordinasi dengan rele E1128N dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele E1128N adalah 30.1816 detik. Arus setting rele 3P11S1 sebesar 1.25 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S1 yang diset menjadi 4.9. Pada gambar 4.4, koordinasi antara rele 3P11S1 dengan rele E1128N sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik Long Time inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S1 dengan rele E1128N berdasarkan gambar 4.4 sebesar 0.4821 detik. Pada gambar 4.6, waktu kerja rele 3P11S1 diatas waktu

kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.9962 detik. Dengan kondisi seperti ini, kabel akan rusak akibat waktu ketahanan maksimum setelah terjadinya gangguan hubung singkat terlewati.

Dengan settingan tersebut diatas, maka koordinasi antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H, 3P1T4H dan E1128N tidak baik karena menghasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H menjadi sangat besar dan tidak sesuai dengan interval waktu yang seharusnya antara 0.3 s/d 0.5 detik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu perubahan kurva karakteristik rele 3P11S1 dengan menggunakan kurva karakteristik normally inverse. Arus setting dan total waktu kerja rele masing-masing sebesar 2 A dan 0.588 detik sehingga TMS diset pada nilai 2.5. Dengan settingan tersebut, maka dihasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H sebesar 0.39 detik sedangkan antara rele 3P11S1 dengan rele E1128N sebesar 0.4802 detik. Pada gambar 4.8, waktu kerja rele 3P11S1 dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel yang interval waktunya sebesar 0.2156 detik.



Gambar 4.8 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele 3P11S1, E1128N, 3P1T4H, 3P1T1H

8. Rele 3P11S2

Kurva Karakteristik : Normally inverse

Arus setting : 3 A

TMS : 2.5

$t_{operasi}$: 0.588 detik

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa ($I_{hs3fasa}$) pada penyulang ini adalah 100.873 A dan $I_{hs3fasa}$ pada sisi sekunder trafo arus adalah 126.09125 A.

Untuk mendapatkan setting rele 3P11S2 yang berkoordinasi dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele 3P1T2H dan 3P1T3H adalah 0.12 detik. Arus setting rele 3P11S2 sebesar 1.1 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S2 yang diset menjadi 1. Pada gambar 4.3 dan 4.4, koordinasi antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik very inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H berdasarkan gambar 4.3 dan 4.4 masing-masing sebesar 0.4392 detik. Pada gambar 4.3 dan 4.4, waktu kerja rele 3P11S2 sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya masing-masing sebesar 0.0328 detik.

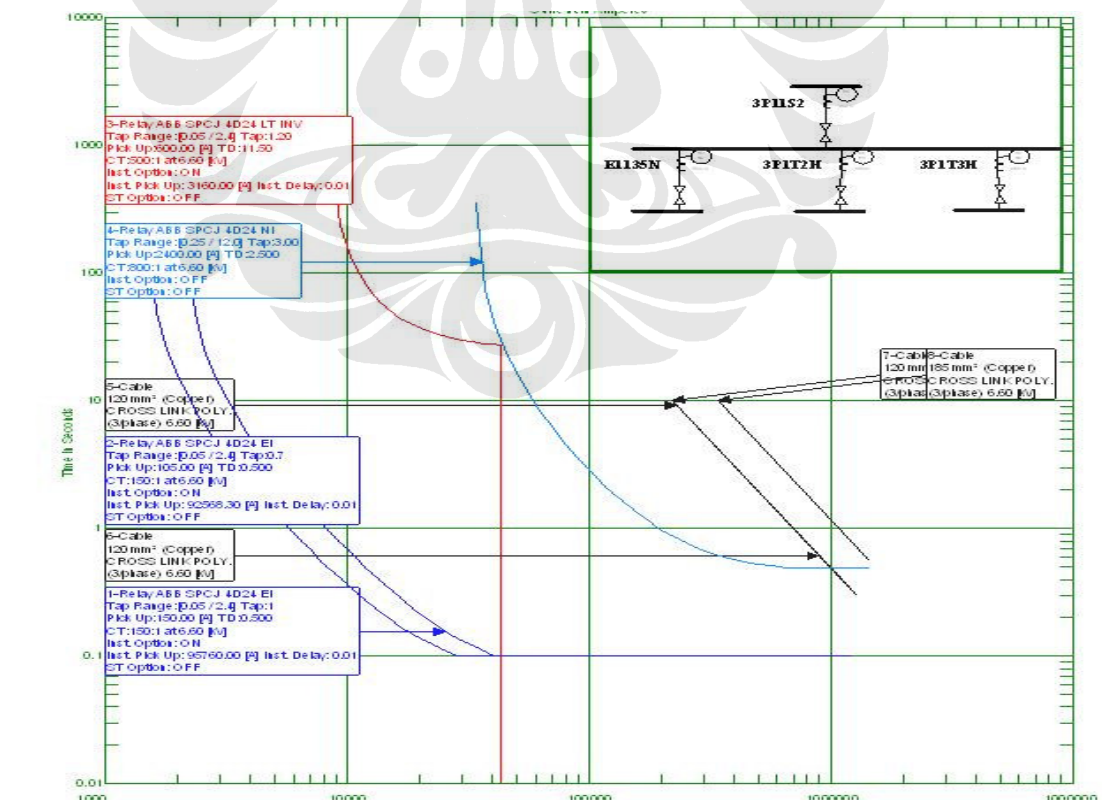
Untuk mendapatkan setting rele 3P11S2 yang berkoordinasi dengan rele E1135N dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele E1135N adalah 35.0549 detik. Arus setting rele 3P11S2 sebesar 1.2 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S2 yang diset menjadi 11.7. Pada gambar 4.7, koordinasi antara rele 3P11S2 dengan rele E1135N sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik Long Time inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S2 dengan rele E1135N berdasarkan gambar 4.7 sebesar 0.4739 detik. Pada gambar 4.7, waktu kerja rele 3P11S1 diatas waktu

kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 15.9135 detik. Dengan kondisi seperti ini, kabel akan rusak akibat waktu ketahanan maksimum setelah terjadinya gangguan hubung singkat terlewati.

Dengan setingan tersebut, maka koordinasi antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H, 3P1T3H dan E1135N tidak baik karena menghasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H menjadi sangat besar dan tidak sesuai dengan interval waktu yang seharusnya antara 0.3 s/d 0.5 detik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu perubahan kurva karakteristik rele 3P11S2 dengan menggunakan kurva karakteristik normally inverse. Arus setting dan total waktu kerja rele masing-masing sebesar 3 A dan 0.588 detik sehingga TMS diset pada nilai 2.5. Dengan setingan tersebut, maka dihasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H sebesar 0.39 detik sedangkan antara rele 3P11S2 dengan rele E1135N sebesar 0.4802 detik. Pada gambar 4.9, waktu kerja rele 3P11S2 dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel yang interval waktunya sebesar 0.082 detik.



Gambar 4.9 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele 3P11S2, E1135N, 3P1T2H, 3P1T3H

9. Rele E21152

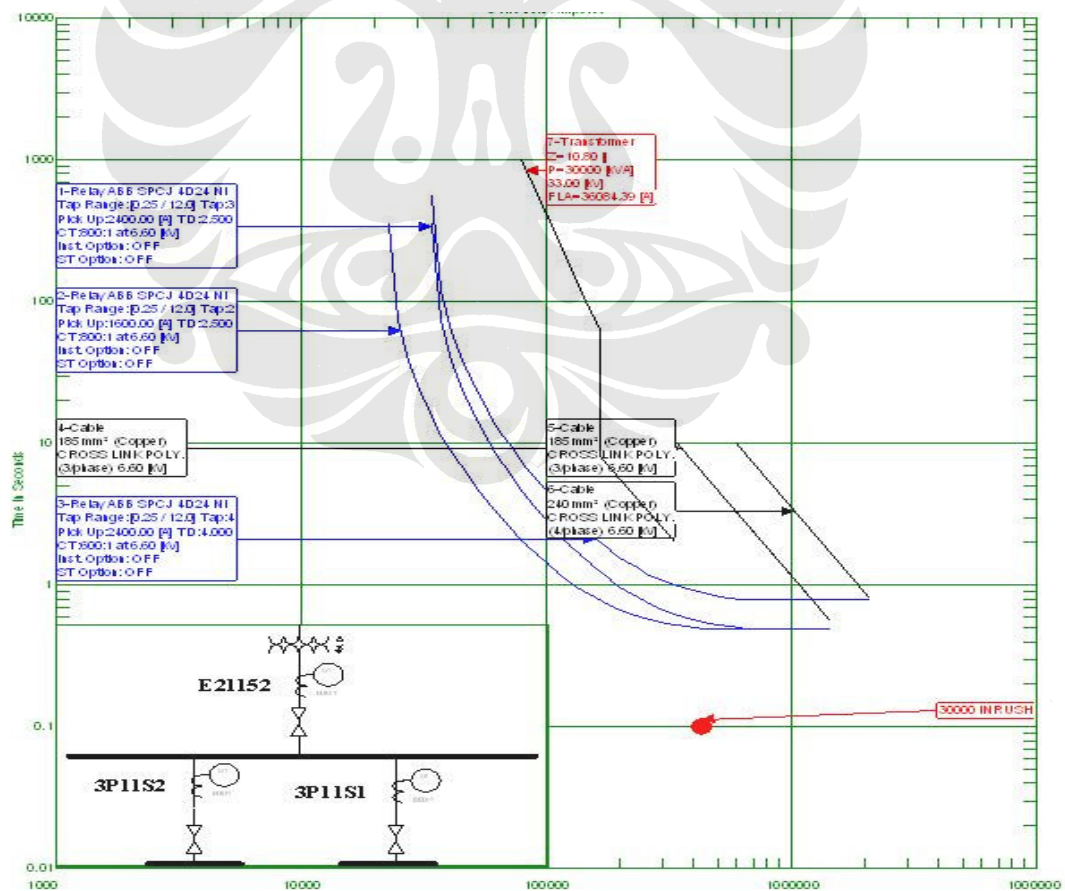
Kurva Karakteristik : Normally inverse

Arus setting : 4 A

TMS : 4

$t_{operasi}$: 0.942 detik

Dengan nilai-nilai seperti diatas koordinasi rele sudah cukup baik antara rele E21152 dengan rele 3P11S1 dan 3P11S2 yang menghasilkan interval waktu kerja 0.2941 detik. Pada gambar 4.10, waktu kerja rele E21152 dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel yang interval waktunya sebesar 0.0483 detik dan juga dibawah waktu kerusakan (*damage*) trafo yang interval waktunya sebesar 0.9987 detik. Hal ini membuktikan bahwa setting rele seperti diatas sudah mengamankan kabel dan trafo dari kerusakan di penyulang E21152.



Gambar 4.10 Kurva koordinasi arus terhadap waktu rele E21152, 3P11S1, 3P11S2

4.2 Rele Gangguan Tanah

4.2.1 Setting dan Koordinasi Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah hanya bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat yang melibatkan tanah. Hal ini disebabkan rele gangguan tanah mendeteksi adanya arus sisa (residual current). Arus sisa ini muncul jika terdapat adanya arus urutan nol yang mengalir di saluran. Seperti diketahui bahwa rele gangguan tanah tidak akan bekerja pada kondisi normal, maka penyetelan waktu kerja di bagian paling hilir adalah paling cepat. Hal ini dapat dicapai dengan rele waktu seketika dan atau rele waktu terbalik dengan memilih kurva karakteristik yang terendah. Selanjutnya dikoordinasikan dengan rele di penyulang berikutnya dengan interval waktu 0.4 – 0.5 detik. Penentuan tetapan setting pada rele gangguan tanah sama seperti pada rele arus lebih tetapi yang menjadi acuan penentuan besaran setting adalah besarnya gangguan hubung singkat ke tanah. Pada PT Indocement plant XI ini, rele gangguan tanah selalu ada di setiap rele pengaman bertipe ABB SPCJ yang disatukan dengan fungsi pengaman arus lebih waktu terbalik dan waktu seketika.

Dari hasil simulasi gangguan hubung singkat yang berlangsung selama 600 milidetik (30 cycle) diperoleh besarnya arus gangguan hubung singkat ke tanah untuk masing-masing bus sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil perhitungan arus hubung singkat ke tanah dari bus penyulang motor yang memiliki jumlah arus hubung singkat terbesar

Jala-Jala Listrik 2					
Nama Bus	Tegangan (kV)	Macam Gangguan (dalam kA (rms))			
			L - G		L - L - G
3P1T1H	6.6		37.673		72.652
3P1T2H	6.6		47.904		84.318
3P1T3H	6.6		44.432		78.706
3P1T4H	6.6		37.280		70.190
3P11S1	6.6		58.589		93.046
3P11S2	6.6		75.023		104.186
E1128N	6.6		43.475		81.116

E1135N	6.6	53.723	89.691
E21152	6.6	149.394	146.593

Dari tabel 4.7 diperoleh besarnya arus menuju tanah pada saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dan 2 fasa ke tanah. Arus yang menuju tanah ini biasa juga disebut arus residual. Hal ini dikarenakan arus gangguan ke tanah lebih kecil daripada gangguan fasa akibat impedansi yang tinggi pada tanah tempat konduktor jatuh sehingga arus terus-menerus mengalir dan tidak terdeteksi oleh rele jika rele diset dengan nilai yang tinggi. Oleh karena itu setting pickup paling kecil yang harus digunakan dalam mensetting rele. Menurut IEEE Std C37.96-2000 menyatakan bahwa pickup untuk rele ini adalah kira-kira 2 A. Jika rele tidak sensitif maka arus yang terus mengalir dapat membahayakan bagi manusia yang berada disekitarnya. Setting yang umum dari rele gangguan tanah adalah sebesar 30%-50% (pentanahan solid) dari arus beban maksimum atau arus minimum gangguan hubung singkat ke tanah. Dengan rasio $CT = 150/1$ dan $I_n = 1$ A maka dengan setting rele = 30% dari arus hubung singkat satu fasa ke tanah (arus residual minimum) maka tetapan setting rele adalah (ambil contoh pada penyulang 3P1T1H) : $0.207 \text{ A} < I_{\text{pickup}} < 75.346 \text{ A}$

Dengan cara yang sama dengan diatas maka didapatkan jangkauan setting arus seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4.8 Arus setting rele gangguan tanah dengan jangkauan arus batas bawah dan batas atas

nama penyulang	setting rele gangguan tanah (A)	
	arus batas bawah	arus batas atas
3P1T1H	0.207	75.346
3P1T2H	0.15838	95.808
3P1T3H	0.1988	88.864
3P1T4H	0.20292	223.68
3P11S1	0.2483	21.97
3P11S2	0.2267	28.133
E1128N	0.2616	21.7375
E1135N	0.2552	32.2338
E21152	1.4	74.697

Dari hasil perhitungan dan simulasi koordinasi peralatan pengaman di kurva arus dan waktu, diperoleh hasil penyettingan rele gangguan tanah yang akan diuraikan sebagai berikut.

1. Rele 3P1T1H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

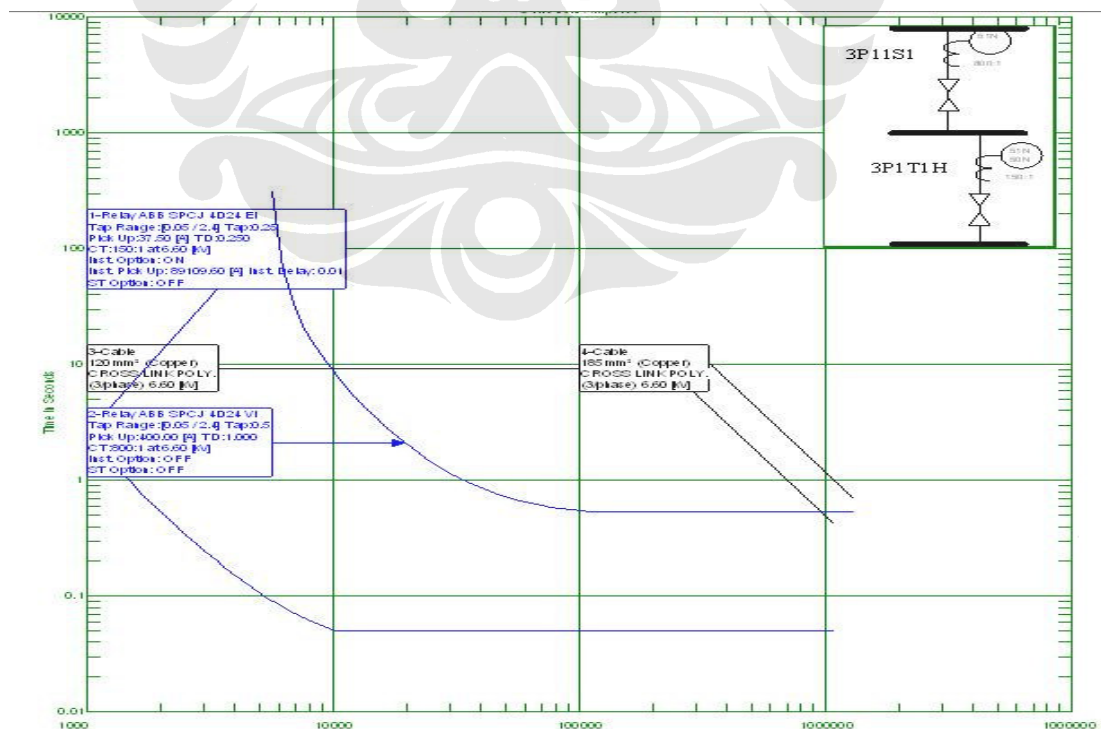
Arus setting : 0.25 A

TMS : 0.25

$t_{operasi}$: 0.06 detik

$I_{instananeous}$: 89109.6 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.11, waktu kerja rele 3P1T1H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3756 detik.



Gambar 4.11 Kurva koordinasi arus dan waktu rele 3P1T1H dan 3P11S1

2. Rele 3P1T2H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

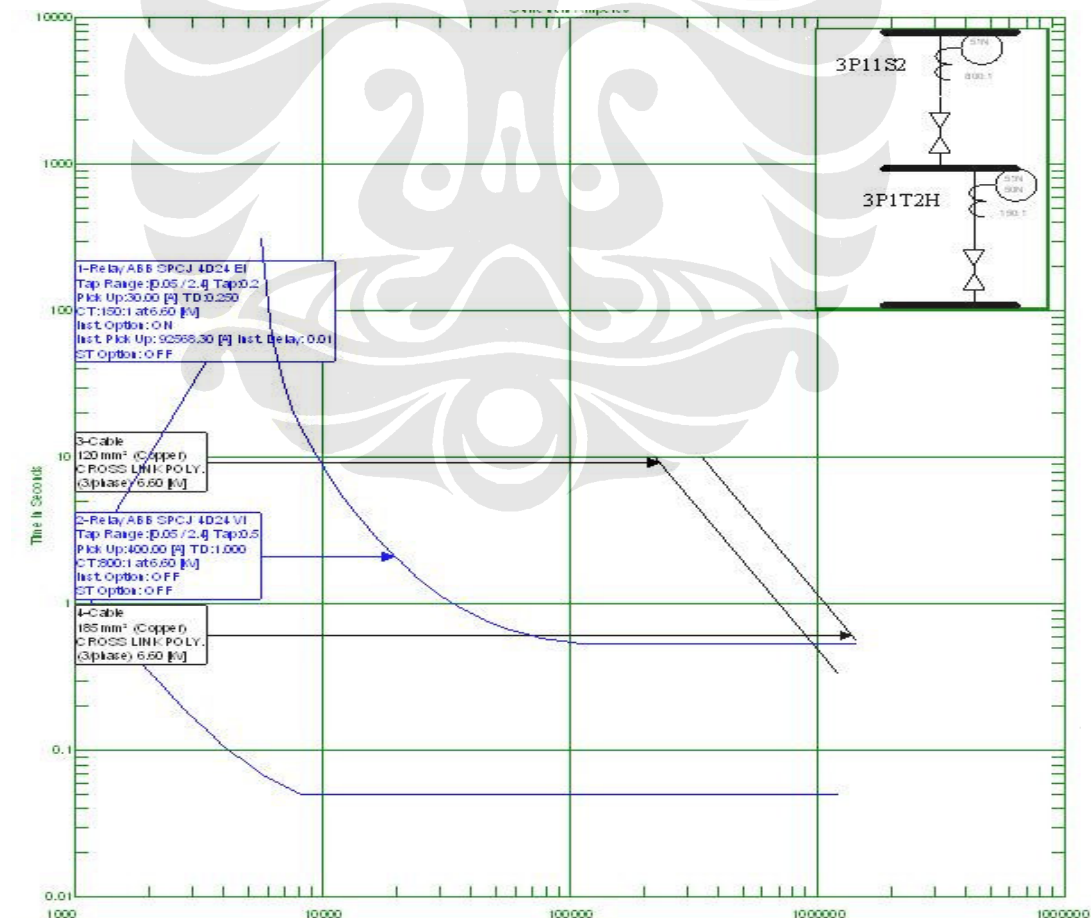
Arus setting : 0.2 A

TMS : 0.25

$t_{operasi}$: 0.06 detik

$I_{instananeous}$: 92568.3 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.12, waktu kerja rele 3P1T2H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.2878 detik.



Gambar 4.12 Kurva koordinasi arus dan waktu rele 3P1T2H dan 3P11S2

3. Rele 3P1T3H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

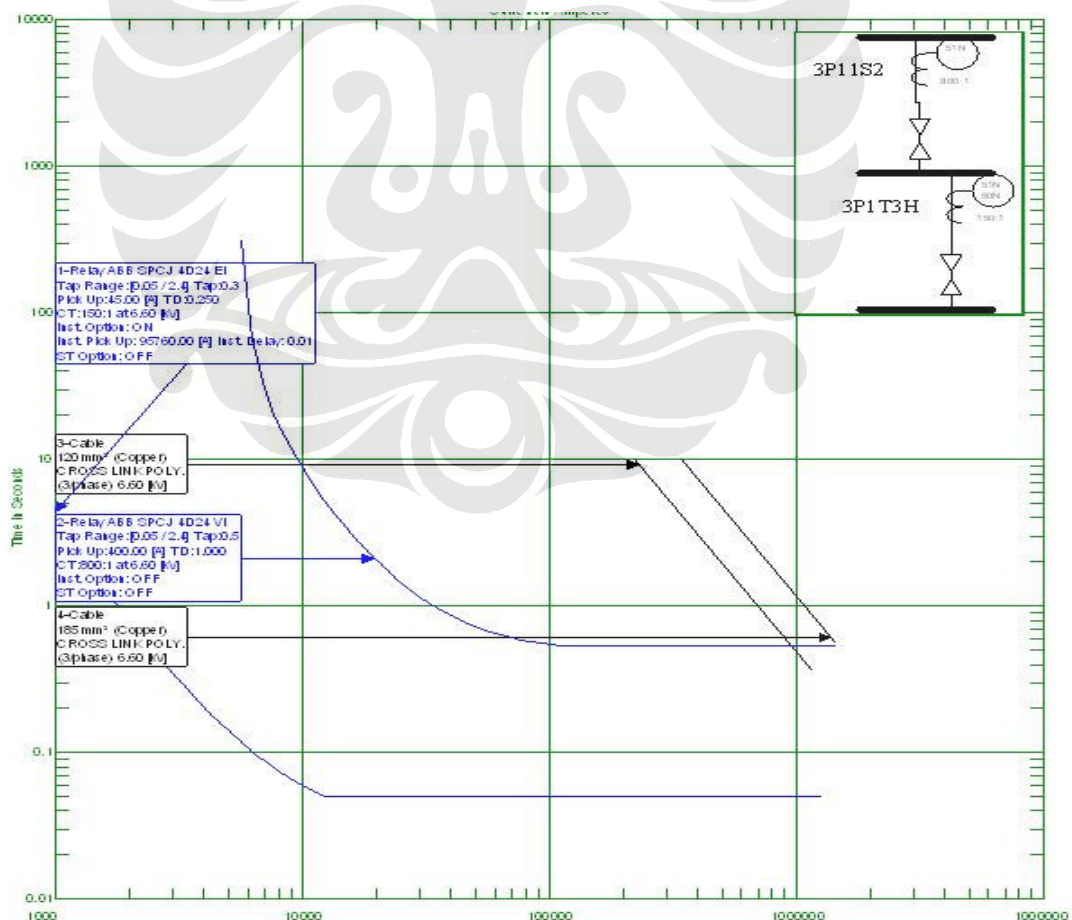
Arus setting : 0.3 A

TMS : 0.25

$t_{operasi}$: 0.06 detik

$I_{instananeous}$: 95760 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu breakdown kabel. Pada gambar 4.13, waktu kerja rele 3P1T3H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3202 detik.



Gambar 4.13 Kurva koordinasi arus dan waktu rele 3P1T3H dan 3P11S2

4. Rele 3P1T4H

Kurva Karakteristik : Extremely Inverse

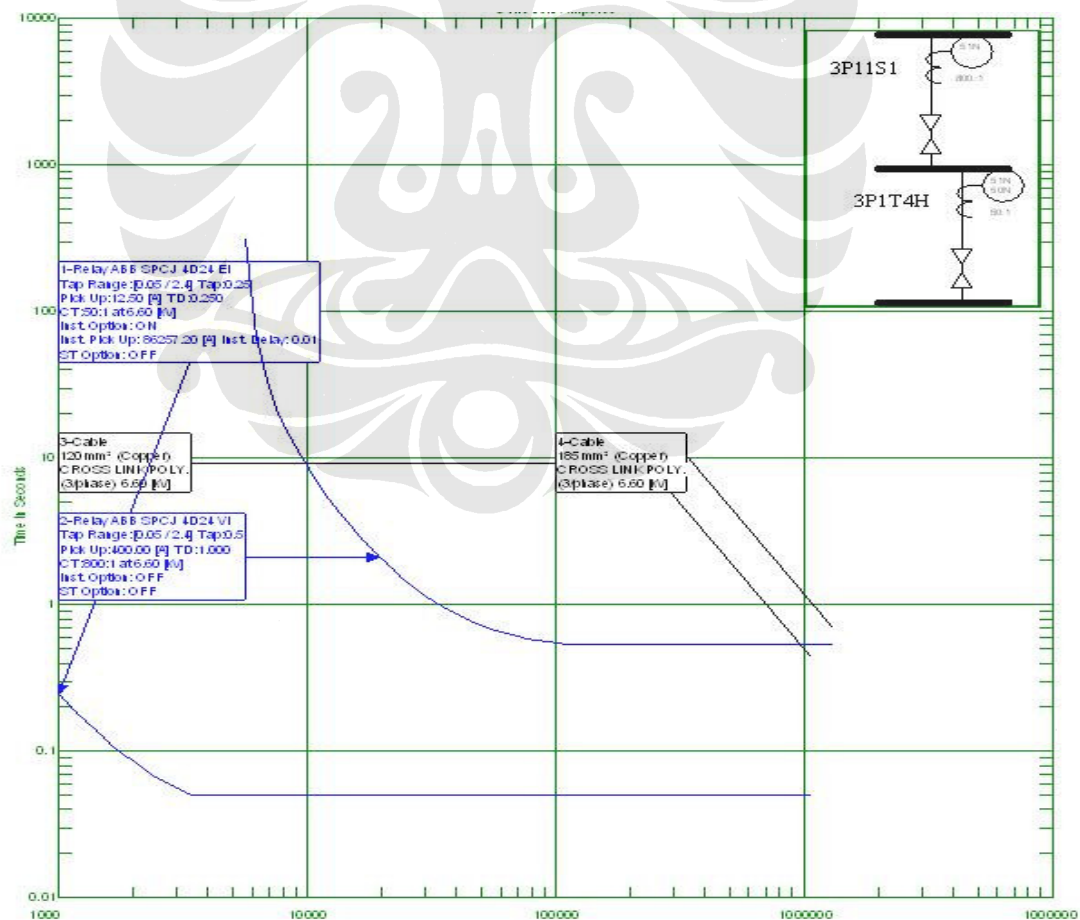
Arus setting : 0.25 A

TMS : 0.25

$t_{operasi}$: 0.06 detik

$I_{instananeous}$: 86257.2 A

TMS dipilih dengan nilai yang cukup terkecil karena letaknya yang paling hilir. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.14, waktu kerja rele 3P1T4H sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3999 detik.



Gambar 4.14 Kurva koordinasi arus dan waktu rele 3P1T4H dan 3P11S1

5. Rele E1128N

Kurva Karakteristik : Long Time Inverse

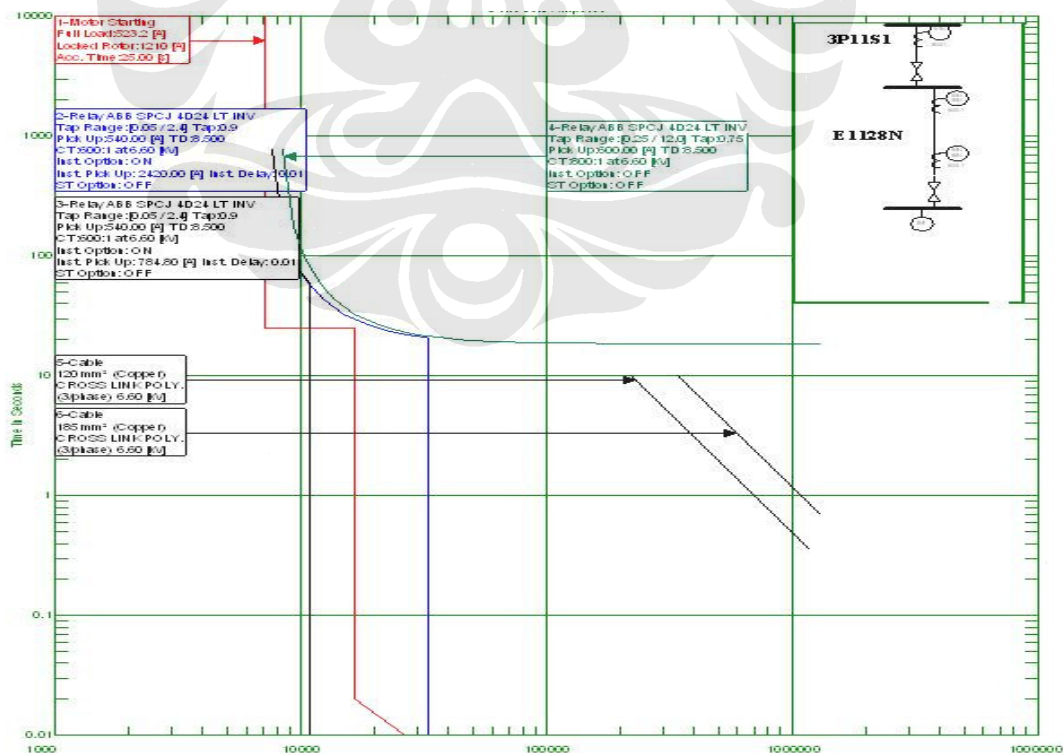
Arus setting : 0.9 A

TMS : 8.5

$t_{operasi}$: 30.1033 detik

$I_{instananeous}$: 2420 A

Dengan menggunakan kurva karakteristik long time inverse dan waktu kerja rele seperti di atas maka sudah cukup memberikan kesempatan motor untuk start karena selisih (margin) antara waktu kerja rele dengan waktu start motor sebesar 5.1033 detik. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.15, waktu kerja rele E1128N sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.3556 detik.



Gambar 4.15 Kurva koordinasi arus dan waktu rele E1128N dan 3P11S1

6. Rele E1135N

Kurva Karakteristik : Long Time Inverse

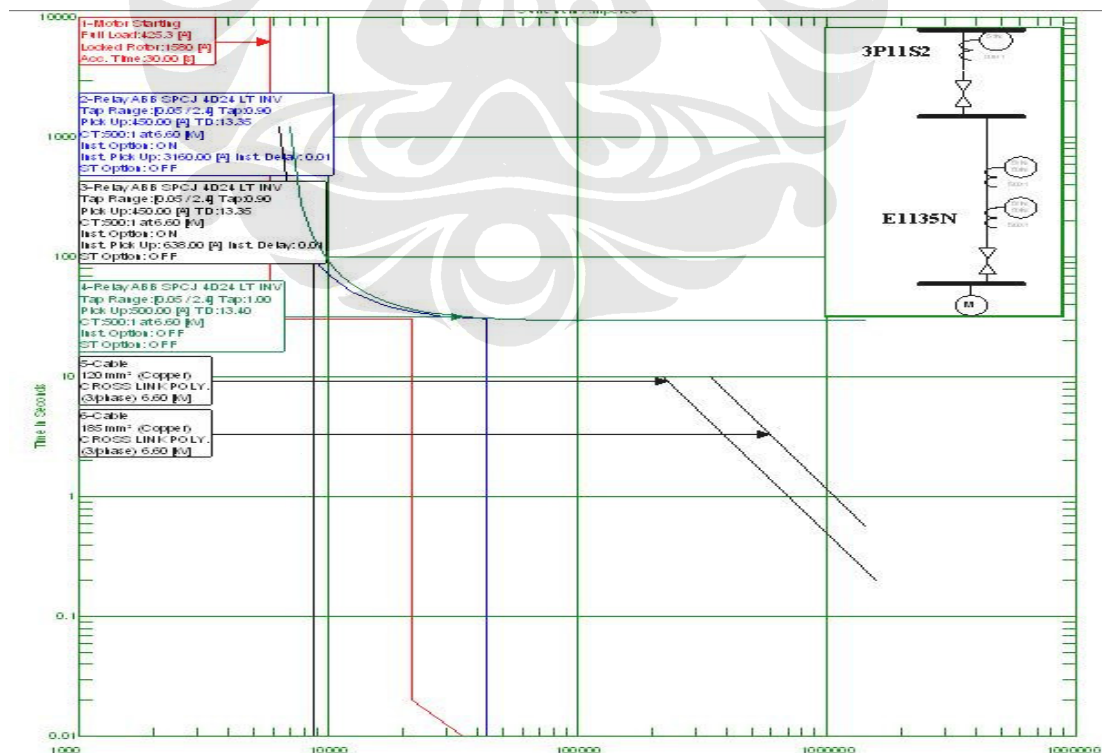
Arus setting : 0.9 A

TMS : 13.35

$t_{operasi}$: 35.0998 detik

$I_{instananeous}$: 3160 A

Dengan menggunakan kurva karakteristik long time inverse dan waktu kerja rele seperti di atas maka sudah cukup memberikan kesempatan motor untuk start karena selisih (margin) antara waktu kerja rele dengan waktu start motor sebesar 5.0998 detik. Untuk mengamankan kabel di penyulang ini, maka waktu kerja rele ini harus lebih rendah dibandingkan dengan waktu kegagalan (*breakdown*) kabel. Pada gambar 4.16, waktu kerja rele E1128N sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 0.2966 detik.



Gambar 4.16 Kurva koordinasi arus dan waktu rele E1135N dan 3P11S2

7. Rele 3P11S1

Kurva Karakteristik : Very inverse

Arus setting : 2.5 A

TMS : 0.8

t_{operasi} : 0.518 detik

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada penyulang ini adalah 58589 A dan arus pada sisi sekunder trafo arus adalah 73.23625 A.

Untuk mendapatkan setting rele 3P11S1 yang berkoordinasi dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele 3P1T1H dan 3P1T4H berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 0.06 detik. Arus setting rele 3P11S1 sebesar 0.5 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S1 yang diset menjadi 1. Pada gambar 4.11 dan 4.14, koordinasi antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik very inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H berdasarkan gambar 4.11 dan 4.14 masing-masing sebesar 0.4893 detik. Pada gambar 4.11 dan 4.14, waktu kerja rele 3P11S1 sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya masing-masing sebesar 0.1664 detik.

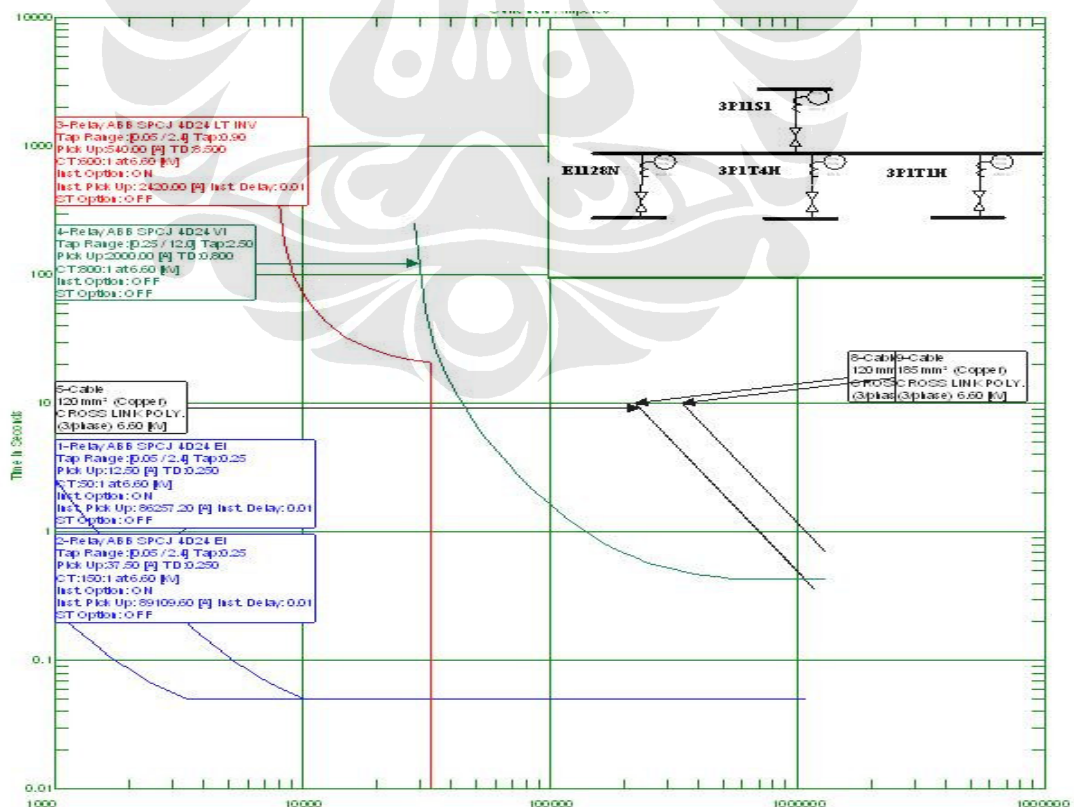
Untuk mendapatkan setting rele 3P11S1 yang berkoordinasi dengan rele E1128N dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele E1128N adalah 30.1033 detik. Arus setting rele 3P11S1 sebesar 0.75 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S1 yang diset menjadi 8.5. Pada gambar 4.15, koordinasi antara rele 3P11S1 dengan rele E1128N sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik Long Time inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S1 dengan rele E1128N berdasarkan gambar 4.15 sebesar 0.5734 detik. Pada gambar 4.15, waktu kerja rele 3P11S1 diatas waktu

kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 8.8828 detik. Dengan kondisi seperti ini, kabel akan rusak akibat waktu ketahanan maksimum setelah terjadinya gangguan hubung singkat terlewati.

Dengan settingan tersebut, maka koordinasi antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H, 3P1T4H dan E1128N tidak baik karena menghasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H menjadi sangat besar dan tidak sesuai dengan interval waktu yang seharusnya antara 0.3 s/d 0.5 detik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu perubahan kurva karakteristik rele 3P11S1 dengan menggunakan kurva karakteristik very inverse. Arus setting dan total waktu kerja rele masing-masing sebesar 2.5 A dan 0.518 detik sehingga TMS diset pada nilai 0.8. Dengan settingan tersebut, maka dihasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S1 dengan rele 3P1T1H dan 3P1T4H sebesar 0.3814 detik sedangkan antara rele 3P11S1 dengan rele E1128N sebesar 0.4215 detik. Pada gambar 4.17, waktu kerja rele 3P11S1 dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel yang interval waktunya sebesar 0.2743 detik.



Gambar 4.17 Kurva koordinasi arus dan waktu rele 3P11S1, E1128N, 3P1T4H, 3P1T1H

8. Rele 3P11S2

Kurva Karakteristik : Very inverse

Arus setting : 3.25 A

TMS : 1

t_{operasi} : 0.648 detik

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada penyulang ini adalah 75023 A dan arus pada sisi sekunder trafo arus adalah 93.77875 A.

Untuk mendapatkan setting rele 3P11S2 yang berkoordinasi dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele 3P1T2H dan 3P1T3H berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 0.06 detik. Arus setting rele 3P11S2 sebesar 0.5 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S2 yang diset menjadi 1. Pada gambar 4.12 dan 4.13, koordinasi antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik very inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H berdasarkan gambar 4.12 dan 4.13 masing-masing sebesar 0.4893 detik. Pada gambar 4.12 dan 4.13, waktu kerja rele 3P11S2 sudah dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya masing-masing sebesar 0.0328 detik.

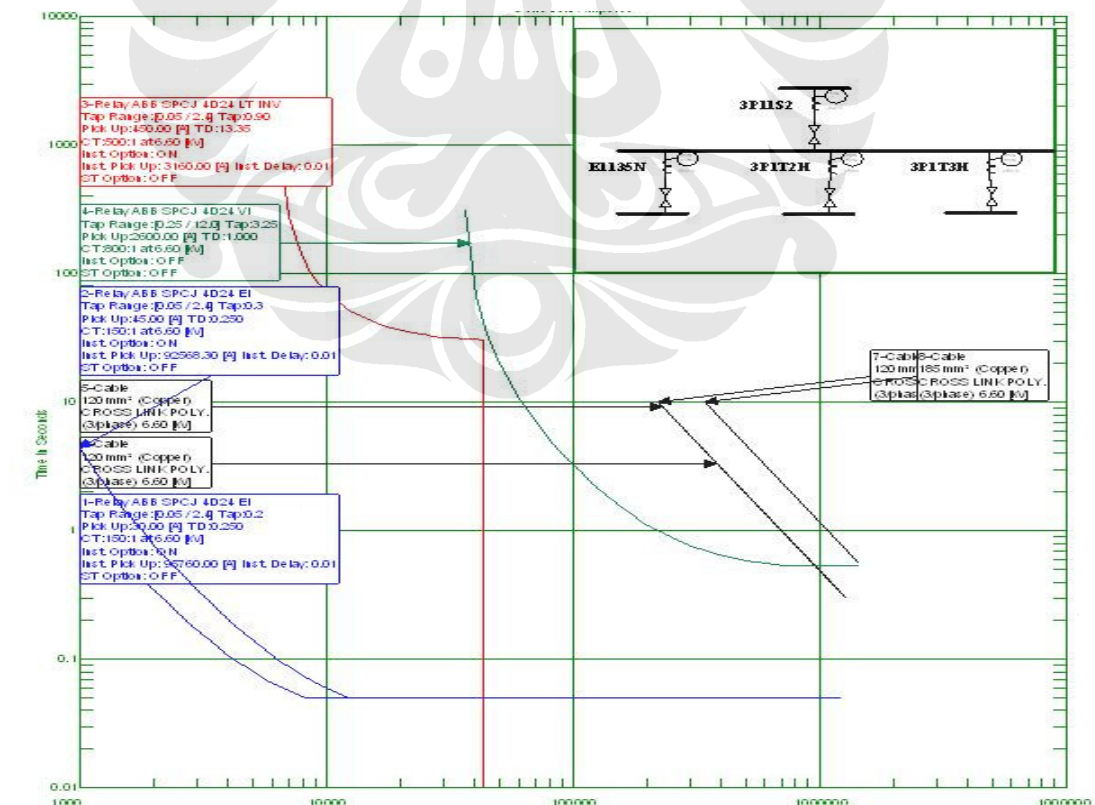
Untuk mendapatkan setting rele 3P11S2 yang berkoordinasi dengan rele E1135N dijelaskan sebagai berikut :

Total waktu kerja rele E1135N adalah 35.0998 detik. Arus setting rele 3P11S2 sebesar 1 A. Dengan menggunakan persamaan 4.2 diperoleh TMS rele 3P11S2 yang diset menjadi 13.4. Pada gambar 4.16, koordinasi antara rele 3P11S2 dengan rele E1135N sudah baik dengan menggunakan kurva karakteristik Long Time inverse yang dibuktikan dengan tidak adanya perpotongan kurva antar rele. Interval waktu kerja rele 3P11S2 dengan rele E1135N berdasarkan gambar 4.16 sebesar 0.4504 detik. Pada gambar 4.16, waktu kerja rele 3P11S2 diatas waktu

kegagalan (*breakdown*) kabel di penyulang tersebut yang interval waktunya sebesar 19.6377 detik. Dengan kondisi seperti ini, kabel akan rusak akibat waktu ketahanan maksimum setelah terjadinya gangguan hubung singkat terlewati.

Dengan settingan tersebut, maka koordinasi antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H, 3P1T3H dan E1135N tidak baik karena menghasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H menjadi sangat besar dan tidak sesuai dengan interval waktu yang seharusnya antara 0.3 s/d 0.5 detik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu perubahan kurva karakteristik rele 3P11S2 dengan menggunakan kurva karakteristik very inverse. Arus setting dan total waktu kerja rele masing-masing sebesar 3.25 A dan 0.648 detik sehingga TMS diset pada nilai 1. Dengan settingan tersebut, maka dihasilkan interval waktu kerja antara rele 3P11S2 dengan rele 3P1T2H dan 3P1T3H sebesar 0.4893 detik sedangkan antara rele 3P11S2 dengan rele E1135N sebesar 0.5294 detik. Pada gambar 4.18, waktu kerja rele 3P11S2 dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel yang interval waktunya sebesar 0.0328 detik.



Gambar 4.18 Kurva koordinasi arus dan waktu rele 3P11S2, E1135N, 3P1T2H, 3P1T3H

9. Rele E21152

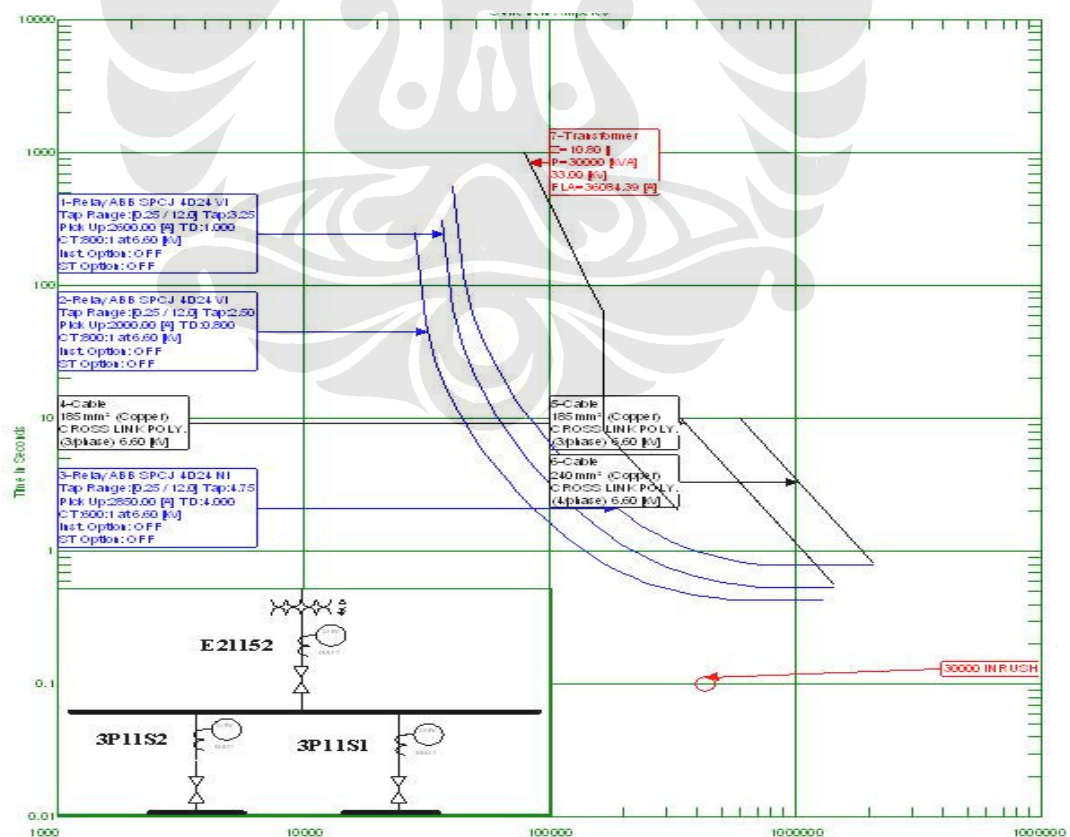
Kurva Karakteristik : Normally inverse

Arus setting : 4.75 A

TMS : 4

$t_{operasi}$: 0.942 detik

Dengan nilai-nilai seperti diatas koordinasi rele sudah cukup baik antara rele E21152 dan rele 3P11S1 menghasilkan interval waktu kerja 0.3528 detik sedangkan antara rele E21152 dan rele 3P11S2 menghasilkan interval waktu kerja sebesar 0.2449 detik. Pada gambar 4.19, waktu kerja rele E21152 dibawah waktu kegagalan (*breakdown*) kabel yang interval waktunya sebesar 0.0483 detik dan juga dibawah waktu kerusakan (*damage*) trafo yang interval waktunya sebesar 0.8743 detik. Hal ini membuktikan bahwa setting rele seperti diatas sudah mengamankan kabel dan trafo dari kerusakan di penyulang E21152.



Gambar 4.19 Kurva koordinasi arus dan waktu rele E21152, 3P11S1, 3P11S2