

## BAB V

### ANALISIS DAN INTERPRETASI

#### 5.1. Load Flow Analysis

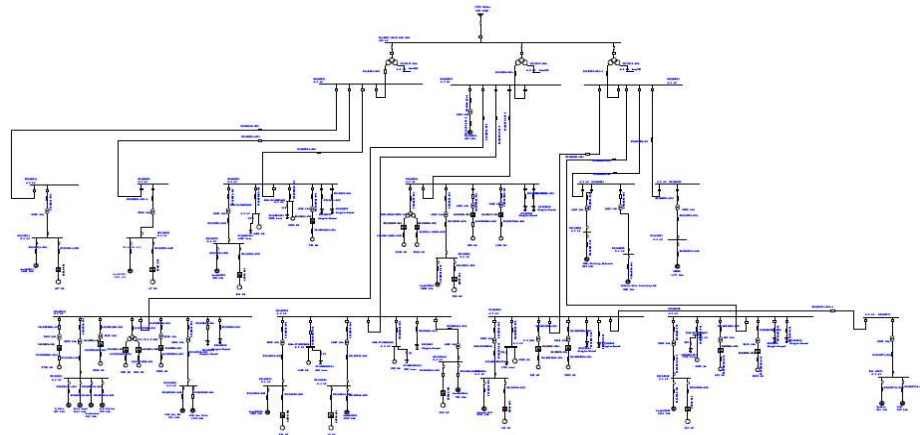
##### 5.1.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Aceh

Untuk tujuan analisis, dilakukan pemodelan sistem kelistrikan dengan menggunakan Software ETAP versi 12.6. Pemodelan dilakukan berdasarkan data peralatan sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh untuk kondisi pembebanan maksimum.

Hasil pemodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Aceh ditunjukkan pada Gambar 5.1, yaitu ETAP Single Line Diagram dan output dari program Load Flow adalah tegangan dan faktor daya dari tiap-tiap bus serta aliran daya pada tiap saluran.

##### 5.1.2 Load Flow Analysis

Load Flow Analysis pada sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh dilakukan dengan menggunakan Software ETAP versi 12.6 adalah sebagai berikut :



Gambar 5.1. Model Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Aceh

Detail model atau single line bisa dilihat secara lebih jelas pada lampiran 2.

### 5.1.2.1. Simulasi Load Flow

Dilakukan untuk memperkirakan nilai tegangan dan power factor pada tiap-tiap bus (tanpa capacitor bank). Model sistem kelistrikan Pabrik Aceh dengan kondisi pembebanan sesuai dengan data yang diperoleh digunakan pada simulasi ini. Hasil simulasi (bus-bus utama) ditunjukkan pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1.** Hasil Simulasi Load Flow Pabrik Semen Aceh (Tanpa Filter)

Bus ID	Nominal kV	Voltage (%)	MVA	MW Loading	Mvar Loading	Amp Loading	PF
MAIN BUS PLN	150	100	60,54	42,65	42,963	233	70,45
821MV011	6,3	96,28	12,93	10,752	7,189	1231	83,13
821MV021	6,3	92,14	24,82	17,795	17,303	2469	71,69
821MV031	6,3	92,23	0,00	13,807	12,433	1846	18,58
821MV042	6,3	92,14	0,00	2,109	1,693	269	2,70
831-LV04.1	0,4	87,67	1,06	0,849	0,641	1751	79,82
831-LV05.1	0,4	83,95	1,14	0,913	0,688	1966	79,86
831-LV05.2	0,4	89,77	1,07	0,851	0,648	1720	79,55
831-LV05.3	0,4	89,19	1,07	0,85	0,648	1730	79,54
831-LV05.4	0,4	88,36	1,00	0,797	0,605	1634	79,65
831-LV06.1	0,4	86,49	0,80	0,635	0,478	1327	79,89
831-LV07.1	0,4	87,81	1,11	0,888	0,669	1827	79,84
831-LV08.1	0,4	87,09	1,41	1,129	0,851	2343	79,86
831.LV01.1	0,4	92,25	0,86	0,696	0,511	1352	80,60
831.LV02.1	0,4	91,84	1,17	0,933	0,7	1833	79,99
831.LV03.1	0,4	92,07	0,57	0,457	0,345	898,3	79,83
831.LV08.2	0,4	87,19	1,35	1,079	0,813	2237	79,85
831.LV09.1	0,4	83,45	1,35	1,073	0,811	2327	79,79
831.LV10.1	0,4	89,32	1,06	0,845	0,636	1709	79,87
831.LV11.1	0,4	86,47	1,04	0,831	0,63	1741	79,72
831.LV12.1	0,4	85,9	0,93	0,744	0,564	1569	79,69
831.LV12.2	0,4	87,16	0,98	0,781	0,589	1620	79,87
831MV012	6,3	94,94	1,91	1,495	1,191	184,5	78,21
831MV021	6,3	94,87	1,24	0,961	0,777	119,3	77,77
831MV031	6,3	95,27	0,80	0,61	0,515	76,82	76,42
831MV041	6,3	90,15	0,00	7,164	4,387	853,9	8,40
831MV051	6,3	89,82	12,11	8,248	8,861	1235	68,14
831MV052	6,3	90,68	3,60	2,947	2,075	364,2	81,77
831MV061	6,3	89,46	0,00	0,641	0,515	84,22	0,82
831MV071	6,3	90,34	0,00	3,096	3,489	473,1	4,66
831MV081	6,3	91,14	0,00	5,873	5,337	798	7,94
831MV082	6,3	90,95	0,00	6,938	6,216	938,6	9,32
831MV091	6,3	88,56	0,00	1,087	0,925	147,7	1,43
831MV101	6,3	91,73	1,11	0,868	0,698	111,3	77,90
831MV111	6,3	91,61	1,10	0,858	0,694	110,4	77,75
831MV121	6,3	91,71	2,03	1,571	1,279	202,4	77,54
831MV131	6,3	91,43	0,67	0,526	0,411	66,9	78,83

### 5.1.2.2. Analisis Hasil Simulasi Load Flow

Hasil simulasi Load Flow sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh menunjukkan bahwa terdapat tegangan pada bus yang mempunyai nilai tegangan mendekati 90 % (5,67 kV untuk MV dan 342 volt untuk LV, yaitu berada di dekat batas tegangan yang diijinkan (90%-110%) dan Power Factor minimum 70,45% di Main Bus 150 kV dengan konsumsi daya 60,54 MVA.

### 5.1.2.3. Peningkatan Power Factor

Untuk memperbaiki Power Factor, digunakan Capacitor Bank (terpasang sebagai filter harmonik) yang dipasang pada Bus 6.3 kV (ER) sebagai berikut :

Bus 831MV031	: 1650 kVar
Bus 831MV031	: 2700 kVar
Bus 831MV041	: 1800 kVar
Bus 831MV041	: 2200 kVar
Bus 831MV042	: 2700 kVar
Bus 831MV051	: 1800 kVar
Bus 831MV051	: 2200 kVar
Bus 831MV061	: 1800 kVar
Bus 831MV061	: 2200 kVar
Bus 831MV062	: 1800 kVar
Bus 831MV062	: 2200 kVar

Untuk meningkatkan Power Factor di Main Bus menjadi ~ 95%.

Hasil simulasi peningkatan Power Factor (bus-bus utama) ditunjukkan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2.** Hasil Simulasi Peningkatan Power Factor (dengan Filter)

Bus ID	Nominal kV	Voltage (%)	MVA	MW Loading	Mvar Loading	Amp Loading	PF
MAIN BUS PLN	150	100	44,88	42,364	14,819	172,7	94,39
821MV011	6,3	99,61	10,64	10,628	0,599	979,4	99,84
821MV021	6,3	97,81	19,36	17,765	7,687	1814	91,78
821MV031	6,3	96,1	0,00	13,808	4,629	1389	14,56

821MV042	6,3	97,81	0,00	2,12	1,687	253,8	2,71
831-LV04.1	0,4	93,32	1,07	0,857	0,646	1660	79,84
831-LV05.1	0,4	90,75	1,16	0,924	0,695	1839	79,88
831-LV05.2	0,4	96,82	1,08	0,856	0,651	1603	79,61
831-LV05.3	0,4	96,28	1,07	0,856	0,651	1611	79,61
831-LV05.4	0,4	95,46	1,01	0,803	0,608	1523	79,70
831-LV06.1	0,4	93,4	0,80	0,64	0,481	1237	79,94
831-LV07.1	0,4	95,3	1,13	0,899	0,677	1705	79,86
831-LV08.1	0,4	91,87	1,42	1,138	0,857	2239	79,87
831.LV01.1	0,4	96,71	0,87	0,701	0,515	1298	80,61
831.LV02.1	0,4	96,24	1,18	0,94	0,705	1763	80,00
831.LV03.1	0,4	95,53	0,58	0,46	0,347	871	79,84
831.LV08.2	0,4	91,95	1,36	1,087	0,819	2137	79,87
831.LV09.1	0,4	88,18	1,35	1,081	0,816	2217	79,81
831.LV10.1	0,4	93,49	1,07	0,851	0,641	1645	79,88
831.LV11.1	0,4	92,49	1,05	0,837	0,633	1638	79,75
831.LV12.1	0,4	91,95	0,94	0,749	0,567	1475	79,73
831.LV12.2	0,4	93,11	0,99	0,789	0,594	1530	79,89
831MV012	6,3	99,09	1,94	1,503	1,226	179,3	77,49
831MV021	6,3	98,95	1,54	0,972	1,198	142,9	63,00
831MV031	6,3	98,63	0,80	0,613	0,516	74,46	76,51
831MV041	6,3	95,42	0,00	7,197	4,09	795	8,28
831MV051	6,3	96,24	12,07	8,273	8,783	1149	68,57
831MV052	6,3	97,3	3,93	2,97	2,575	370,2	75,57
831MV061	6,3	96,16	0,00	0,644	0,513	78,5	0,82
831MV071	6,3	97,32	0,00	3,119	3,812	463,7	4,92
831MV081	6,3	95,51	0,00	5,899	5,188	753,8	7,86
831MV082	6,3	95,32	0,00	6,963	6,061	887,6	9,23
831MV091	6,3	93,04	0,00	1,094	0,919	140,7	1,43
831MV101	6,3	95,62	1,12	0,872	0,698	107,1	78,07
831MV111	6,3	97,31	1,10	0,861	0,69	103,9	78,02
831MV121	6,3	97,41	2,03	1,578	1,273	190,7	77,83
831MV131	6,3	97,14	0,67	0,531	0,412	63,42	78,97

#### 5.1.2.4. Analisis Hasil Simulasi Peningkatan Power Factor

Hasil simulasi Peningkatan Power Factor sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh menunjukkan bahwa tegangan bus-bus mengalami kenaikan dan berada dalam batas tegangan yang diijinkan (90%-110%) (lihat Tabel 5.2). Tabel 5.2 menunjukkan selain peningkatan Power Factor menjadi 94.8 % di Main Bus Aceh (150 kV), dengan konsumsi daya 44,88 MVA. Report hasil simulasi yang lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.

Hasil simulasi diatas juga digunakan untuk menentukan kapasitas minimal dari peralatan dalam keadaan steady-state, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.3.a dan b. Berdasarkan hasil simulasi Load Flow/Power Factor menghasilkan rekomendasi untuk Kapasitas Minimum transformator sebagai berikut (pembebanan maximum transformator adalah 75-80% dari kapasitasnya, yang tercetak tebal (bold) menunjukkan kapasitas trafo yang ditentukan/data dibawah kapasitas minimum yang dibutuhkan) :

**Tabel 5.3.a** Kapasitas minimal Trafo 150 kV-6.3 kV sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh.

Trafo	MVA (data)	MVA (min)	kV-P	kV-S	kV-T	P (Y)	S (Y)	T (Δ)
811TX01	30/30/5	15/15/5	150	6.3	6.3	solid	NGR	--
811TX02	30/30/5	25/25/5	150	6.3	6.3	solid	NGR	--
811TX03	30/30/5	22.5/22.5/5	150	6.3	6.3	solid	NGR	--

**Tabel 5.3.b** Kapasitas minimal Trafo 6.3 kV-0.4 kV sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh.

Trafo	MVA (data)	MVA (min)	kV-P	kV-S	P (Y)	S (Y)
831TM011	2.5	1.35	6.3	0.4	solid	solid
831TM021	2.0	1.20	6.3	0.4	solid	solid
831TM031	2.5	1.00	6.3	0.4	solid	solid
341SR01TM1	1.0	1.10	6.3	0.4	solid	solid
341FN01TM1	3.818	3.40	6.3	0.4	solid	solid
831TM041	4.0	2.00	6.3	0.4	solid	solid
441FN02TM1	3.818	2.70	6.3	0.4	solid	solid
441KL01TM1	3/1.5/1.5	2.4/1.2/1.2	6.3	0.4	solid	solid
441FN03TM1	3.818	2.70	6.3	0.4	solid	solid
831TM042	3.0	1.50	6.3	0.4	solid	solid
831TM043	2.5	1.05	6.3	0.4	solid	solid
831TM044	1.6	0.75	6.3	0.4	solid	solid
831TM041A	1.6	0.70	6.3	0.4	solid	solid

831TM051	4.0	2.30	6.3	0.4	solid	solid
831TM052	6/3/3	6.7/3.35/3.35	6.3	0.4	solid	solid
441FN17TM1	1.8	1.775	6.3	0.4	solid	solid
441FN18TM1	1.0	0.85	6.3	0.4	solid	solid
831TM061	2.5	2.475	6.3	0.4	solid	solid
541SR01TM1	0.5	0.575	6.3	0.4	solid	solid
541FN05TM1	3.818	3.45	6.3	0.4	solid	solid
831TM062	3.0	1.65	6.3	0.4	solid	solid
542SR01TM1	0.6	0.57	6.3	0.4	solid	solid
542FN05TM1	3.818	3.40	6.3	0.4	solid	solid
831TM071	2.5	0.45	6.3	0.4	solid	solid
831TM081	1.6	0.65	6.3	0.4	solid	solid
831TM082	1.6	0.65	6.3	0.4	solid	solid
831TM091	2.0	0.80	6.3	0.4	solid	solid

## 5.2. Short Circuit Analysis

Pada studi hubung singkat ini dihitung besarnya arus hubung singkat pada setiap bus dan besarnya kontribusi arus dari setiap feeder yang terhubung pada bus yang mengalami hubung singkat. Perhitungan arus hubung singkat ini mempunyai dua tujuan:

1. Untuk mengetahui kemampuan peralatan dalam menahan arus hubung singkat sub-transient yang mungkin bias terjadi pada sistem. Peralatan yang ditentukan kemampuannya dalam menahan arus hubung singkat meliputi busbar pada switchgear atau MCC dan circuit breaker untuk tegangan menengah.
2. Untuk mengetahui level hubung singkat maksimum transient pada setiap bus dan digunakan untuk referensi koordinasi setting rele pengaman.

### 5.2.1. Konfigurasi

Pada perhitungan arus hubung singkat pada sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh ini terdapat 3 (tiga) kasus konfigurasi yang disimulasikan, yaitu :

#### a. SC Case-1 : Hubung Singkat Duty maksimum.

Digunakan untuk mengevaluasi dan menghitung rating peralatan pada saat terjadi hubung singkat. Pada kasus ini system disupply PLN (4275 MVA short circuit). Nilai hasil perhitungan akan digunakan untuk menentukan rating peralatan yang digunakan.

Pada perhitungan ini, sebagai langkah awal, nilai rating peralatan akan diasumsikan dahulu kemudian dibandingkan dan dievaluasi dengan hasil perhitungan. Parameter yang akan dibandingkan adalah :

**Tabel 5.4.** Perbandingan parameter hubung singkat

Device Type	Device Capability	Calculated Short-Circuit Duty
<u>Momentary Duty</u>		
HV Bus Bracing	Asymm. KA rms Asymm. KA Crest	Asymm. KA rms Asymm. KA Crest
LV Bus Bracing	Symm. KA rms Asymm. KA rms	Symm. KA rms Asymm. KA rms
HV CB C&L Capability kA Crest	C&L Capability kA rms Asymm. KA Crest	Asymm. KA rms
<u>Momentary Duty</u>		
HV CB	Interrupting kA***	Adjusted kA
LV CB	Rated Interrupting kA	Adjusted kA

Konfigurasi yang digunakan adalah (lihat Lampiran 3) :

- Semua Tie Breaker OPEN
- Sumber : PLN

Perhitungan yang digunakan adalah Hubung Singkat pada Duty Cycle.

**b. SC Case-2 : Hubung singkat maksimum 4 cycle (3 phasa)**

Digunakan untuk studi koordinasi proteksi. Konfigurasi yang digunakan adalah (lihat Lampiran 3) :

- Semua Tie Breaker OPEN
- Sumber : PLN

Perhitungan yang digunakan adalah Hubung Singkat pada 1½ - 4 Cycle.

**c. SC Case-3 : Hubung singkat maksimum dan minimum 30 cycle (3 phasa)**

Digunakan untuk studi koordinasi proteksi. Konfigurasi yang digunakan adalah (lihat Lampiran 3) :

- Semua Tie Breaker OPEN

- Sumber : PLN

Perhitungan yang digunakan adalah Hubung Singkat pada 30 Cycle.

**Tabel 5.5.** Asymmetrical Currents Tabulated Values

% Asymmetry	Peak value	RMS value	Peak value to rms value
100	2.83	1.73	1.63
90	2.69	1.62	1.66
80	2.55	1.51	1.69
70	2.40	1.41	1.71
60	2.26	1.31	1.73
50	2.12	1.23	1.73
40	1.98	1.15	1.72
30	1.84	1.09	1.69
24	1.75	1.06	1.66
20	1.70	1.04	1.63
10	1.56	1.01	1.54
0	1.41	1.00	1.41

**5.2.1. Hasil Studi**

Hasil perhitungan *Short Circuit* pada setiap kasus dapat dilihat pada Lampiran 3. Dari hasil perhitungan *Short Circuit Duty* dapat ditentukan kapasitas dari peralatan agar tidak mengalami *Overduty*, sehingga peralatan masih dapat bekerja dengan baik pada saat terjadi hubung singkat.

Secara lengkap hasilnya dapat dilihat pada tabel 6.6 dan 6.7. Sedangkan hasil perhitungan hubung singkat pada setiap bus dengan kondisi pembangkitan sesuai dengan Case 2 dan 3 dapat dilihat pada tabel 6.8. Selanjutnya hasil ini digunakan untuk analisa koordinasi relay arus lebih.

**Tabel 5.6.** Hasil perhitungan Momentary Duty Case-1

Bus		Device		Momentary Duty	
ID	kV	ID	Type	Asymm kA rms	Asymm kA crest
BUS PLN	150	MAIN BUS PLN	Switchgear	31,005	46.296



821MV011	6.3	821MV011	Switchgear	44,631	75,376
821MV021	6.3	821MV021	Switchgear	40,407	68,075
821MV031	6.3	821MV031	Switchgear	48,348	81,319
831MV011	6.3	831MV011	Switchgear	13,672	20,541
831MV021	6.3	831MV021	Switchgear	20,594	34,862
831MV031	6.3	831MV031	Switchgear	6,731	9,630
831MV041	6.3	831MV041	Switchgear	26,557	45,287
831MV051	6.3	831MV042	Switchgear	22,866	39,595
831MV052	6.3	831MV051	Switchgear	18,297	31,686
831MV061	6.3	831MV052	Switchgear	5,197	7,411
831MV071	6.3	831MV071	Switchgear	15,892	27,259
831MV081	6.3	831MV081	Switchgear	34,082	58,491
831MV082	6.3	831MV081	Switchgear	34,528	59,267
831MV091	6.3	831MV052	Switchgear	5,489	7,801
831MV101	6.3	831MV071	Switchgear	15,449	23,088
831MV111	6.3	831MV081	Switchgear	13,672	20,541
831MV121	6.3	831MV081	Switchgear	20,594	34,862
831MV131	6.3	831MV081	Switchgear	7,940	11,446

**Tabel 5.7.** Hasil Perhitungan Hubung Singkat Interrupting Duty Case-1

Bus		Device		Interrupting Duty	
ID	kV	ID	Type	Sym. (kA)	Recommended (kA)
Bus PLN	150	811HV-CB1	5 cySym CB	12,478	16
821MV011	6,3				
	6,3	821MV011-CB1	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB2	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB3	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB4	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB6	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB6	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB7	5 cySym CB	27,325	31.5
	6,3	821MV011-CB8	5 cySym CB	27,325	31.5
821MV021	6,3				
	6,3	821MV021-CB1	5 cySym CB	23,700	25
	6,3	821MV021-CB3	5 cySym CB	23,700	25

	6,3	821MV021-CB4	5 cySym CB	23,700	25
	6,3	821MV021-CB5	5 cySym CB	23,700	25
	6,3	821MV021-CB6	5 cySym CB	23,700	25
	6,3	821MV021-CB7	5 cySym CB	23,700	25
	6,3	821MV021-CB9	5 cySym CB	23,700	25
821MV031	6,3				
	6,3	821MV031-CB1	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB2	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB3	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB4	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB5	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB6	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB7	5 cySym CB	27,949	31.5
	6,3	821MV031-CB8	5 cySym CB	27,949	31.5
831MV011	6,3				
	6,3	831MV011-CB1	5 cySym CB	15.431	16
	6,3	831MV011-CB2	5 cySym CB	15.431	16
	6,3	831MV011-CB3	5 cySym CB	15.431	16
	6,3	831MV011-CB4	5 cySym CB	15.431	16
831MV021	6,3				
	6,3	831MV021-CB1	5 cySym CB	17.827	25
	6,3	831MV021-CB2	5 cySym CB	17.827	25
	6,3	831MV021-CB3	5 cySym CB	17.827	25
831MV031	6,3				
	6,3	831MV031-CB1	5 cySym CB	25.754	31.5
	6,3	831MV031-CB2	5 cySym CB	25.754	31.5
	6,3	831MV031-CB3	5 cySym CB	25.754	31.5
	6,3	831MV031-CB4	5 cySym CB	25.754	31.5
	6,3	831MV031-CB5	5 cySym CB	25.754	31.5
	6,3	831MV031-CB6	5 cySym CB	25.754	31.5
	6,3	831MV031-CB7	5 cySym CB	25.754	31.5
831MV041	6,3				
	6,3	831MV041-CB1	5 cySym CB	15,383	16
	6,3	831MV041-CB2	5 cySym CB	15,383	16
	6,3	831MV041-CB3	5 cySym CB	15,383	16
	6,3	831MV041-CB4	5 cySym CB	15,383	16
	6,3	831MV041-CB5	5 cySym CB	15,383	16
	6,3	831MV041-CB6	5 cySym CB	21.661	16

	6,3	831MV041-CB7	5 cySym CB	21.661	16
	6,3	831MV041-CB8	5 cySym CB	21.661	16
831MV051	6.3				
	6.3	831MV051-CB1	5 cySym CB	19.422	25
	6,3	831MV051-CB2	5 cySym CB	19.422	25
	6,3	831MV051-CB3	5 cySym CB	19.422	25
	6,3	831MV051-CB4	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB5	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB6	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB7	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB8	5 cySym CB	19.422	25
	6,3	831MV051-CB9	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB10	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB11	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB12	5 cySym CB	19.422	25
	6.3	831MV051-CB13	5 cySym CB	19.422	25
831MV052	6.3				
	6.3	831MV052-CB1	5 cySym CB	13,594	16
	6,3	831MV052-CB2	5 cySym CB	13,594	16
	6,3	831MV052-CB3	5 cySym CB	13,594	16
	6,3	831MV052-CB4	5 cySym CB	13,594	16
	6.3	831MV052-CB5	5 cySym CB	13,594	16
	6.3	831MV052-CB6	5 cySym CB	13,594	16
	6.3	831MV052-CB7	5 cySym CB	13,594	16
	6.3	831MV052-CB8	5 cySym CB	13,594	16
	6,3	831MV052-CB9	5 cySym CB	13,594	16
	6,3	831MV052-CB9	5 cySym CB	13,594	16
831MV061	6,3				
	6,3	831MV071-CB1	5 cySym CB	4,928	12,5
	6,3	831MV071-CB2	5 cySym CB	4,928	12,5
	6.3	831MV071-CB3	5 cySym CB	4,928	12,5
831MV071	6,3				
	6,3	831MV081-CB1	5 cySym CB	13,037	16
	6,3	831MV081-CB2	5 cySym CB	13,037	16
	6,3	831MV081-CB3	5 cySym CB	13,037	16
	6,3	831MV081-CB4	5 cySym CB	13,037	16
	6,3	831MV081-CB5	5 cySym CB	13,037	16
	6,3	831MV081-CB6	5 cySym CB	13,037	16
	6,3	831MV081-CB7	5 cySym CB	13,037	16

831MV081	6.3				
	6.3	831MV082-CB1	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB2	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB3	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB4	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB5	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB6	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB7	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB8	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB9	5 cySym CB	21,992	25
	6.3	831MV082-CB10	5 cySym CB	21,992	25
831MV082	6.3				
	6.3	831MV082-CB1	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB2	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB3	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB4	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB5	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB6	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB7	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB8	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB9	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB10	5 cySym CB	22,169	25
	6.3	831MV082-CB11	5 cySym CB	22,169	25
831MV091	6,3				
	6,3	831MV091-CB1	5 cySym CB	5,193	12,5
	6,3	831MV091-CB2	5 cySym CB	5,193	12,5
	6,3	831MV091-CB3	5 cySym CB	5,193	12,5
831MV010	6,3				
	6,3	831MV010-CB1	5 cySym CB	14,501	16
	6,3	831MV010-CB2	5 cySym CB	14,501	16
	6,3	831MV010-CB3	5 cySym CB	14,501	16
831MV011	6,3				
	6,3	831MV011-CB1	5 cySym CB	12,889	16
	6,3	831MV011-CB2	5 cySym CB	12,889	16
	6,3	831MV011-CB3	5 cySym CB	12,889	16
831MV012	6,3				
	6,3	831MV012-CB1	5 cySym CB	17,341	25

	6,3	831MV012-CB2	5 cySym CB	17,341	25
	6,3	831MV012-CB3	5 cySym CB	17,341	25
	6,3	831MV012-CB4	5 cySym CB	17,341	25
831MV013	6,3				
	6,3	831MV013-CB1	5 cySym CB	7,618	12,5
	6,3	831MV013CB2	5 cySym CB	7,618	12,5
	6,3	831MV013-CB3	5 cySym CB	7,618	12,5

**Tabel 5.8.** Hasil perhitungan Hubungan singkat pada tiap Bus Case 2, dan 3

ID	kV	Arus max (3 Phasa fault, kA)		Arus min (Line to Line Fault, kA)
		4 cycle	30 cycle	30 cycle
BUS PLN	150	12.478	18.187	20.866
821MV011	6.3	27.325	29.814	10.306
821MV021	6.3	23.700	26.675	17.989
821MV031	6.3	27.949	31.669	17.065
831MV011	6.3	10.226	11.176	7.148
831MV021	6.3	7.213	7.554	5.707
831MV031	6.3	6.482	6.731	5.707
831MV041	6.3	15.383	18.662	4.202
831MV051	6.3	17.154	18.979	4.782
831MV052	6.3	13.594	15.145	2.348
831MV061	6.3	4.928	5.197	2.999
831MV071	6.3	13.037	14.125	3.274
831MV081	6.3	21.992	24.914	2.612
831MV082	6.3	22.169	25.270	14.329
831MV091	6.3	5.193	5.489	4.090
831MV101	6.3	14.501	15.392	10.906
831MV111	6.3	12.889	13.611	10.193
831MV131	6.3	17.341	18.951	13.035
831LV011	0.4	24.946	31.061	35.892
831LV021	0.4	28.763	37.380	30.210
831LV031	0.4	23.853	28.157	28.794
831LV041	0.4	33.125	41.595	43.772
831LV051	0.4	31.848	40.763	32.195
831LV052	0.4	33.178	38.719	28.870
831LV053	0.4	30.518	36.015	20.062
831LV054	0.4	30.645	36.546	25.161
831LV051	0.4	67.393	33.131	45.565

831LV061	0.4	28.354	42.238	32.418
831LV071	0.4	33.682	46.640	17.244
831LV081	0.4	35.767	41.595	22.892
831LV082	0.4	35.362	40.763	22.892
831LV091	0.4	32.706	45.430	18.559
831LV101	0.4	32.480	42.661	18.559
831LV111	0.4	31.015	40.565	18.559
831LV121	0.4	25.531	37.736	18.559
831LV122	0.4	32.398	31.372	18.559

Untuk mengetahui lebih detail tentang data yang digunakan dalam 3 (tiga) Case simulasi tersebut diatas dapat dilihat pada Lampiran 3.

### 5.3. Motor Starting Analysis

Studi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keamanan operasi system tenaga listrik pada saat terjadi motor besar *start* dan *trip*.

#### 5.3.1. Lingkup Studi

1. Satu motor besar start dan mengamati pengaruhnya terhadap keamanan atau kestabilan arus dan tegangan sistem.
2. Satu motor besar trip yang diikuti tripnya satu atau lebih motor-motor besar lainnya dan mengamati pengaruhnya terhadap keamanan atau kestabilan arus dan tegangan sistem.
3. Posisi TAP trafo 811TX01-02-03 nominal (posisi 0)
4. OLTC dalam kondisi OFF

#### 5.3.2. Asumsi Studi

1. Untuk memberi gambaran kondisi terburuk, simulasi dilakukan pada kondisi beban puncak.
2. Tingkat keamanan operasi akan merujuk ke IEEE Standard C37.102-1995 atau ANSI C50.13-1989 untuk kemampuan short time thermal generator dan standar SPLN untuk frekuensi.
3. Untuk data-data peralatan yang tidak di temukan dilapangan akan digunakan data tipikal yang mendekati.

4. Simulasi start motor dengan starter dilakukan dengan mengacu pada tipe starter yang digunakan di lapangan. Pendekatan dilakukan dengan mengambil kondisi terburuk sebagai contoh.

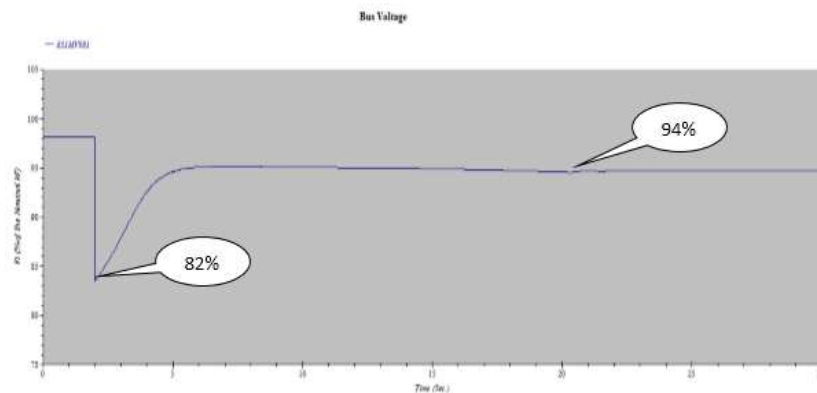
### 5.3.3. Tipe Studi Kasus

1. Satu motor start yakni motor :
  - a) Finish Mill : Motor 541 RM01M01 (5600 kW)
  - b) Raw Mill : Motor 341 FN02MO1 (7100 kW)
2. Beban/Motor trip :
  - a) ER-4
  - b) Raw Mill : Motor 341 FN02MO1 (7100 kW)
  - c) Finish Mill : Motor 541 RM01MO1 (5600 kW)

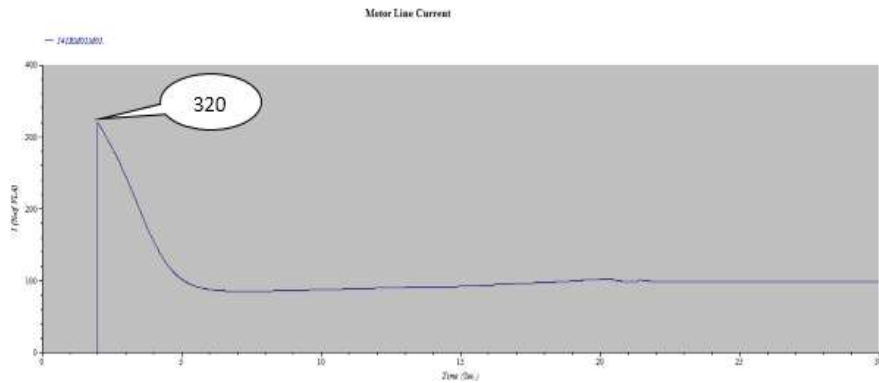
### 5.3.4. Hasil Studi Kasus

1. *Satu motor start : Motor 541 RM01MO1 (5600 kW)*

Motor 541 RM01MO1 di Finish Mill dipilih dengan pertimbangan beban motor cukup besar yaitu 5600 kW. Untuk mensimulasikan kondisi terburuk, diasumsikan semua beban ON (terhubung ke sistem). Simulasi starting motor dengan starter didekati dengan mensetting waktu starter selama 20 detik. Hal ini dilakukan untuk mendekati kondisi sesungguhnya starter di lapangan. Setelah 20 detik, motor beroperasi normal tanpa starter.



**Gambar 5.2** Respon Tegangan Bus ER 08-831MV081



**Gambar 5.3** Respon Arus Motor saat motor 541RM01M01 (5600 kW) start

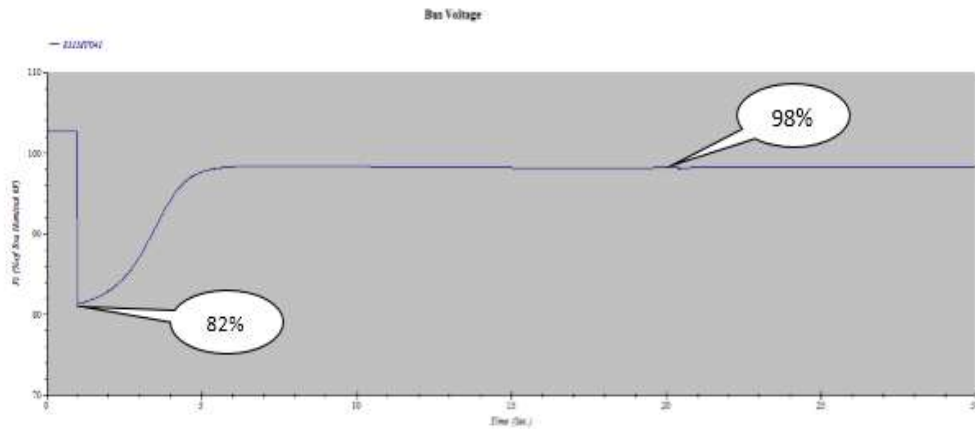
Ringkasan Hasil Starting Motor 541 RM01M01 5600 kW:

<b>Analisis Starting motor 541 RM01M01 (5600 kW)</b>	
<b>Tujuan : Mengetahui kondisi tegangan/arus saat starting motor</b>	
<b>KONDISI OPERASI</b>	<b>Beban beroperasi semua</b>
<b>STARTING MOTOR</b>	<b>Starting Motor 541 RM01M01 5600 kW</b> start pada detik ke 1, detik ke19 starter off
<b>ANALISIS KESTABILAN</b>	Nilai tegangan minimum = 82 % Nilai arus starting maksimum = 320 % arus full load
<b>STATUS KESTABILAN</b>	<b>STABIL</b>

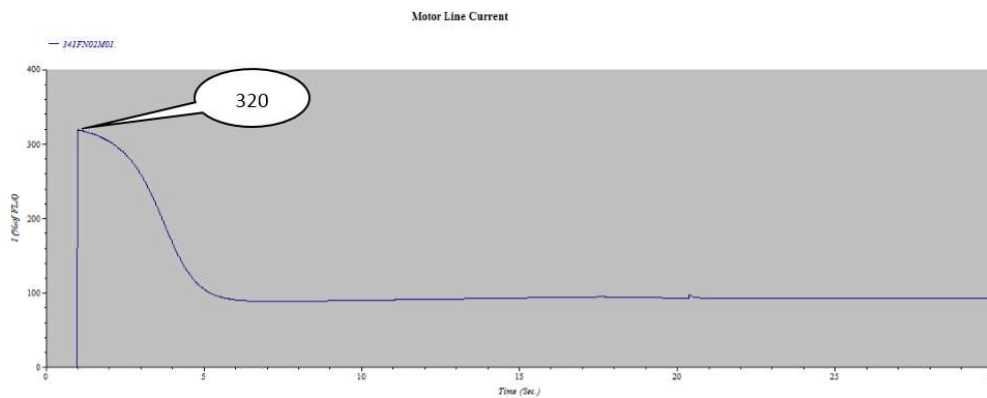
2. *Satu motor start : Motor 341 FN01M01 (7100 kW)*

Motor 341 FN01M01 dipilih dengan pertimbangan beban motor cukup besar yaitu 7100 kW. Untuk mensimulasikan kondisi terburuk, diasumsikan semua beban ON (terhubung ke sistem). Simulasi starting motor dengan starter didekati dengan mensetting waktu starter selama 20 detik. Hal ini dilakukan untuk mendekati kondisi riil starter di lapangan. Setelah 20 detik, motor beroperasi normal tanpa starter.





**Gambar 5.4** Respon Tegangan Bus ER 04-831-MV041



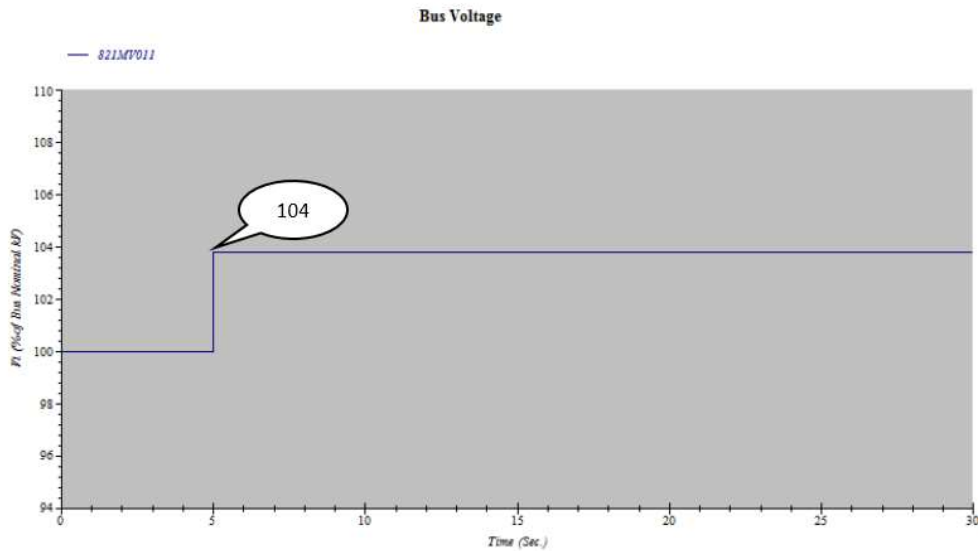
**Gambar 5.5** Respon Arus Motor saat motor 341 FN02M01 start

Ringkasan Hasil Starting Motor 341FN02MO1 (7100 kW) :

<b>Analisis Starting motor 341FN02M01 (7100 kW)</b>	
<b>Tujuan : Mengetahui kondisi tegangan/arus saat starting motor</b>	
<b>KONDISI OPERASI</b>	<b>Beban beroperasi semua</b>
<b>MOTOR TRIP</b>	<b>Starting motor 341 FN02M01 7100 kW start pada detik ke 1, detik ke19 starter off</b>
<b>ANALISIS KESTABILAN</b>	Nilai drop tegangan maksimum = 82% Nilai arus starting maksimum = 320% arus full load
<b>STATUS KESTABILAN</b>	<b>STABIL</b>

### 3. ER-4 Trip

ER-4 dipilih karena total bebannya di Pabrik Semen Aceh. Untuk mensimulasikan kondisi terburuk, diasumsikan semua beban ON (terhubung ke sistem). Simulasi beban trip didekati dengan batas tegangan lebih 105%.



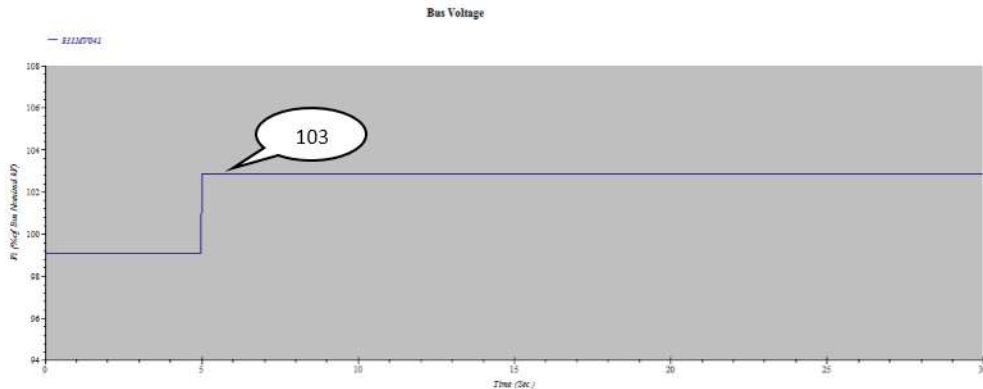
**Gambar 5.6** Respon Tegangan Bus 821MV011

Ringkasan Hasil untuk ER-4 (beban) Trip:

<b>Analisis ER-4 (beban) Trip</b>	
<b>Tujuan : Mengetahui kondisi tegangan saat beban trip</b>	
<b>KONDISI OPERASI</b>	<b>Beban beroperasi semua</b>
<b>BEBAN TRIP</b>	<b>ER-4 Trip</b> Trip pada detik ke 5
<b>ANALISIS KESTABILAN</b>	Nilai tegangan naik menjadi 100-104%
<b>SARAN</b>	Menstabilkan tegangan melalui OLTC

#### 4. Motor 341 FN02MO1 (7100 kW) trip

Motor 341 FN02MO1 dipilih dengan pertimbangan beban motor cukup besar yaitu 7100 kW. Untuk mensimulasikan kondisi terburuk, diasumsikan semua beban on. Simulasi motor trip didekati dengan batas tegangan lebih 105 %. Dalam simulasi akan dilihat kondisi tegangan ketika dan setelah motor trip.



**Gambar 5.7** Respon Tegangan Bus ER 4-831MV041 saat motor 341 FN02MO1 (7100 kW) trip

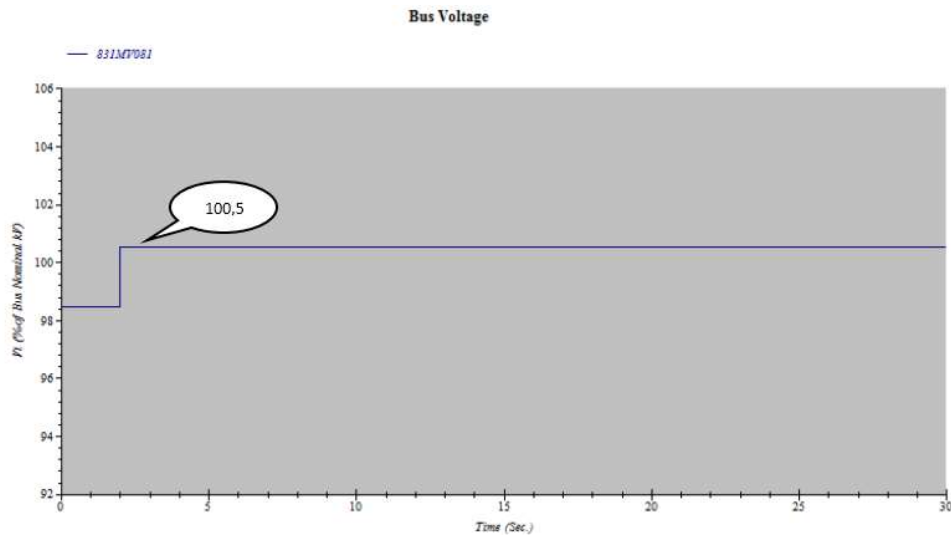
Ringkasan Hasil untuk Motor 341 FN02MO1 (7100 kW) Trip

<b>Analisis Motor Trip</b>	
<b>Tujuan : Mengetahui kondisi tegangan saat motor 341 FN02MO1 (7100 kW) Trip</b>	
<b>KONDISI OPERASI</b>	<b>Beban beroperasi semua</b>
<b>MOTOR TRIP</b>	<b>Motor 341 FN02MO1 (6360) Trip</b> Trip pada detik ke 1
<b>ANALISIS KESTABILAN</b>	saat motor trip tegangan naik menjadi 103 %
<b>SARAN</b>	Menstabilkan tegangan melalui OLTC

#### 5. Motor 541RM01MO1 (5600 kW) trip

Motor 541 RM01MO1 dipilih dengan pertimbangan beban motor cukup besar yaitu 5600 kW. Untuk mensimulasikan kondisi terburuk, diasumsikan semua beban on. Simulasi motor trip didekati dengan

batas tegangan lebih 105 %. Dalam simulasi akan dilihat kondisi tegangan ketika dan setelah motor trip.



**Gambar 5.8** Respon Tegangan Bus ER 6-831-MV061

Ringkasan Hasil untuk Motor 541RM01MO1 (5500 kW) Trip:

<b>Analisis Motor 541RM01MO1(5600 kW) Trip</b>	
<b>Tujuan : Mengetahui kondisi tegangan setelah motor trip</b>	
<b>KONDISI OPERASI</b>	<b>Beban beroperasi semua</b>
<b>MOTOR TRIP</b>	<b>Motor 541RM01MO1 (5600kW) Trip</b> Trip pada detik 2
<b>ANALISIS KESTABILAN</b>	Nilai tegangan naik menjadi 100,5%
<b>SARAN</b>	-

#### 5.4. Harmonic Study

Harmonic Study pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh dilakukan dengan membuat model untuk simulasi harmonisa berdasarkan data sumber harmonisa dari peralatan yang akan digunakan dengan menggunakan Software ETAP untuk simulasi harmonic.

**5.4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh**

Untuk tujuan analisis, dilakukan pemodelan sistem kelistrikan dengan menggunakan Software ETAP. Pemodelan dilakukan berdasarkan data sumber harmonisa peralatan sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh untuk kondisi pembebanan maksimum.

Hasil pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh ditunjukkan pada Lampiran 4, yang merupakan output dari program Harmonic Load Flow yaitu THD tegangan dan arus.

**5.4.2. Evaluasi Hasil Pemodelan**

Evaluasi hasil pemodelan harmonisa dilakukan berdasarkan Standard IEEE sebagai berikut :

**Tabel 5.9** IEEE STD. 519-1992 IEEE-519 Voltage Distortion Limits

<b>Bus Voltage at PCC</b>	<b>IHD<sub>v</sub> (%)</b>	<b>THD<sub>v</sub>(%)</b>
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

IHD<sub>v</sub> = Individual Harmonic voltage Distortion

THD<sub>v</sub> = Total Harmonic voltage Distortion

**Tabel 5.10** IEEE STD. 519-1992 IEEE-519 Maximum Odd-Harmonic Current Distortion (%) Limits for General Distribution Systems (120 Volts – 69,000Volts)

<b><i>I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub></i></b>	<b>n&lt;11</b>	<b>11≤n&lt;17</b>	<b>17≤n&lt;23</b>	<b>23≤n&lt;35</b>	<b>35≤n</b>	<b>TDD</b>

<20	4.0	2.0	1.5	9.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Hasil pemodelan harmonisa sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh menunjukkan nilai %THD<sub>v</sub> pada bus-bus tertentu diatas standard yang diijinkan. Demikian juga untuk THDi seperti ditunjukkan pada Tabel 6.10.

### 5.4.3. Simulasi Harmonic

#### 5.4.3.1. Simulasi Harmonic Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Aceh

Dilakukan untuk memperkirakan nilai THD Tegangan dan THD Arus pada tiap-tiap bus. Model sistem kelistrikan Pabrik Semen Aceh dengan kondisi pembebanan maksimum digunakan pada simulasi ini. Hasil simulasi (bus-bus utama) ditunjukkan pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11** Hasil Simulasi Harmonic Sistem Kelistrikan Tanpa Kompensasi (filter harmonik)

Nama Bus	% THD V	Standar IEEE	% THD I	Standar IEEE
		% THD V		% TDD
BUS PLN	0,46	2,5	---	12
821MV011	0,29	5	0,74	8
821MV021	<b>6,36</b>	5	4,80	5
821MV031	2,55	5	1,70	5
821MV042	<b>6,36</b>	5	4,80	12
831MV011	0,29	5	1,86	12
831MV021	0,29	5	0,10	8
831MV031	0,29	5	0,17	8
831MV041	0,25	5	0,35	8
831MV051	<b>8,53</b>	5	4,66	12
831MV052	<b>5,89</b>	5	4,14	12
831MV061	<b>5,90</b>	5	2,20	8

831MV071	<b>7,16</b>	5	3,87	5
831MV081	2,79	5	1,51	8
831MV082	2,87	5	1,51	12
831MV091	2,86	5	1,16	8
831MV101	2,54	5	1,23	8
831MV111	<b>6,35</b>	5	2,75	8
831MV121	<b>6,34</b>	5	2,81	8
831MV131	<b>6,35</b>	5	3,38	8
831LV011	0,63	5	0,84	8
831LV021	0,26	5	0,18	8
831LV031	0,27	5	0,18	8
831LV041	0,21	5	3,46	8
831LV051	<b>7,34</b>	5	3,73	8
831LV052	<b>7,03</b>	5	3,64	8
831LV053	<b>6,76</b>	5	3,45	8
831LV054	4,95	5	2,65	8
831LV061	<b>5,27</b>	5	2,21	8
831LV071	<b>6,14</b>	5	3,46	8
831LV081	2,17	5	1,25	8
831LV082	2,23	5	1,28	8
831LV091	2,24	5	1,19	8
831LV101	2,08	5	1,29	8
831LV11.1	<b>5,39</b>	5	2,83	8
831LV12.1	<b>5,13</b>	5	3,06	8
831LV12.2	<b>5,47</b>	5	3,06	8

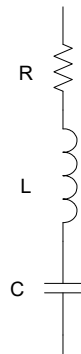
#### 5.4.3.2. Analisis Hasil Simulasi Harmonic

Hasil simulasi menunjukkan sejumlah bus dengan tegangan 6,3 kV mempunyai nilai THDv diatas standard yang diijinkan, dan sejumlah bus dengan tegangan 6,3 kV mempunyai nilai THDi diatas standard yang diijinkan (tercetak tebal).

Model ini merupakan model simulasi harmonik yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan fenomena yang timbul bila akan dipasang capacitor bank untuk memperbaiki Power Factor, atau filter harmonic yang selain untuk memperbaiki Power Factor juga untuk meredam Harmonic.

#### 5.4.3.3. Perancangan Filter harmonik pada bus 6.3kV

Filter Harmonic yang digunakan adalah jenis “Single Tuned” seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 “high pass damped” dengan nilai komponen-komponennya sebagai berikut :



**Gambar 5.9.** Rangkaian Filter Harmonic jenis “Single Tuned”

831MV031:

$C = 216.2 \mu\text{F}$ ;  $L = 1.87 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 5

$C = 132.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 1.56 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 7

831MV041:

$C = 176.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.34 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 13

$C = 144.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.58 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 11

831MV042:

$C = 216.2 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.39 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 11

831MV051:

$C = 176.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.47 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 11

$C = 144.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.42 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 13

831MV061:

$C = 176.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 1.17 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 7

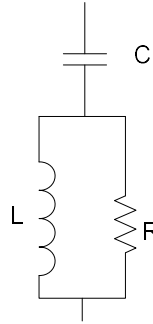
$C = 144.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 2.81 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 5



831MV062:

$C = 176.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.34 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 13

$C = 144.1 \mu\text{F}$ ;  $L = 0.58 \text{ mH}$  ;  $R = 0.1 \Omega$ ; Filter orde 11



**Gambar 5.10.** Rangkaian Filter Harmonic jenis “High pass damped”

#### 5.4.3.4. Simulasi Harmonic dengan Filter Harmonic

Untuk simulasi ini Filter Harmonic dipasang pada Bus 6,3 kV (ER). Dilakukan untuk memperkirakan nilai THD Tegangan dan THD Arus pada tiap-tiap bus akibat pemasangan capacitor bank sebagai filter harmonic (Lampiran 4). Dalam hal ini digunakan filter harmonic ke 5, 7, 11, dan 13. Hasil simulasi (bus-bus utama) ditunjukkan pada Tabel 5.13.

**Tabel 5.12** Hasil Simulasi Harmonic dengan Filter Harmonik

Nama Bus	% THD V	Standar IEEE	% THD I	Standar IEEE
		% THD V		% TDD
BUS PLN	0.46	2.5	0	12
821MV011	0,11	5	0,14	8
821MV021	0,44	5	0,58	5
821MV031	1,00	5	0,89	5
821MV042	0,44	5	0,17	12
831MV011	0,24	5	2,96	12
831MV021	0,18	5	2,32	8
831MV031	0,11	5	0,58	8
831MV041	0,08	5	0,29	8
831MV051	0,24	5	2,33	12
831MV052	0,18	5	0,59	12
831MV061	0,11	5	0,59	8

831MV071	0,08	5	0,62	5
831MV081	0,61	5	1,04	8
831MV082	0,66	5	1,35	12
831MV091	0,66	5	0,25	8
831MV101	0,84	5	0,58	8
831MV111	2,02	5	0,29	8
831MV121	0,45	5	0,29	8
831MV131	0,45	5	0,32	8
831LV011	0,51	5	0,32	8
831LV021	0,13	5	0,23	8
831LV031	0,10	5	0,08	8
831LV041	0,07	5	0,05	8
831-LV05.1	0,07	5	0,38	8
831-LV05.2	0,53	5	0,37	8
831-LV05.3	0,51	5	0,36	8
831-LV05.4	0,49	5	0,48	8
831-LV06.1	0,61	5	0,47	8
831-LV07.1	0,61	5	0,63	8
831LV081	1,54	5	1,09	8
831LV082	0,38	5	0,27	8
831LV091	0,38	5	0,25	8
831LV101	0,81	5	0,60	8
831.LV11.1	0,80	5	0,30	8
831.LV12.1	1,54	5	0,28	8
831.LV12.2	0,51	5	0,30	8

#### 5.4.3.5. Analisis Hasil Simulasi Harmonic dengan Filter Harmonic

Hasil simulasi menunjukkan terjadi penurunan harmonic yang cukup signifikan akibat pemasangan filter harmonic untuk memperbaiki Power Factor. Semua nilai THDv (MV maupun LV) jauh dibawah standard yang diijinkan. Demikian juga untuk THDi kecuali di 3 bus LV yang melewati batas maximumnya. Penggunaan Filter Harmonic bertujuan untuk mengamankan sistem dari efek fatal fenomena resonansi sehingga dapat terhindar dari permasalahan *Resonansi Paralel maupun Resonansi Seri*.

**Tabel 5.13** Daftar Filter Harmonic

831 – FH031	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Raw Mill	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2700 kVAR

	tuning frequency = 250 Hz, Q factor = 45
	C = 216.20 $\mu$ F ; L = 1.87 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 14.73 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.59 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH032	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Raw Mill	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 1650 kVAR
	tuning frequency = 350 Hz, Q factor = 45
	C = 132.10 $\mu$ F ; L = 1.56 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 24.11 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.49 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH41	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Kiln & Preheater	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2200 kVAR
	tuning frequency = 650 Hz, Q factor = 45
	C = 176.10 $\mu$ F ; L = 0.34 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 18.08 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.11 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor

	c/w all necessary accessories
--	-------------------------------

831 – FH42	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Kiln&Preheater	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 1800 kVAR
	tuning frequency = 550 Hz, Q factor = 45
	C = 144.10 $\mu$ F ; L = 0.58 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 22.10 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.18 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH043	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Coal Mill	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2700 kVAR
	tuning frequency = 550 Hz, Q factor = 45
	C = 216.20 $\mu$ F ; L = 0.39 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 14.73 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.12 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH051	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Clinker Cooler	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2200 kVAR
	tuning frequency = 550 Hz, Q factor = 45
	C = 176.10 $\mu$ F ; L = 0.47 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 18.08 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.15 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :

	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH052	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Clinker Cooler	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 1800 kVAR,
	tuning frequency = 650 Hz, Q factor = 45
	C = 144.10 $\mu$ F ; L = 0.42 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 22.10 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.13 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH061	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Finish Mill 1	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2200 kVAR
	tuning frequency = 350 Hz, Q factor = 45
	C = 176.10 $\mu$ F ; L = 1.17 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 18.08 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.37 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH06.2	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Finish Mill 1	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 1800 kVAR
	tuning frequency = 250 Hz, Q factor = 45

	C = 144.10 $\mu$ F ; L = 2.81 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 22.10 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.88 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH063	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Finish Mill 2	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2200 kVAR
	tuning frequency = 650 Hz, Q factor = 45
	C = 176.10 $\mu$ F ; L = 0.34 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 18.08 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.11 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

831 – FH064	6,3 kV Harmonic Filter (Single Tuned Filter)
Finish Mill 2	6,3 kV, 3 Phase, 50 Hz, 2500 kVAR
	tuning frequency = 550 Hz, Q factor = 45
	C = 144.10 $\mu$ F ; L = 0.58 mH ; R = 0.10 $\Omega$ ; XC = 22.10 $\Omega$ (50 Hz) ; XL = 0.18 $\Omega$ (50 Hz)
	outdoor used, free standing, consist of :
	Three phase capacitor bank
	3 x Single phase air core reactor
	Three phase damping resistor
	c/w all necessary accessories

Hasil simulasi menunjukkan terjadi penurunan harmonik yang cukup signifikan akibat pemasangan filter harmonik untuk memperbaiki Power Factor. Penggunaan Filter Harmonik bertujuan untuk mengamankan sistem dari efek fatal fenomena resonansi sehingga dapat terhindar dari permasalahan *Resonansi Paralel* maupun *Resonansi Seri*.

## **5.5. Koordinasi Relay Protection**

Koordinasi rele merupakan pengaturan setting arus dan waktu beberapa rele yang berada di sisi hulu (upstream) dan hilir (downstream) yang bertujuan untuk memperoleh selektivitas yang tinggi dalam meminimalisi gangguan yang terjadi agar tidak meluas, sehingga kontinuitas system tetap terjaga.

Kecepatan waktu pemutusan yang tepat akan dapat memberikan perlindungan yang baik bagi sistem dan peralatan yang ada, agar tidak mengalami dampak yang buruk akibat terjadinya gangguan, juga mencegah terjadinya kebakaran.

Studi yang dilakukan meliputi beberapa hal yaitu :

- a) Analisa teknis terhadap sistem pengaman
- b) Rekomendasi setting dan koordinasi peralatan proteksi
- c) Plot kurva koordinasi arus dan waktu untuk peralatan pengaman dari sisi hilir (downstream) sampai ke sisi hulu (upstream)

### **5.5.1. Analisa Setting dan Koordinasi Peralatan Pengaman**

Analisa untuk setting dan koordinasi peralatan pengaman (rele dan breaker/fuse) memperhatikan beberapa hal antara lain :

- a. Fungsi sensitivitas, peralatan pengaman harus dapat merasakan dan mengamankan arus gangguan minimum pada titik gangguan yang terdekat.

- b. Fungsi selektivitas, peralatan pengaman tidak boleh bekerja untuk arus starting motor, arus pengisian (inrush current) pada transformator. Untuk peralatan pengaman yang berada di hulu harus dapat merasakan gangguan pada titik gangguan yang berada di hilir dan operasinya harus menunggu apabila terjadi kegagalan operasi pemutusan gangguan oleh peralatan pengaman dibawahnya (sisi hilir)
- c. Fungsi koordinasi, kerja peralatan pengaman dalam menjalankan fungsi sensitivitas dan selektivitas untuk daerah hulu sampai ke hilir harus dikoordinasikan dari segi penyetelan waktu dan arusnya. Dari hasil koordinasi tidak boleh terjadi adanya beberapa peralatan pengaman yang bekerja secara bersamaan waktu (di luar ketentuan yang dikehendaki) , waktu pemutusan gangguan yang melampaui batas ketahanan peralatan listrik dan sebagainya.

Berdasar standard IEEE 242 rincian waktu yang dibutuhkan untuk memutuskan arus gangguan dihitung dari relay mengenali gangguan sampai circuit breaker membuka adalah :

Waktu terbuka Circuit beaker	: 0,04 – 0,1 det (2-5 Cycle)
Over-travel dari relay	: 0,1 det
Faktor Keamanan	: 0,12 – 0,22 det

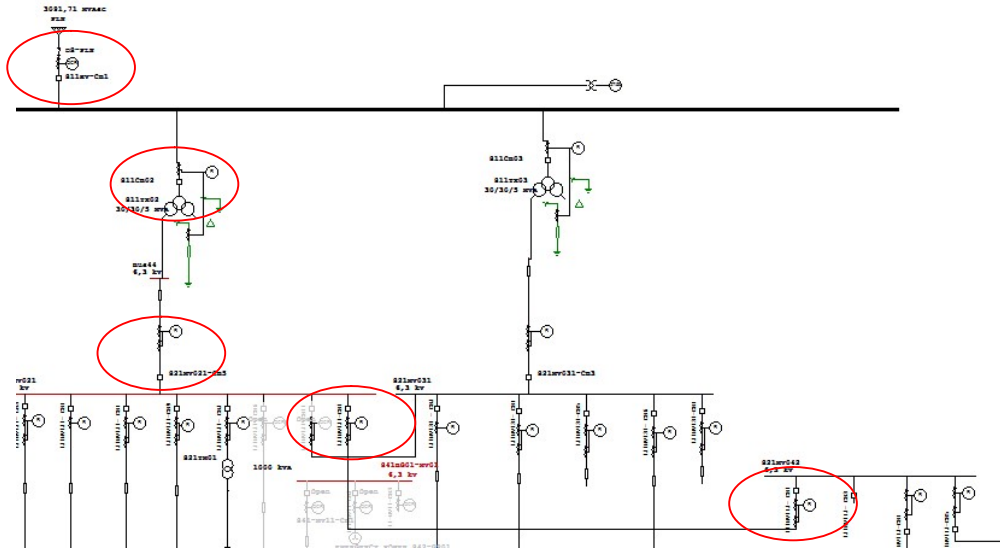
Untuk relay static dan relay digital berbasis microprocessor overt-travel time dari relay dapat diabaikan, sehingga total waktu kerja relay sampai circuit breaker membuka adalah 0,2 - 0,4 detik. Dengan dasar perhitungan standard diatas waktu kerja relay sampai CB OPEN dipilih 0,2 detik. Perbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan di sisi hilir telah berhasil padam, sehingga kemungkinan trip serentak dapat dihindarkan.

### **5.5.2. Koordinasi Relay Pengaman Kelistrikan Pabrik Semen Aceh**

Sistem pengaman pada sistem kelistrikan pabrik semen Aceh dapat diwakili oleh satu contoh typical setting dengan jalur terpanjang yaitu, dari BUS



831MV042 sampai HV CB PLN. Typical setting dapat dilihat pada Gambar 6.11 dibawah ini. Typical setting ini mewakili semua jalur/feeder yang ada pada sistem kelistrikan pabrik semen Aceh.



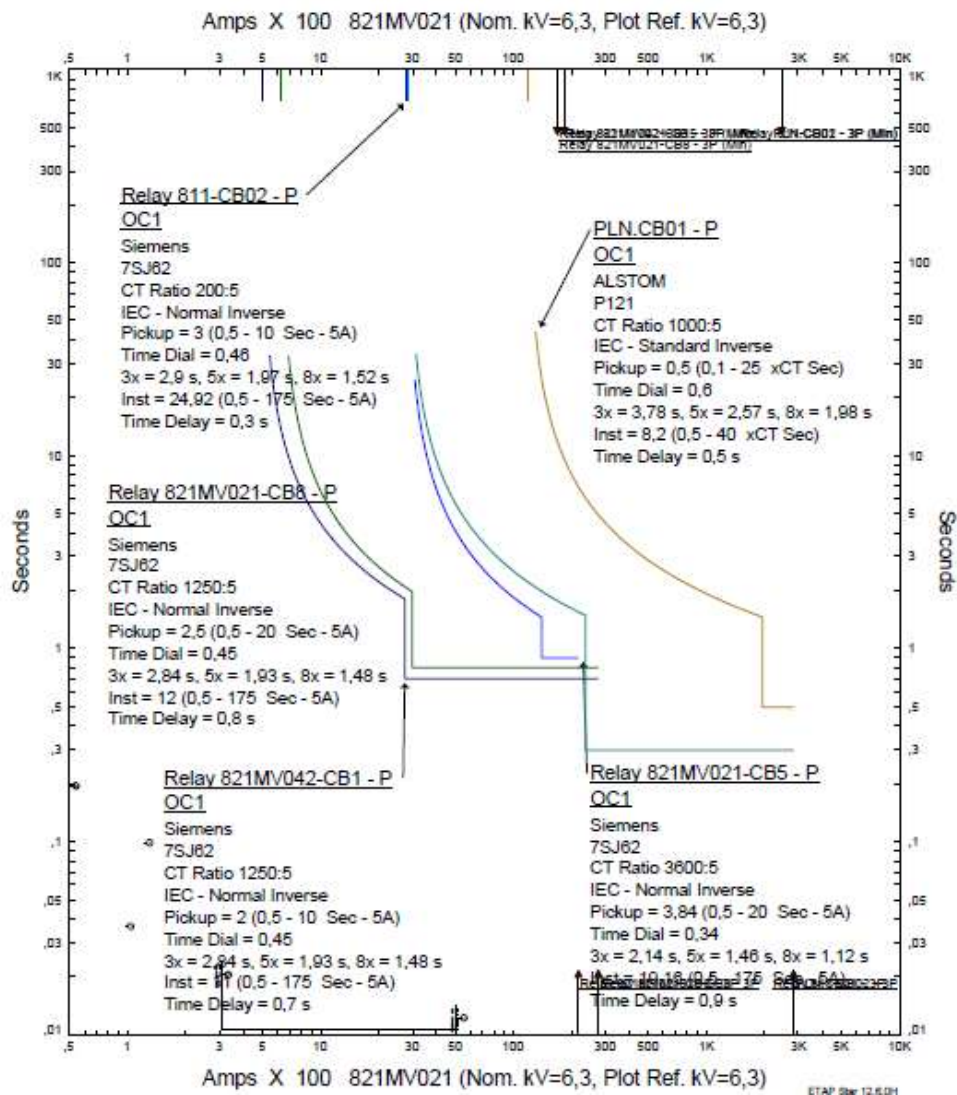
**Gambar 5.11** Koordinasi Typical

Pada Gambar 5.11, dapat dilihat letak peralatan proteksi dengan nama peralatan (ID) disesuaikan dengan nama circuit breakernya.

Selain setting waktu, juga diperlukan setting arus high set dengan mempertimbangkan arus magnetisasi (inrush current) pada trafo dan arus starting motor berdaya besar.

Dengan setting ini maka akan didapatkan sensitifitas relay yang bertingkat, dimana relay feeder beban adalah yang paling sensitive terhadap gangguan. Diharapkan dengan setting ini maka jika terjadi gangguan pada beban, maka relay feeder yang akan paling cepat merespon gangguan dan circuit breakernya paling cepat membuka.

Plot kurva-kurva koordinasi untuk Typical Setting ditunjukkan pada Gambar 5.12.



**Gambar 5.12** Kurva TCC Koordinasi Proteksi

## 811 HV-CB1

### 1. Relay Technical Data :

- ID : PLN CB1
- Brand Relay : Alstom P121
- Relay Functions : Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50), Inverse Phase Overcurrent (51), Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N), Inverse Ground/Neutral Fault (51N),

Unbalance/Negative Sequence (46), Undervoltage (27),  
Overvoltage (59)

- CT Ratio : 1000/5
- Z-CT Ratio : 1000/5

**2. Relay Setting :**

- a. Inverse Phase Overcurrent (51) & Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50) Protection

Relay Functions				
51			50	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
0,5	IEC-Standard Inverse	0,6	8,2	0.5

- b. Inverse Ground/Neutral Fault (51N) & Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N) Protection

Relay Functions				
51N			50N	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	1	0.3

- c. Definite Level 1 Unbalance/Negative Sequence (46-1) & Definite Level 2 Unbalance/Negative Sequence (46-2) Protection

Relay Functions			
46-1		46-2	
I >	Time Delay (s)	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>

**811CB02**

**1. Relay Technical Data :**

- Relay : Tag 811CB02
- Type Relay : Siemens 7SJ62

- Relay Functions : Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50), Inverse Phase Overcurrent (51), Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N), Inverse Ground/Neutral Fault (51N), Unbalance/Negative Sequence (46), Undervoltage (27), Overvoltage (59)
- CT Ratio : 200/5
- Z-CT Ratio : 200/5

**2. Relay Setting :**

- a. Inverse Phase Overcurrent (51) & Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50) Protection

Relay Functions				
51			50	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
3	IEC-Very Inverse	0,46	24,92	0.3

- b. Inverse Ground/Neutral Fault (51N) & Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N) Protection

Relay Functions				
51N			50N	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	1,5	0,01

- c. Definite Level 1 Unbalance/Negative Sequence (46-1) & Definite Level 2 Unbalance/Negative Sequence (46-2) Protection

Relay Functions			
46-1		46-2	
I >	Time Delay (s)	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>

**Incoming from 811TX02**

**1. Relay Technical Data :**

- Relay : Relay 821MV021-CB5
- Type Relay : Siemens 7SJ62
- Relay Functions : Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50), Inverse Phase Overcurrent (51), Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N), Inverse Ground/Neutral Fault (51N), Unbalance/Negative Sequence (46), Undervoltage (27), Overvoltage (59)
- CT Ratio : 3600/5
- Z-CT Ratio : 300/5

**2. Relay Setting :**

- a. Inverse Phase Overcurrent (51) & Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50) Protection

Relay Functions				
51			50	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
3,84	IEC-Very Inverse	0,34	19,16	0.9

- b. Inverse Ground/Neutral Fault (51N) & Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N) Protection

Relay Functions				
51N			50N	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	0,25	1,2

- c. Definite Level 1 Unbalance/Negative Sequence (46-1) & Definite Level 2 Unbalance/Negative Sequence (46-2) Protection

Relay Functions
-----------------

46-1		46-2	
I >	Time Delay (s)	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>

### Outgoing To 831MV041

#### 1. Relay Technical Data :

- Relay : Relay 821MV021-CB8
- Type Relay : Siemens 7SJ62
- Relay Functions : Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50), Inverse Phase Overcurrent (51), Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N), Inverse Ground/Neutral Fault (51N), Unbalance/Negative Sequence (46), Undervoltage (27), Overvoltage (59)
- CT Ratio : 1250/5
- Z-CT Ratio : 300/5

#### 2. Relay Setting :

- a. Inverse Phase Overcurrent (51) & Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50) Protection

Relay Functions				
51			50	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
2,5	IEC-Very Inverse	0,45	12	0.8

- b. Inverse Ground/Neutral Fault (51N) & Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N) Protection

Relay Functions				
51N			50N	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	0,25	0.5

- c. Definite Level 1 Unbalance/Negative Sequence (46-1) & Definite Level 2 Unbalance/Negative Sequence (46-2) Protection

Relay Functions			
46-1		46-2	
I >	Time Delay (s)	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>

### Incoming from 821MV021

#### 1. Relay Technical Data :

- Relay : Relay 821MV042-CB1
- Type Relay : 7SJ62
- Relay Functions : Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50), Inverse Phase Overcurrent (51), Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N), Inverse Ground/Neutral Fault (51N), Unbalance/Negative Sequence (46), Undervoltage (27), Overvoltage (59)
- CT Ratio : 1250/5
- Z-CT Ratio : 300/5

#### 2. Relay Setting :

- a. Inverse Phase Overcurrent (51) & Instantaneous/Definite Phase Overcurrent (50) Protection

Relay Functions				
51			50	
I >	Characteristic Curve	Time Dial	I >>	Time Delay (s)
2	IEC-Normal Inverse	0,45	11	0.7

- b. Inverse Ground/Neutral Fault (51N) & Instantaneous/Definite Ground/Neutral Fault (50N) Protection

Relay Functions				
51N			50N	
I >	Characteristic	Time	I >>	Time

	Curve	Dial		Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	0,25	0.7

- c. Definite Level 1 Unbalance/Negative Sequence (46-1) & Definite Level 2 Unbalance/Negative Sequence (46-2) Protection

<b>Relay Functions</b>			
<b>46-1</b>		<b>46-2</b>	
I >	Time Delay (s)	I >>	Time Delay (s)
<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>	<b>Disable</b>

Selain setting waktu, juga diperlukan setting arus high set dengan mempertimbangkan arus magnetisasi (inrush current) pada trafo dan arus starting motor berdaya besar.

Dengan setting ini maka akan didapatkan sensitifitas relay yang bertingkat, dimana relay feeder beban adalah yang paling sensitive terhadap gangguan. Diharapkan dengan setting ini maka jika terjadi gangguan pada beban, maka relay feeder yang akan paling cepat merespon gangguan dan circuit breakernya paling cepat membuka.