

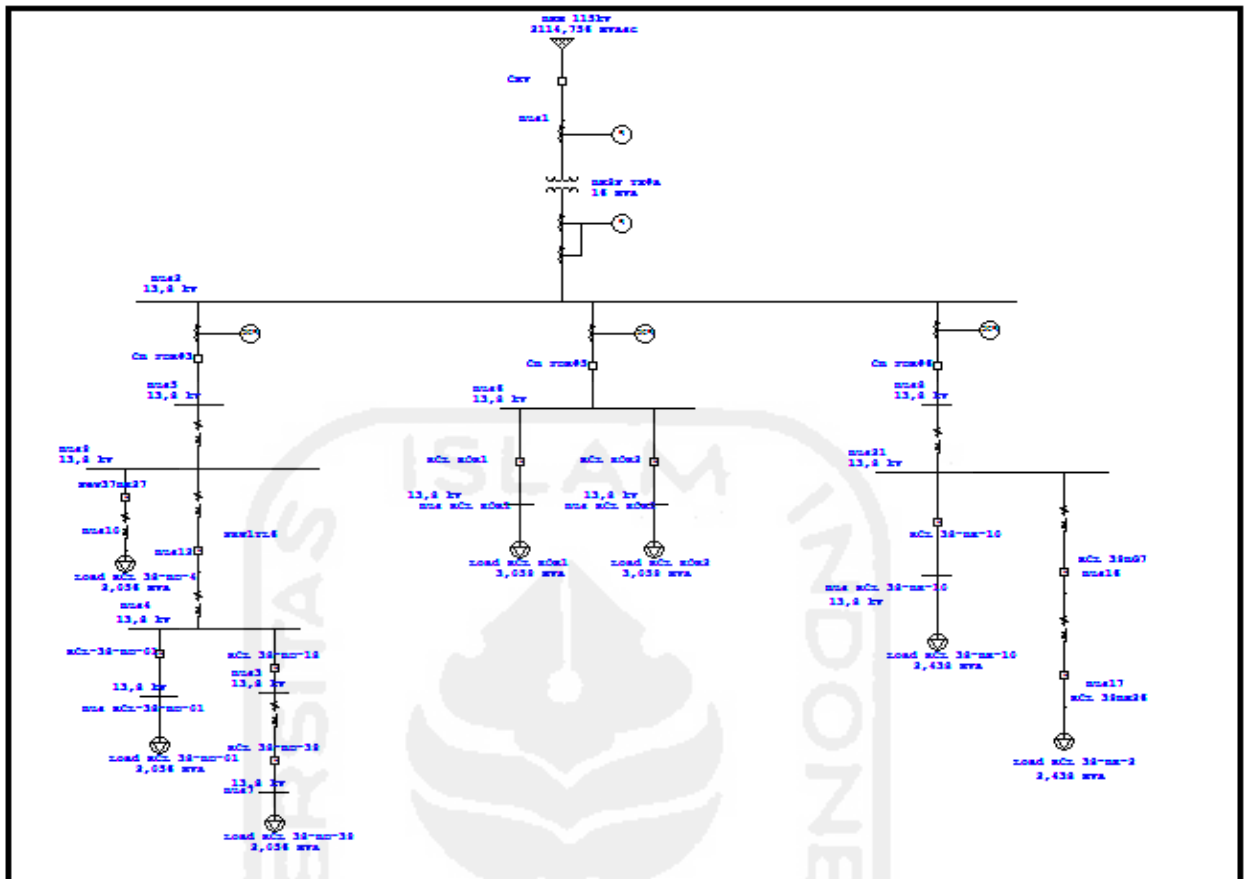
BAB IV

HASIL, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Penyulang Bekasap 6 PT Chevron Pacific Indonesia Duri

Tugas akhir ini membahas tentang analisa *arc flash* yang terjadi pada sistem kelistrikan yang mengamati berapa besar energi dan durasi waktu terjadinya *arc flash*. Dengan demikian penulis dapat menentukan kategori bahaya energi *arc flash* sesuai kategori standar IEEE 1584-2002 dalam skala kategori bahaya 0 sampai 4, sehingga dapat mengetahui alat peindung diri dalam pemeriksaan *arc flash* dan mengetahui label bahaya *arc flash* pada sistem kelistrikan di Penyulang Bekasap 6 PT Chevron Pacific Indonesia Duri.

One line diagram dari industri tersebut dimodelkan pada *software* ETAP 12.6.0, maka dari itu dibutuhkan data peralatan yang terdiri dari data *power grid*, trafo, kabel, dan *bus*. Kemudian akan dilakukan analisa *arc flash* pada *bus* atau *switchgear* tegangan menengah yang terdiri dari *bus 2, bus3, bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8, bus 9, bus 21, bus RCL-38-BD-01, bus RCL-EOR-1, bus RCL-EOR-2, bus RCL-38-BE-10*. *Arc flash* akan terjadi ketika adanya *short circuit*, maka dari itu dilakukan pencarian *short circuit* pada pengaturan *power grid* sesuai dengan persamaan rumus yang telah diteliti. Pada gambar 3.1 merupakan kondisi *one line diagram* dalam keadaan normal.



Gambar 4.1 One line diagram pada Penyulang Bekasap dalam kondisi normal

Sebelum mengetahui nilai *arc flash*, maka terlebih dahulu mencari nilai *short circuit* yaitu dengan cara pengaturan pada *power grid* dengan menggunakan persamaan rumus daya nyata (S), sehingga penulis dapat mengetahui nilai *arc flash* pada tiap parameter *bus* yang diamati dengan melakukan perhitungan berdasarkan rumus perhitungan mencari besarnya energi *arc flash* dan lamanya durasi waktu *arc flash* tiap parameter *bus*. Pada gambar 4.2 merupakan data *report short-circuit summary* penyulang bekasap 6 *substation*.

Short-Circuit Summary Report

1/2 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground		
ID	kV	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag
Bus RCL EOR2	13.80	0.461	-7.615	7.629	0.396	-0.020	0.397	6.595	0.400	6.607	-6.694	-0.397	6.706
Bus RCL-38-BD-01	13.80	0.939	-4.494	4.591	0.384	-0.043	0.387	3.891	0.814	3.976	-3.989	-0.807	4.070
Bus RCL 38-BE-10	13.80	0.938	-4.628	4.722	0.385	-0.041	0.388	4.008	0.812	4.090	-4.106	-0.806	4.184
Bus RCL EOR1	13.80	0.461	-7.615	7.629	0.396	-0.020	0.397	6.595	0.400	6.607	-6.694	-0.397	6.706
Bus1	115.00	1.406	-10.524	10.617	1.583	-11.286	11.396	9.114	1.217	9.195	-10.014	4.865	11.133
Bus2	13.80	0.461	-7.615	7.629	0.396	-0.020	0.397	6.595	0.400	6.607	-6.694	-0.397	6.706

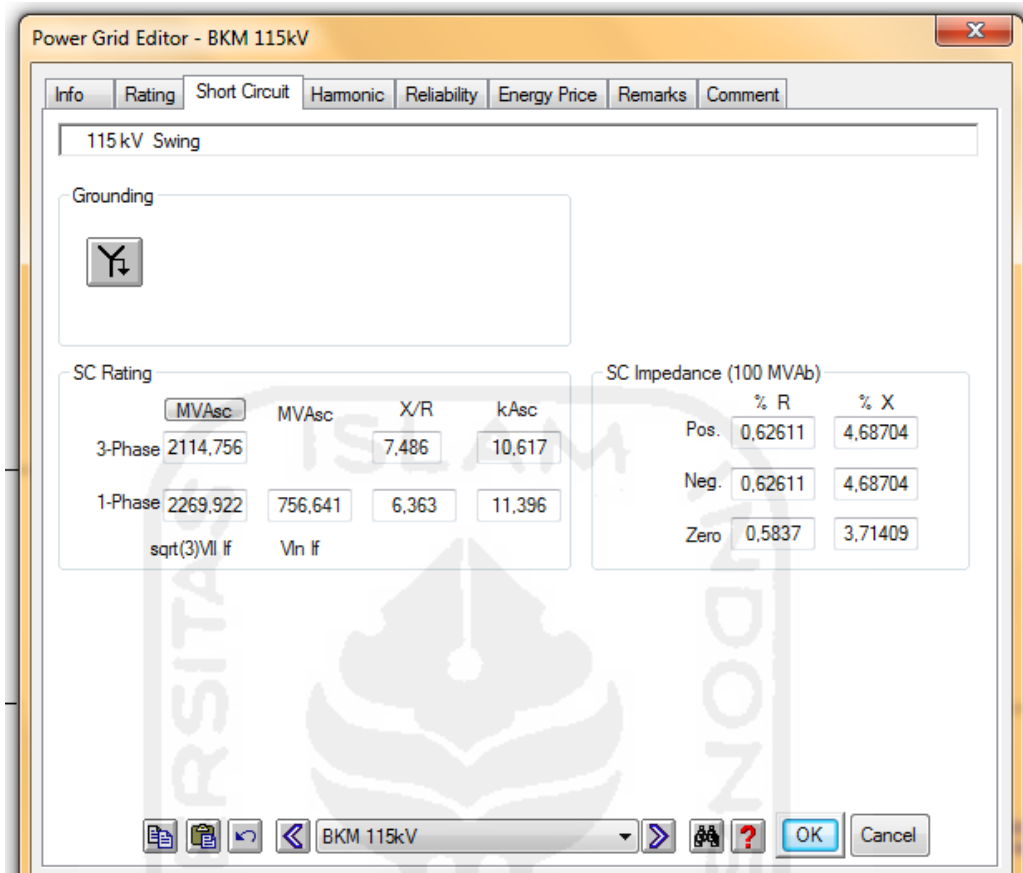
Gambar 4.2 Report short-circuit summary penyulang bekasap 6 substation

Untuk gangguan tiga fase, maka energi yang diberikan dihitung dengan cara berdasarkan rumus berikut [12] :

$$S = \sqrt{3} \times kV \times I_{sc3P} = \sqrt{3} \times 115 \times 10.617 \text{ kA} = 2114.756 \quad (3.1)$$

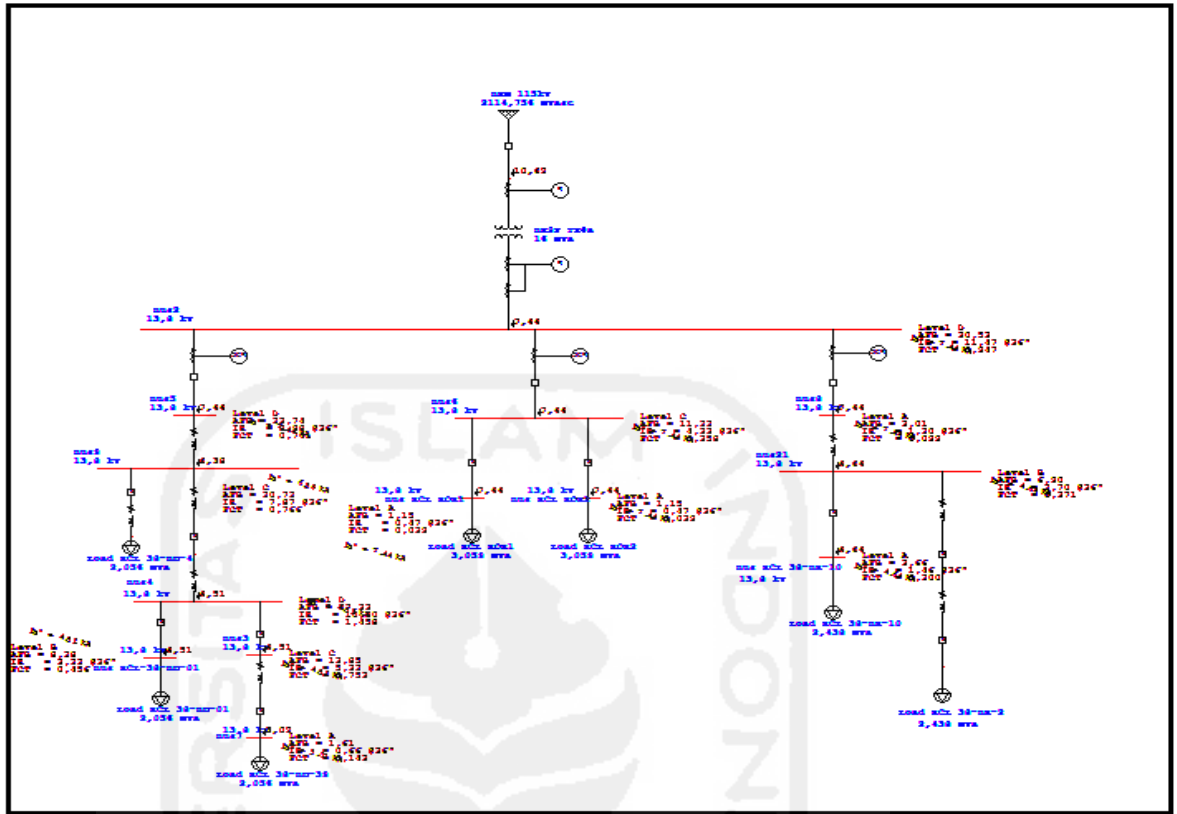
Sedangkan untuk gangguan satu fase yang merupakan gangguan line ke ground maka perhitungannya :

$$S = \sqrt{3} \times kV \times I_{sc1P} = \sqrt{3} \times 115 \times 11.396 \text{ kA} = 2269,922 \quad (3.2)$$



Gambar 4.3 Pengaturan nilai Mvasc pada *power grid editor*

Adanya pengaturan daya pada *power grid* membuat nilai *arc flash* akan muncul secara otomatis pada pemograman, nilai *arc flash* yang muncul pada bus bus 2, bus3, bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8, bus 9, bus 21, bus RCL-38-BD-01, bus RCL-EOR-1, bus RCL-EOR-2, bus RCL-38-BE-10 dengan berbagai arus gangguan dan kategori level bahaya yang berbeda pada masing-masing bus sesuai pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 One line diagram pada Penyulang Bekasap 6 dalam kondisi gangguan *arc flash*

4.2 Analisa dan Perhitungan Energi Busur Api pada Kondisi Eksisting

Berdasarkan pengaturan koordinasi kondisi eksisting, selanjutnya dilakukan analisa terhadap besarnya energi busur api. Analisa tersebut menggunakan metode standar IEEE 1584-2002 dan NFPA 70 E yang merupakan standar proteksi keamanan listrik. Tujuan dari analisa tersebut adalah untuk mengetahui nilai dari besar energi *arc flash*, durasi waktu *arc flash* dan kategorinya, serta alat pelindung diri untuk mitigasi dari bahaya *arc flash*.

Pencarian nilai durasi waktu terjadinya *arc flash* akan dibahas pada sub-bab ini berdasarkan data yang didapat dari perusahaan. Nilai yang akan dicari adalah energi *arc flash* pada tiap *bus* dan durasi waktu terjadinya *arc flash*. Data yang diperlukan dalam perhitungan ini terdiri dari id *bus*, nilai tegangan (kV), nilai ibf (kA), *work distance* (mm), nilai gap (mm) dan nilai jarak eksponen (*x factor*) dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.1 Data *bus* dan perhitungan energi busur api

No.	<i>ID Bus</i>	Tegangan (kV)	<i>Gap</i> (mm)	<i>X factor</i>	Ibf (kA)	<i>Work Distance</i> (mm)
1	<i>Bus 2</i>	13,8	153 mm	0,973	7,4	914,4
2	<i>Bus3</i>	13,8	153 mm	0,973	4,5	914,4
3	<i>Bus 4</i>	13,8	153 mm	0,973	4,5	914,4
4	<i>Bus 5</i>	13,8	153 mm	0,973	4,5	914,4
5	<i>Bus 6</i>	13,8	153 mm	0,973	7,4	914,4
6	<i>Bus 7</i>	13,8	153 mm	0,973	3	914,4
7	<i>Bus 8</i>	13,8	153 mm	0,973	7,4	914,4
8	<i>Bus 9</i>	13,8	153 mm	0,973	6,3	914,4
9	<i>Bus 21</i>	13,8	153 mm	0,973	4,6	914,4
10	<i>Bus RCL-38-BD-01</i>	13,8	153 mm	0,973	4,5	914,4
11	<i>Bus RCL-EOR-1</i>	13,8	153 mm	0,973	7,4	914,4
12	<i>Bus RCL-EOR-2</i>	13,8	153 mm	0,973	7,4	914,4
13	<i>Bus RCL-38-BE-10</i>	13,8	153 mm	0,973	4,6	914,4

4.3 Perhitungan Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc Flash dengan Level Tegangan 13,8 kV

Rumus yang digunakan:

$$t = \frac{E \cdot (0.20) \cdot 4.1667}{(4.184) C_f \cdot 10^{(K_1 + K_2 + 1.081 \cdot \log(I_a) + 0.0011 \cdot G)} \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)}$$

Keterangan :

E : Energi dalam cal/cm^2

C_f : Faktor kalkulasi, 1.0 untuk tegangan dibawah 1 kV dan 1.5 untuk diatas 1 kV

K_1 : -0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi tertutup

K_2 : 0 untuk tidak diketanahkan dan sistem HRG dan -0.133 untuk sistem diketanahkan

I_a : Magnitude arus busur api

G : Jarak antar konduktor (mm)

t : Durasi busur api

x : Jarak eksponen

D : Jarak busur api ke pekerja

1. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 2

Diketahui :

E (cal/cm ²)	C _f	K ₁	K ₂	G (mm)	I _a (kA)	X (mm)	D (mm)
5	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4

$$t = \frac{5 \cdot (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(7,4)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{4,2}{6,2} = 0,68 \text{ detik}$$

2. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 3

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
5,3	1	-0,555	0	153	4,5	0,973	914,4

$$t = \frac{5,3 \cdot (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(4,5)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{4,4}{3,7} = 1,2 \text{ detik}$$

3. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 4

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
10,3	1	-0,555	0	153	4,5	0,973	914,4

$$t = \frac{10,3 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(4,5)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{8,5}{3,7} = 4,7 \text{ detik}$$

4. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 5

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
9	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4

$$t = \frac{9 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(7,4)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{7,5}{6,2} = 1,2 \text{ detik}$$

5. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 6

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
4,3	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4

$$t = \frac{4 (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(7,4)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{3,583}{6,2} = 0,7 \text{ detik}$$

6. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 7

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
1,2	1	-0,555	0	153	3	0,973	914,4

$$t = \frac{1,2 (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(3)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{0,5}{3} = 0,2 \text{ detik}$$

7. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus 8

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
1,2	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4

$$t = \frac{1,2 (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(7,4)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{1}{6,2} = 0,2 \text{ detik}$$

8. Perhitungan Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc Flash

Bus 9

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
7,9	1	-0,555	0	153	6,3	0,973	914,4

$$t = \frac{7,9 (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(6,3)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{6,5}{6,3} = 1 \text{ detik}$$

9. Perhitungan Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc Flash

Bus 21

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
2,7	1	-0,555	0	153	4,6	0,973	914,4

$$t = \frac{2,7 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(4,6)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{2,3}{3} = 0,7 \text{ detik}$$

10. Perhitungan Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc Flash

Bus RCL-38-BD-01

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
3,2	1	-0,555	0	153	4,5	0,973	914,4

$$t = \frac{3,2 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(4,5)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{2,6}{3,7} = 0,7 \text{ detik}$$

11. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus EOR 1

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
0,5	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4

$$t = \frac{0,5 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(7,4)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{0,4}{6,2} = 0,06 \text{ detik}$$

12. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus RCL EOR2

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
0,5	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4

$$t = \frac{0,5 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(7,4)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{0,5}{6,2} = 0,08 \text{ detik}$$

13. Perhitungan Nilai Durasi Waktu Terjadinya Energi Arc

Flash Bus RCL 38-BE-10

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D
1,5	1	-0,555	0	153	4,6	0,973	914,4

$$t = \frac{1,5 \cdot (0,20) \cdot 4,1667}{(4,184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1,081 \cdot \log(4,6)+0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{1,25}{3} = 0,4 \text{ detik}$$

4.4 Perhitungan Besar Energi Arc Flash dengan Level Tegangan 13,8 kV

Rumus yang digunakan:

- $E_n = (4,184) \cdot C_f \cdot 10^{(K_1 + K_2 + 1,08 \cdot \log(I_a) + 0,0011 \cdot G)} \cdot \left(\frac{t}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$

Keterangan :

E_n : Energi dalam J/cm^2

C_f : Faktor kalkulasi, 1.0 untuk tegangan lebih dari 1 kV dan 1.5 untuk dibawah 1 kV

K_1 : -0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi tertutup

K_2 : 0 untuk tidak diketanahkan dan sistem HRG dan -0.133 untuk

sistem diketanahkan

I_a : Magnitude arus busur api

G : Jarak antar konduktor (mm)

t : Durasi busur api

x : Jarak eksponen

D : Jarak busur api ke pekerja

Perhitungan dilakukan pada tiap parameter *bus* sebagai berikut:

1. Perhitungan Besar Energi *Arc Flash Bus 2*

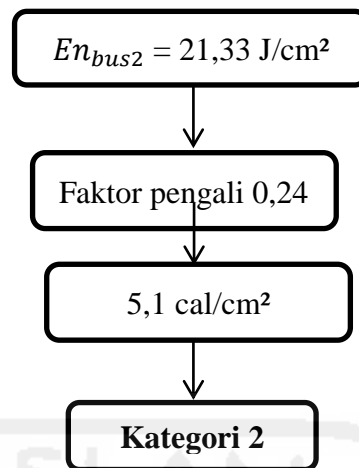
Diketahui :

E (J/cm^2)	C_f	K_1	K_2	G (mm)	I_a (kA)	X (mm)	D (mm)	t (detik)
5	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4	0,68

$$E_n = (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(7,4) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{0,68}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$= 10,46 \times 3,4 \times 0,6$$

$$= 21,33 \text{ J/cm}^2$$



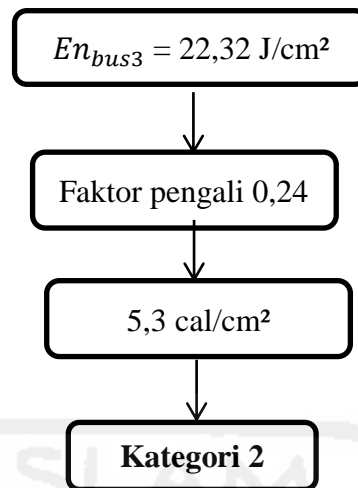
Dari hasil perhitungan pada bus 2 terdapat energi *arc flash* senilai 21,33 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 5,1 cal/cm² dengan kategori 2 yaitu energi lebih besar dari 5 cal/cm² - 8 cal/cm².

2. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 3

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
5,3	1	-0,555	0	153	4,5	0,973	914,4	1,2

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(4,5) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{1,2}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 6,2 \times 6 \times 0,6 \\
 &= 22,32 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



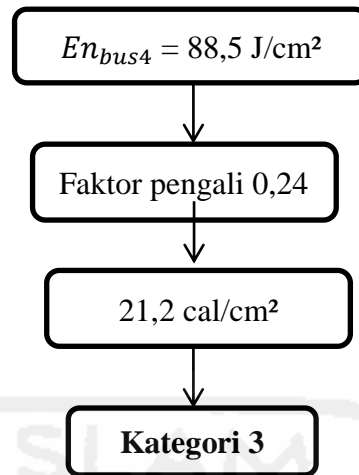
Dari hasil perhitungan pada bus 3 terdapat energi *arc flash* senilai 22,32 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 5,3 cal/cm² dengan kategori 2 yaitu energi lebih besar dari 5 cal/cm² - 8 cal/cm².

3. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 4

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
10,3	1	-0,555	0	153	4,5	0,973	914,4	4,7

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(4,5) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{4,7}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 6,2 \times 23,5 \times 0,6 \\
 &= 88,5 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



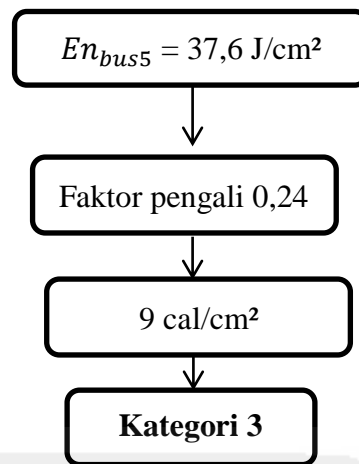
Dari hasil perhitungan pada bus 4 terdapat energi *arc flash* senilai 88,5 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 21,2 cal/cm² dengan kategori 3 yaitu energi lebih besar dari 8 cal/cm² - 25 cal/cm².

4. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 5

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
9,8	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4	1,2

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(7,4) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{1,2}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 10,46 \times 6 \times 0,6 \\
 &= 37,6 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



Dari hasil perhitungan pada bus 5 terdapat energi *arc flash* senilai 37,6 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 9 cal/cm² dengan kategori 3 yaitu energi lebih besar dari 8 cal/cm² - 25 cal/cm².

5. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 6

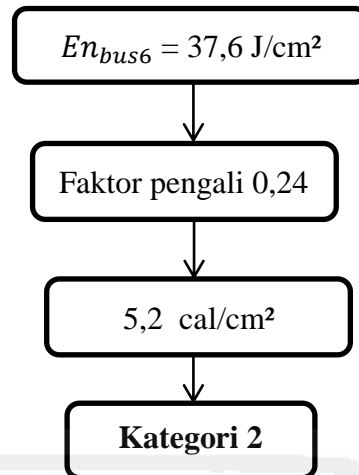
Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	Ia	X	D	t (detik)
4,3	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4	0,7

$$En = (4.184).1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(7,4) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{0,7}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$= 10,46 \times 3,5 \times 0,6$$

$$= 21,9 \text{ J/cm}^2$$



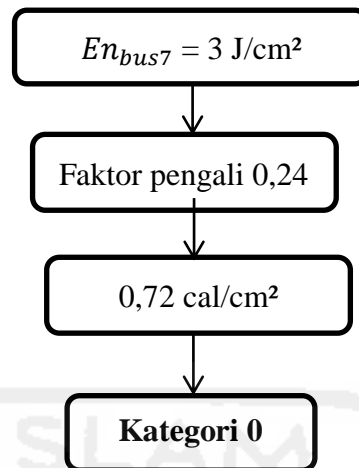
Dari hasil perhitungan pada bus 6 terdapat energi *arc flash* senilai 37,6 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 5,2 cal/cm² dengan kategori 3 yaitu energi lebih besar dari 5 cal/cm² -8 cal/cm².

6. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 7

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	Ia	X	D	t (detik)
1,2	1	-0,555	0	153	3	0,973	914,4	0,2

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(3) + 0,0011 \cdot G)} \cdot \left(\frac{0,2}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 5 \times 1 \times 0,6 \\
 &= 3 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



Dari hasil perhitungan pada bus 7 terdapat energi *arc flash* senilai 3 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 0,72 cal/cm² dengan kategori 0 yaitu energi lebih besar dari 0 cal/cm² - 1,2 cal/cm².

7. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 8

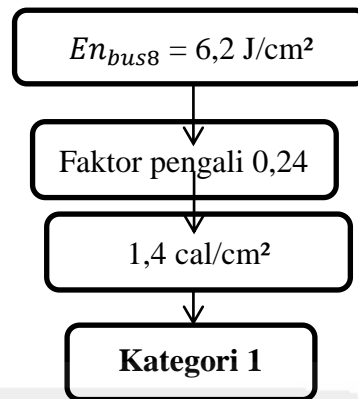
Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
1,2	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4	0,2

$$E_n = (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log_{(7,4)} + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{1,2}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$= 10,46 \times 1 \times 0,6$$

$$= 6,2 \text{ J/cm}^2$$



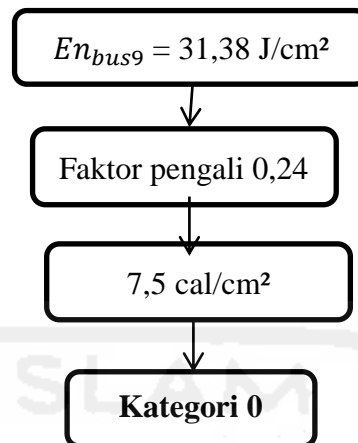
Dari hasil perhitungan pada bus 8 terdapat energi *arc flash* senilai 6,2 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 1,4 cal/cm² dengan kategori 1 yaitu energi lebih besar dari 8 cal/cm² - 25 cal/cm².

8. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 9

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
7,9	1	-0,555	0	153	6,3	0,973	914,4	1

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log_{(6,3)+0,0011 \cdot 153})} \cdot \left(\frac{1}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 10,46 \times 5 \times 0,6 \\
 &= 31,38 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



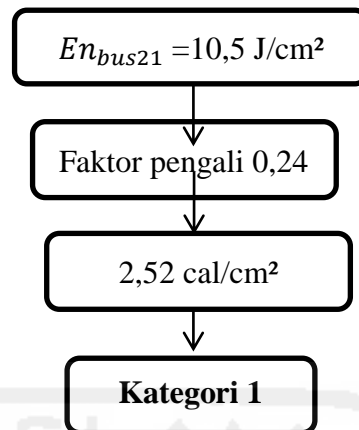
Dari hasil perhitungan pada bus 9 terdapat energi *arc flash* senilai 31,38 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 7,5 cal/cm² dengan kategori 2 yaitu energi lebih besar dari 5 cal/cm² - 8 cal/cm².

9. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus 21

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	Ia	X	D	t (detik)
2,7	1	-0,555	0	153	4,6	0,973	914,4	0,7

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(4,6) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{0,7}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 5 \times 3,5 \times 0,6 \\
 &= 10,5 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



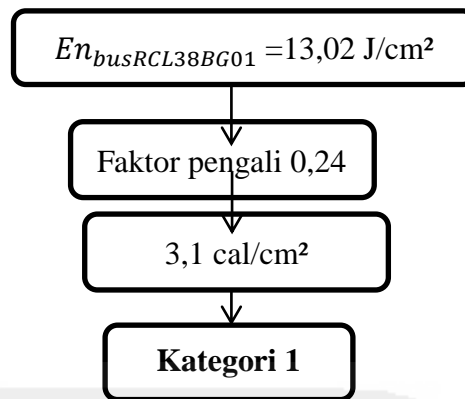
Dari hasil perhitungan pada bus 21 erdapat energi *arc flash* senilai 10,5 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 2,52 cal/cm² dengan kategori 1 yaitu energi lebih besar dari 1,2 cal/cm² - 5 cal/cm².

10. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus RCL-38-BD-01

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
3,2	1	-0,555	0	153	4,5	0,973	914,4	0,7

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log_{(4,5)} + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{0,7}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 6,2 \times 3,5 \times 0,6 \\
 &= 13,02 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



Dari hasil perhitungan pada bus RCL 38-BD-01 erdapat energi *arc flash* senilai 13,02 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 3,1 cal/cm² dengan kategori 1 yaitu energi lebih besar dari 1,2 cal/cm² - 5 cal/cm².

11. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus RCL EOR 1

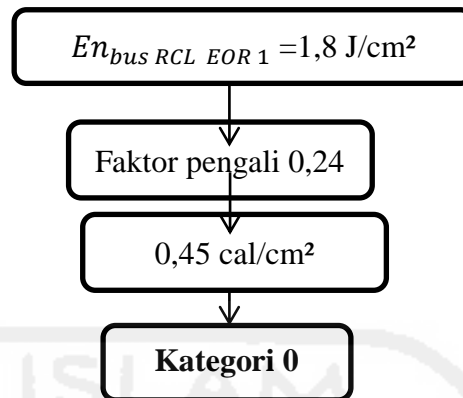
Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
0,5	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4	0,06

$$En = (4.184).1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log_{(7,4)+0,0011.153})} \cdot \left(\frac{0,06}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$= 10,46 \times 0,3 \times 0,6$$

$$= 1,8 \text{ J/cm}^2$$



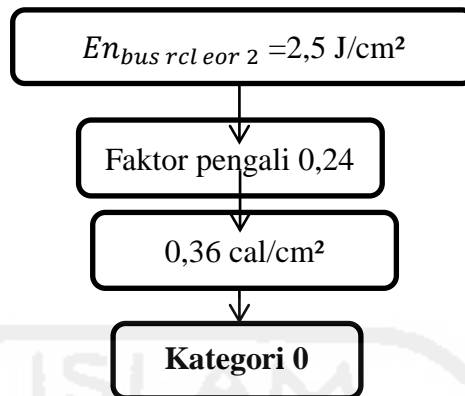
Dari hasil perhitungan pada bus RCL EOR 1 erdapat energi *arc flash* senilai 1,8 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 0,45 cal/cm² dengan kategori 0 yaitu energi lebih besar dari 0 cal/cm² - 1,2 cal/cm².

12. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus RCL EOR 2

Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
0,5	1	-0,555	0	153	7,4	0,973	914,4	0,08

$$\begin{aligned}
 E_n &= (4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log(7,4) + 0,0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{0,08}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
 &= 10,46 \times 0,4 \times 0,6 \\
 &= 2,5 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$



Dari hasil perhitungan pada bus RCL EOR 2 terdapat energi *arc flash* senilai 2,5 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 0,36 cal/cm² dengan kategori 0 yaitu energi lebih besar dari 0 cal/cm² -1,2 cal/cm².

13. Perhitungan Besar Energi Arc Flash Bus RCL 38-BE-10

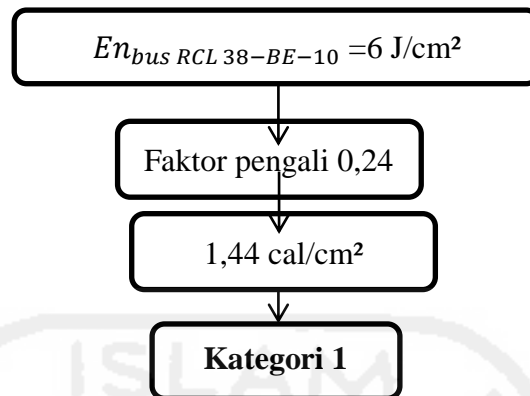
Diketahui :

E	C _f	K ₁	K ₂	G	I _a	X	D	t (detik)
1,5	1	-0,555	0	153	4,6	0,973	914,4	0,4

$$En = (4.184).1.10^{(-0,555 + 0 + 1.08 \cdot \log_{(4,6)+0,0011 \cdot 153})} \cdot \left(\frac{0,4}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$= 4,184 \times 1,2 \times 0,6$$

$$= 6 \text{ J/cm}$$



Dari hasil perhitungan pada bus RCL 38-BE-10 terdapat energi *arc flash* senilai 0,4 J/cm², kemudian di konversi dalam satuan standar yang berlaku yaitu dalam satuan cal/cm² dengan faktor pengali sehingga menghasilkan nilai 1,44 cal/cm² dengan kategori 1 yaitu energi lebih besar dari 1,2 cal/cm² - 5 cal/cm². Hasil perhitungan durasi waktu *arc flash* dan besar energi *arc flash* yang terjadi pada masing-masing parameter bus dapat dikelompokkan pada tabel 4.2.


Tabel 4.2 Hasil perhitungan durasi waktu, besar energi dan kategori *arc flash*



No.	ID Bus	Durasi waktu (detik)	Besar Energi Arc Flash cal/cm²	Kategori
1	<i>Bus 2</i>	0,68	5,1	2
2	<i>Bus3</i>	1,2	5,3	2
3	<i>Bus 4</i>	4,7	21,2	3
4	<i>Bus 5</i>	1,2	9	3
5	<i>Bus 6</i>	0,7	5,2	2
6	<i>Bus 7</i>	0,2	0,72	0
7	<i>Bus 8</i>	0,2	1,4	1
8	<i>Bus 9</i>	1	7,5	2
9	<i>Bus 21</i>	0,7	2,52	1
10	<i>Bus RCL-38-BD-01</i>	0,7	3,1	1
11	<i>Bus RCL-EOR-1</i>	0,06	0,45	0
12	<i>Bus RCL-EOR-2</i>	0,08	0,36	0
13	<i>Bus RCL-38-BE-10</i>	0,4	1,44	1

4.5 Pengelompokan *Personal Protective Equipment* (PPE)

Pengelompokan kategori energi busur api dilakukan setelah mendapatkan nilai *incident energy* pada setiap bus. Pengelompokan tersebut bertujuan untuk menentukan perlengkapan keselamatan diri yang harus dipakai oleh pekerja saat berada di area tersebut. Berikut merupakan *personal protective equipment* (PPE) sesuai standar IEEE 1584-2002.

Tabel 4.3 Karakteristik pakaian pelindung berdasarkan kelompok kategori

<i>ID BUS</i>	Kategori Bahaya	Deskripsi Pakaian Pelindung	Tingkatatan Satuan Energi cal/cm ²	Pakaian Pelindung (<i>warna baju hanya sebagai contoh</i>)
-BUS 7 -BUS RCL EOR1 -BUS RCL EOR2	0	<ul style="list-style-type: none"> - Baju katun 100% yang menyerap keringat - Baju lengan panjang - Celana panjang - Kacamata pengaman - Pelindung telinga - Sarung tangan berisolasi dan kulit - Sepatu kerja bot kulit 	N/A (1,2)	

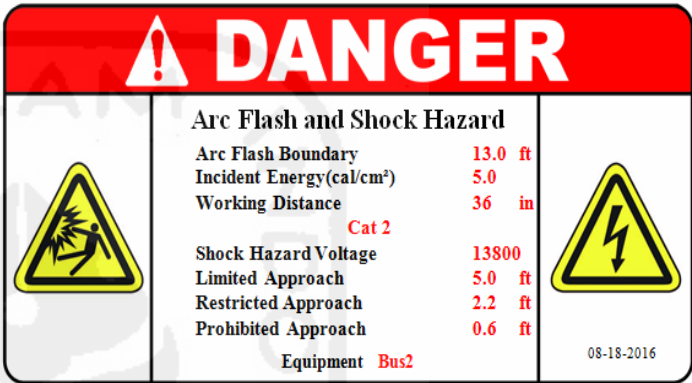
<i>ID BUS</i>	Kategori Bahaya	Deskripsi Pakaian Pelindung	Tingkat Satuan Energi cal/cm ²	Pakaian Pelindung (warna baju hanya sebagai contoh)
<p>-BUS 2 -BUS 3 -BUS 6 -BUS 9</p>	2	<ul style="list-style-type: none"> - Baju lengan panjang anti api (<i>FR Coveralls</i>) ber-rating 5 kalori - Celana panjang anti api (<i>FR Coveralls</i>) dalam skala kekuatan 5 kalori - Pelindung kepala dan kacamata pengaman - Pelindung telinga - Sarung tangan kulit dan sepatu kerja bot kulit 	5 - 8	
<p>-BUS 4 -BUS 5</p>	3	<ul style="list-style-type: none"> - Setelan yang tahan terhadap busur api dalam skala 25 kalori dengan kerudung lebih dari batas kemeja lengan panjang tahan api - Jaket kerja anti api (25 kalori) - Celana kerja anti api (25 kalori) - Topi kerja anti api (25 kalori) - Pelindung kepala dan kacamata 	8 - 25	

		<p>pengaman yang tahan terhadap busur listrik</p> <ul style="list-style-type: none">- Pelindung telinga- Sarung tangan kulit- Sepatu kerja bot kulit		
--	--	--	--	--

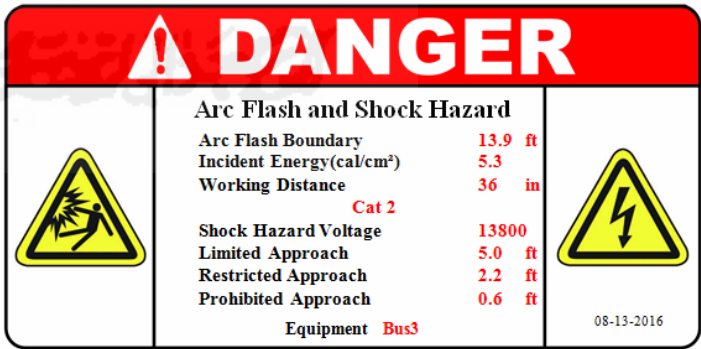


4.6 Pembuatan Label Arc Flash

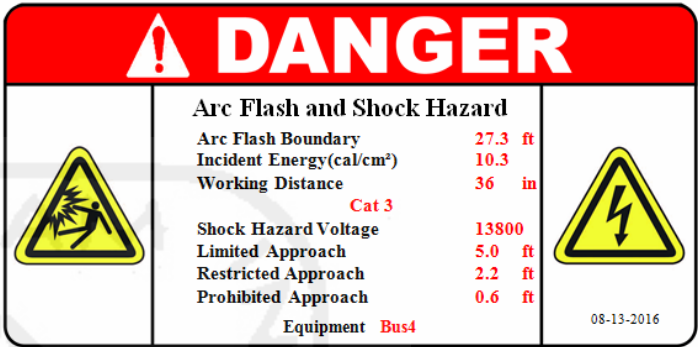
Tabel 4.4 Pembuatan label *arc flash bus 2*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 2</i>	2	3,9	

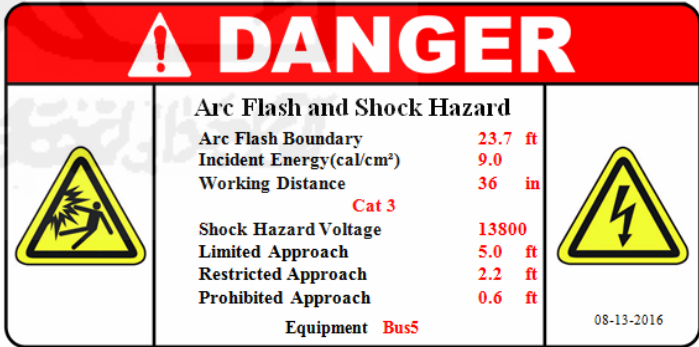
Tabel 4.5 Pembuatan label *arc flash bus 3*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 3</i>	2	4,2	

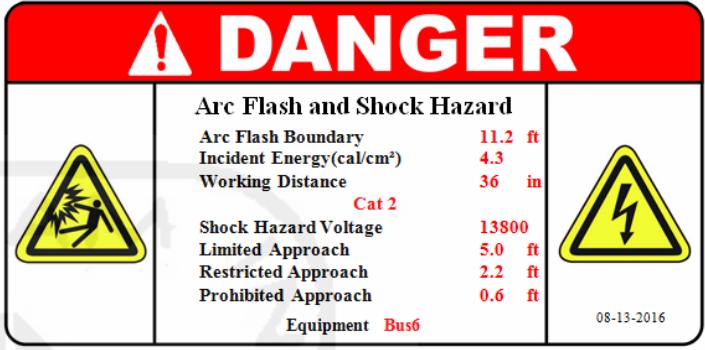
Tabel 4.6 Pembuatan label *arc flash bus 4*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 4</i>	3	8,3	

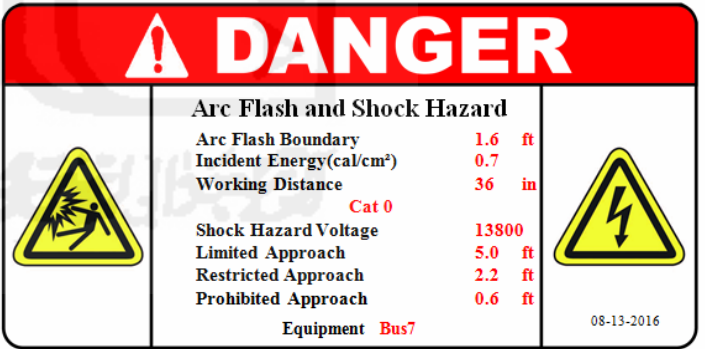
Tabel 4.7 Pembuatan label *arc flash bus 5*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 5</i>	3	7,2	

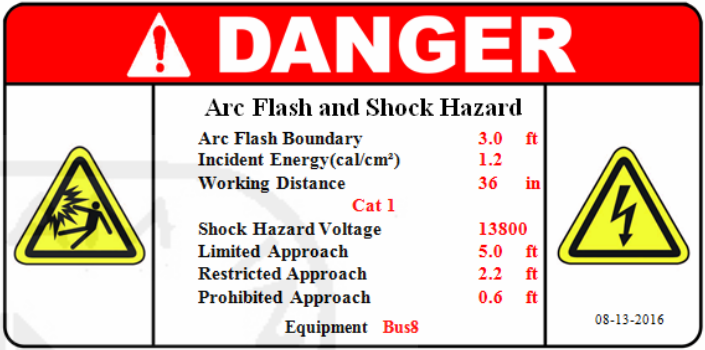
Tabel 4.8 Pembuatan label *arc flash bus 6*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (<i>m</i>)	Label
<i>Bus 6</i>	2	3,4	 <p>The label for Bus 6 is a rectangular warning sign with a red header containing a white exclamation mark and the word "DANGER" in white. Below the header, the sign is divided into three vertical sections. The left section contains a yellow triangular warning symbol with a black border depicting an arc flash. The middle section contains the following text: "Arc Flash and Shock Hazard", "Arc Flash Boundary 11.2 ft", "Incident Energy(cal/cm²) 4.3", "Working Distance 36 in", "Cat 2", "Shock Hazard Voltage 13800", "Limited Approach 5.0 ft", "Restricted Approach 2.2 ft", "Prohibited Approach 0.6 ft", and "Equipment Bus6". The right section contains a yellow triangular warning symbol with a black border depicting a lightning bolt. The date "08-13-2016" is printed in the bottom right corner of the sign.</p>

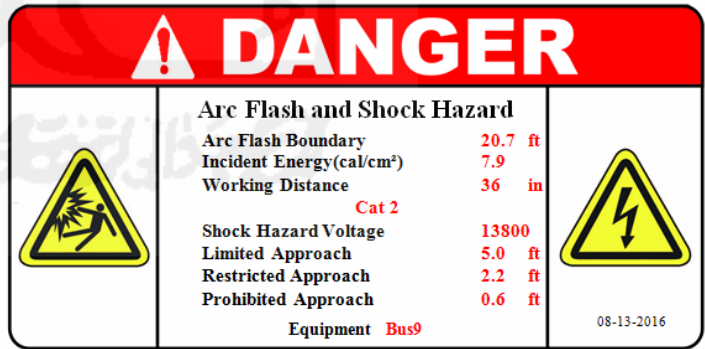
Tabel 4.9 Pembuatan label *arc flash bus 7*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (<i>m</i>)	Label
<i>Bus 7</i>	0	0,5	 <p>The label for Bus 7 is a rectangular warning sign with a red header containing a white exclamation mark and the word "DANGER" in white. Below the header, the sign is divided into three vertical sections. The left section contains a yellow triangular warning symbol with a black border depicting an arc flash. The middle section contains the following text: "Arc Flash and Shock Hazard", "Arc Flash Boundary 1.6 ft", "Incident Energy(cal/cm²) 0.7", "Working Distance 36 in", "Cat 0", "Shock Hazard Voltage 13800", "Limited Approach 5.0 ft", "Restricted Approach 2.2 ft", "Prohibited Approach 0.6 ft", and "Equipment Bus7". The right section contains a yellow triangular warning symbol with a black border depicting a lightning bolt. The date "08-13-2016" is printed in the bottom right corner of the sign.</p>

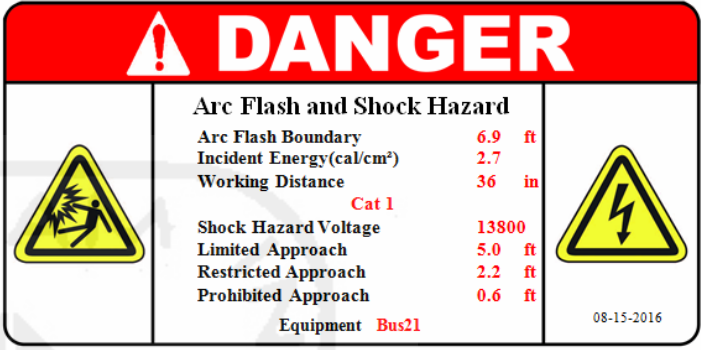
Tabel 4.10 Pembuatan label *arc flash bus 8*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 8</i>	1	0,9	

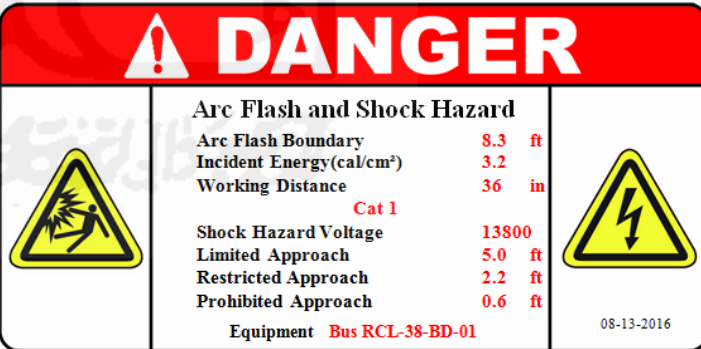
Tabel 4.11 Pembuatan label *arc flash bus 9*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 9</i>	2	6,3	

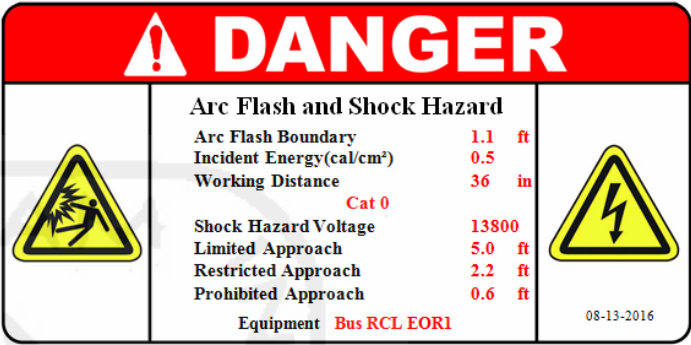
Tabel 4.12 Pembuatan label *arc flash bus 21*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus 21</i>	1	2,1	 <p>The label for Bus 21 features a red header with a white exclamation mark and the word "DANGER" in white. Below the header, the text "Arc Flash and Shock Hazard" is centered. To the left is a yellow triangular warning symbol with a black lightning bolt and a person being struck. To the right is another yellow triangular warning symbol with a black lightning bolt. The central text lists the following data: Arc Flash Boundary (6.9 ft), Incident Energy (2.7 cal/cm²), Working Distance (36 in), Cat 1, Shock Hazard Voltage (13800), Limited Approach (5.0 ft), Restricted Approach (2.2 ft), Prohibited Approach (0.6 ft), and Equipment (Bus21). The date 08-15-2016 is printed in the bottom right corner.</p>

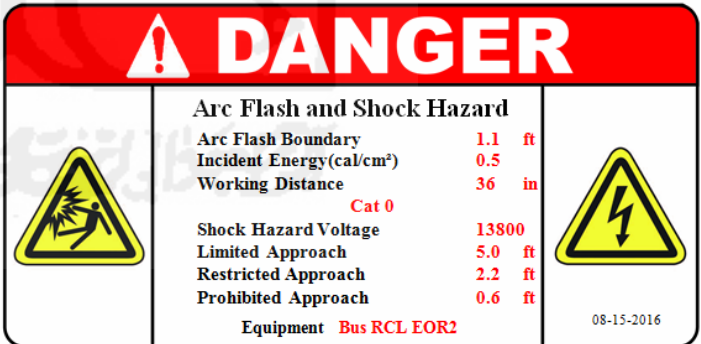
Tabel 4.13 Pembuatan label *arc flash bus RCL-38-BD-01*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (m)	Label
<i>Bus</i> RCL- 38-BD- 01	1	2,5	 <p>The label for Bus RCL-38-BD-01 features a red header with a white exclamation mark and the word "DANGER" in white. Below the header, the text "Arc Flash and Shock Hazard" is centered. To the left is a yellow triangular warning symbol with a black lightning bolt and a person being struck. To the right is another yellow triangular warning symbol with a black lightning bolt. The central text lists the following data: Arc Flash Boundary (8.3 ft), Incident Energy (3.2 cal/cm²), Working Distance (36 in), Cat 1, Shock Hazard Voltage (13800), Limited Approach (5.0 ft), Restricted Approach (2.2 ft), Prohibited Approach (0.6 ft), and Equipment (Bus RCL-38-BD-01). The date 08-13-2016 is printed in the bottom right corner.</p>

Tabel 4.14 Pembuatan label *arc flash bus RCL-EOR-1*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (<i>m</i>)	Label
<i>Bus</i> RCL- EOR 1	0	0,3	

Tabel 4.15 Pembuatan label *arc flash bus RCL-EOR 2*

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (<i>m</i>)	Label
<i>Bus</i> RCL- EOR 2	0	0,3	

Tabel 4.16 Pembuatan label *arc flash bus* RCL-38-BE-10

<i>ID Bus</i>	Kategori Bahaya	<i>Arc Flash Boundary</i> (<i>m</i>)	Label
<i>Bus</i> RCL- 38-BE- 10	1	1,1	