



BANDAR UDARA
INTERNASIONAL

Juanda
SURABAYA

INTERNATIONAL
AIRPORT

PENYEDERHANAAN ANALISA BAHAYA ARC FLASH MENGUNAKAN KURVA BATASAN ENERGI

OLEH :

YOGA FIRDAUS

2213106028

PEMBIMBING I

DR. IR. MARGO PUJANTARA MT.

PEMBIMBING II

IR. ARIF MUSTHOFA, MT.

LATAR BELAKANG

Potensi bahaya terhadap pekerja yang ditimbulkan karena adanya *arc flash* mengharuskan dilakukannya analisa untuk menentukan tingkat PPE (*Personal Protective Equipment*).

Metode yang biasa dilakukan membutuhkan banyak parameter, sedangkan dengan menggunakan kurva batas energi memungkinkan penentuan kategori PPE yang lebih singkat dan efisien.

BATASAN MASALAH

1. Memodelkan, mensimulasikan dan mengevaluasi unjuk kerja sistem berdasarkan permasalahan bahaya *arc flash*.
2. Level tegangan bus yang dianalisa hanya pada level tegangan menengah.
3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP.

TUJUAN

1. Mendapatkan kategori level insiden energi *arc flash* sehingga dapat ditentukan jenis dari perlindungan diri yang harus digunakan.
2. Dapat menentukan jarak aman pekerja untuk meminimalisir resiko luka bakar akibat energi *arc flash*.
3. Membuktikan bahwa dengan menggunakan metode kurva batasan energi, maka perhitungan bahaya *arc flash* dapat dilakukan dengan cepat.

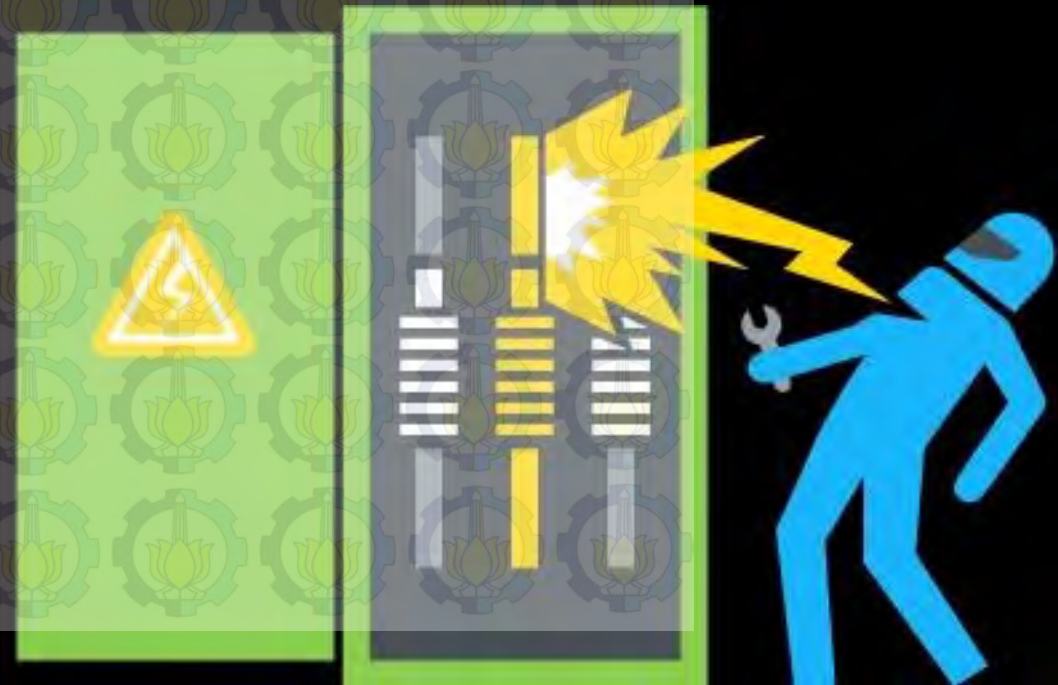
PENGERTIAN ARC FLASH

Penyebab arus gangguan:
kegagalan mekanik, kegagalan isolasi,
debu, korosi serta kesalahan pekerja
yang bekerja pada peralatan
bertegangan.

arus gangguan
(*arcing fault*)

Saat insiden energi
arc flash terjadi
maka akan muncul
pembakaran dari *arc
flash*, temperatur
yang panas
mencapai $>35.000^{\circ}$
Fahrenheit.

Arc flash



Perhitungan *Arc flash* Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002

• TEGANGAN 1-15kV

Mencari nilai arus arcing:

$$Lg_{I_a} = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

Mencari besar energi normalisasi:

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_a) + 0,0011 G} \text{ J/cm}^2$$

Mencari Insiden Energi:

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \text{ J/cm}^2$$

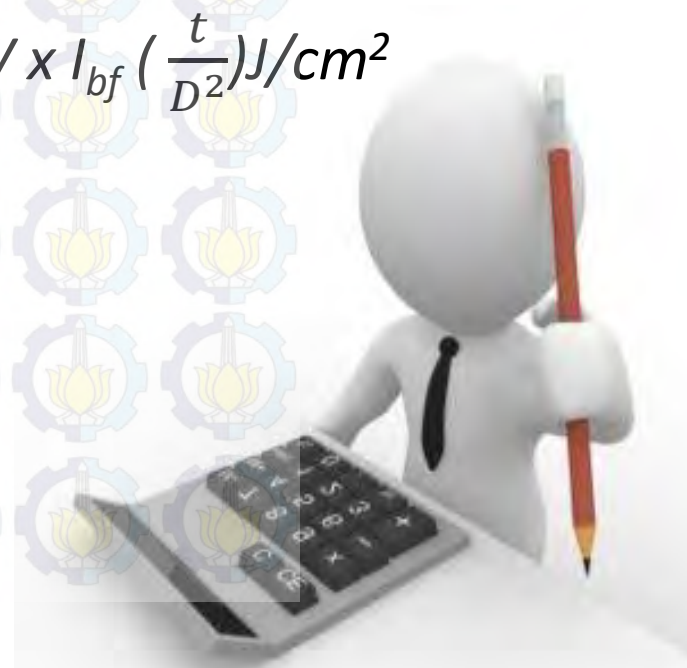
TEGANGAN >15kV

Mencari nilai arus arcing (Lee Method):

$$I_a = I_{bf}$$

Mencari Insiden Energi:

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{D^2}\right) \text{ J/cm}^2$$



Analisa Arc Flash Menggunakan Kurva Batasan Energi

- **TEGANGAN 1-15kV**

Untuk mencari nilai insiden energi sesuai IEEE 1584-2002 :

$$E = 4,184 C_f E_n \frac{t}{0,2} \frac{610^x}{D^x} \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

Diasumsikan >> $A_1 = 4,184 \frac{C_f}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$

IEEE 1584-2002 menjelaskan *incident energy* normalisasi (E_n) sebagai berikut:

$$\text{Log } E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log I_a + 0,0011 G$$

Diasumsikan >> $A_2 = k_1 + k_2 + (0,0011 \times G)$

$$A_2' = 10^{A_2}$$

Maka didapatkan persamaan untuk Kurva Batasan Energi:

$$t = \frac{E}{A^1 A_2' I_a^{1,081}}$$

- **TEGANGAN >15kV**

Pada perhitungan *arc flash* untuk level tegangan lebih dari 15kV, menggunakan persamaan Lee seperti berikut:

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \text{ J/cm}^2$$

$$t = \frac{ED^2}{2,142 \times 10^6 V I_{bf}}$$



PERHITUNGAN JARAK AMAN PERLINDUNGAN

- Metode IEEE 1584-2002 (Tegangan <15kV):

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

- Metode IEEE 1584-2002 (Tegangan >15kV) :

$$D_B = \left[2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Metode Kurva Batas Energi:

Perhitungan level insiden energi (E_{WD}) untuk sistem tegangan antara 1-15kV pada jarak kerja (D_{WD}) adalah :

$$E_{WD} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^{xWD}} \right)$$

Sedangkan perhitungan level insiden energi (E_B) pada jarak aman perlindungan (D_B) adalah:

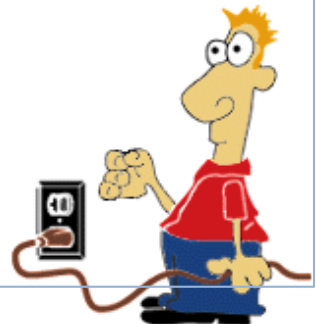
$$E_B = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^{xB}} \right)$$

Sehingga untuk mencari jarak aman tiap kategori PPE untuk tegangan 1-15kV :

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}}$$

Sedangkan untuk sistem lebih dari 15 kV sebagai berikut :

$$D_B = \frac{D_{WD}}{2 \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}}$$



Electrical Safety PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

CATEGORY 0



Pelindung
Mata
Pelindung
Telinga
Pakaian
Lengan
Panjang
Celana
Panjang
Sarung
Tangan

CATEGORY 1



Pakaian
Tahan Api
Pelindung
Mata
Pelindung
Telinga
Celana
Panjang
Sarung
Tangan

CATEGORY 2



Pelindung
Wajah dan
Kepala
Pakaian
Tahan Api
Pelindung
Mata
Pelindung
Telinga
Celana
Panjang
Sarung
Tangan

CATEGORY 3



Flash Suit
Hood
Pelindung
Wajah dan
Kepala
Pakaian
Tahan Api
Pelindung
Mata
Pelindung
Telinga
Celana
Panjang
Sarung
Tangan
Kulit

CATEGORY 4

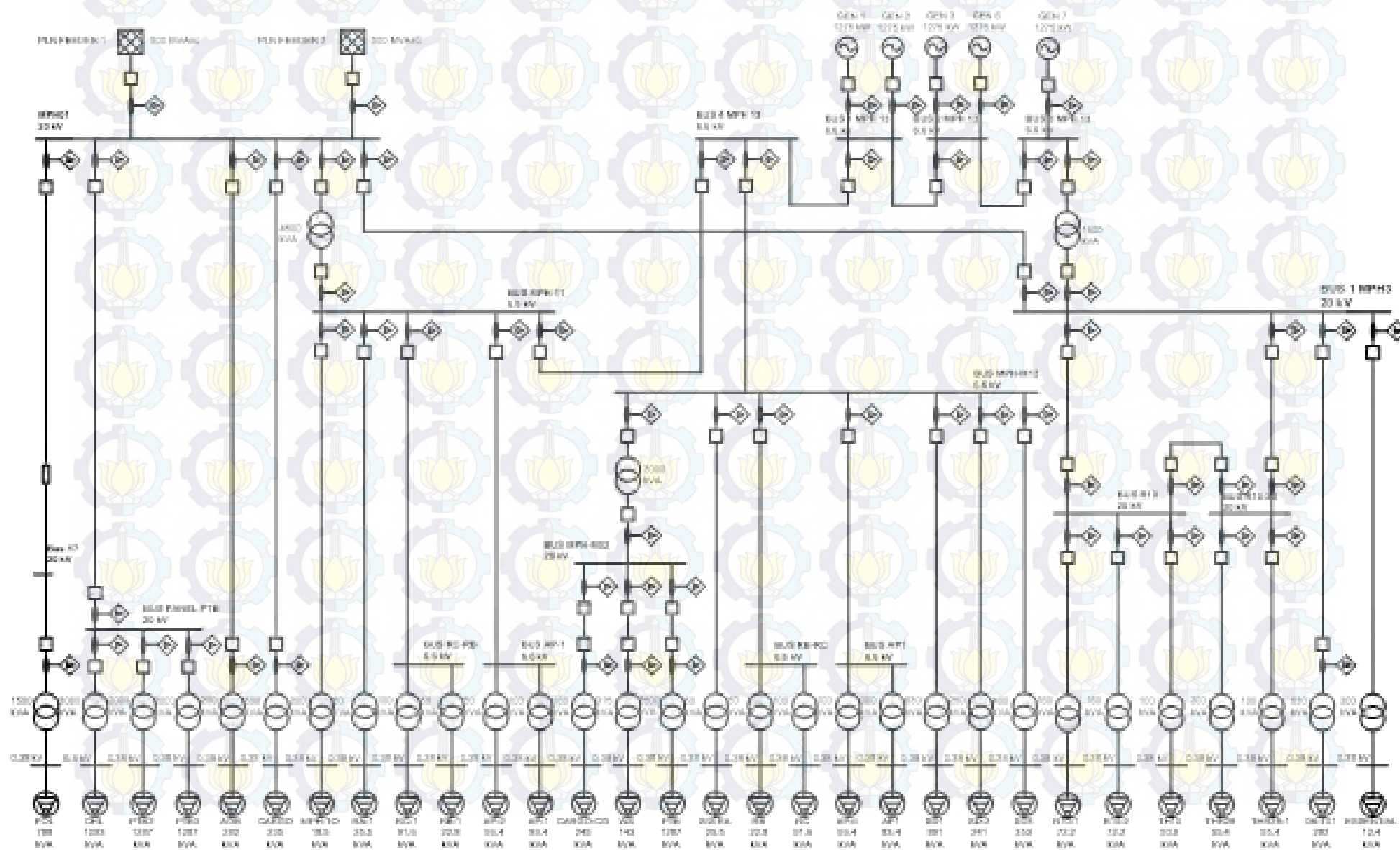


Flash Suit
Hood
Pelindung
Wajah dan
Kepala
Pakaian
Tahan Api
Pelindung
Mata
Pelindung
Telinga
Celana
Panjang
Sarung
Tangan
Kulit

Information gathered from the NFPA 70E, 2012 Edition

Note: 3/4 rubber insulating gloves with leather protectors are used. Additional leather protectors are used where a greater level of protection is required. The combination of leather insulating gloves with leather protectors satisfies the arc flash protection requirements.

SISTEM KELISTRIKAN BANDARA INTERNASIONAL JUANDA



Hasil simulasi *Arc Flash* sebelum menggunakan *relay* diferensial

ID BUS	Tegangan (kV)	Arus Arcing (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	PPE
MPH 11	6,6	13,036	0,565	12,611	3
RC-RB	6,6	13,036	0,160	3,571	1
Bus4 MPH13	6,6	13,036	0,518	11,562	3
MPH-M12	6,6	13,036	0,360	8,035	3
AP1	6,6	13,036	0,165	3,683	1
MPH M01	20	16,290	0,570	114,808	>4
Bus1 MPH3	20	16,290	0,565	113,801	>4
R10	20	16,290	0,365	73,517	>4
R10-28	20	16,290	0,365	73,517	>4

Hasil simulasi *Arc Flash* setelah menggunakan *relay* diferensial

ID BUS	Tegangan (kV)	Arus Arcing (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	PPE
MPH 11	6,6	13,036	0,565	12,611	3
RC-RB	6,6	13,036	0,160	3,571	1
Bus4 MPH13	6,6	13,036	0,518	11,562	2
MPH-M12	6,6	13,036	0,360	8,035	2
AP1	6,6	13,036	0,165	3,683	1
MPH M01	20	16,290	0,127	25,579	4
Bus1 MPH3	20	16,290	0,127	25,579	4
R10	20	16,290	0,127	25,579	4
R10-28	20	16,290	0,127	25,579	4

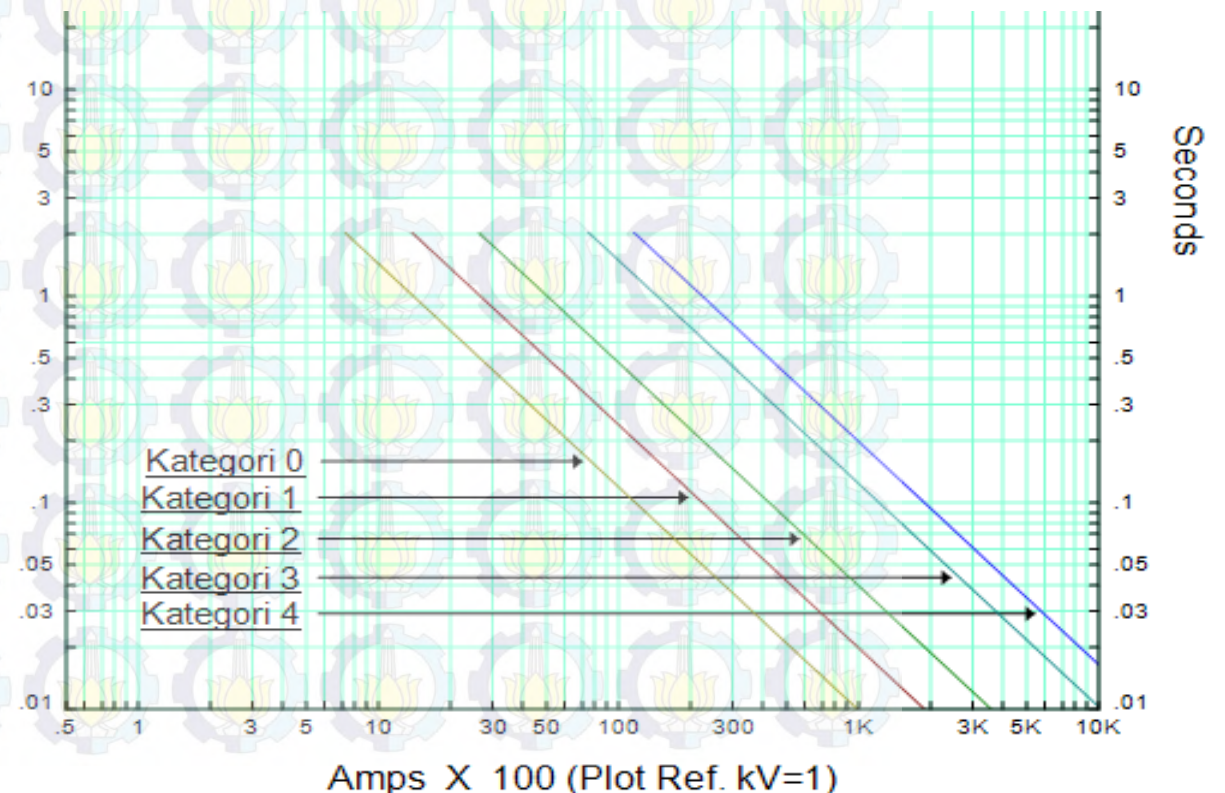
ANALISA MENGGUNAKAN KURVA BATASAN ENERGI

- Pada bus MPH 11, tegangan bus adalah sebesar 6,6 kV. Sehingga, persamaan yang digunakan adalah persamaan tegangan 1-15kV.

$$A_1 = 4,184 \frac{cf}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad A_2 = k1 + k2 + (0,0011 \times G) \quad A_2' = 10^{A_2}$$

$$t = \frac{E}{A_1 A_2 I a^{1,081}}$$

Kategori PPE	E (Insiden Energi Maksimum) J/cm ²	Persamaan Kurva Batasan Energi
0	8,36	1.43672 x Ia ^{1.081}
1	16,74	2.87688 x Ia ^{1.081}
2	33,47	5.75206 x Ia ^{1.081}
3	104,60	17.97626 x Ia ^{1.081}
4	167,36	28.76202 x Ia ^{1.081}



PERHITUNGAN JARAK BATAS AMAN

- Untuk PPE kategori 0, $E_{wd} = 8,36 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{8,36}}} = 1543,378 \text{ mm} = 1,543 \text{ meter}$$

- Untuk PPE kategori 1, $E_{wd} = 16,74 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{16,74}}} = 3150,571 \text{ mm} = 3,151 \text{ meter}$$

- Untuk PPE kategori 2, $E_{wd} = 33,47 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{33,47}}} = 6421,541 \text{ mm} = 6,421 \text{ meter}$$

- Untuk PPE kategori 3, $E_{wd} = 104,6 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{104,6}}} = 20713,221 \text{ mm} = 20,713 \text{ meter}$$

- Untuk PPE kategori 4, $E_{wd} = 167,36 \text{ J/cm}^2$:

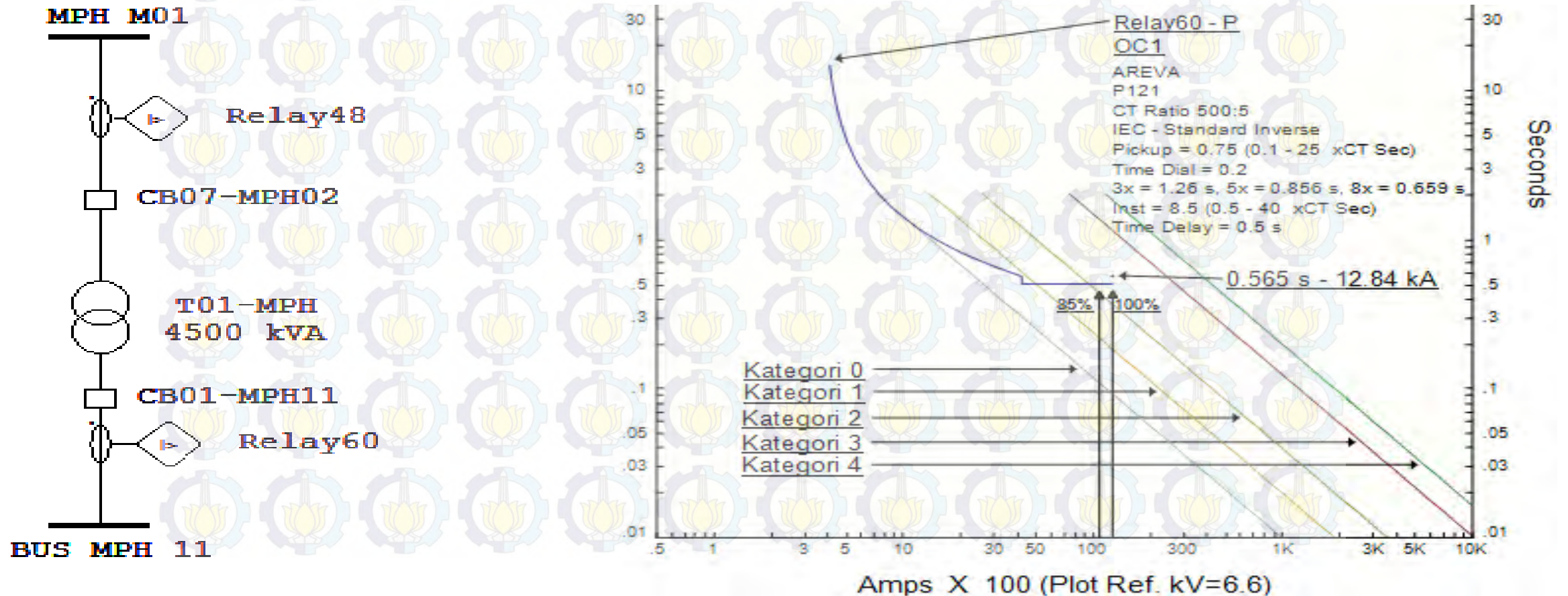
$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{167,36}}} = 33576,219 \text{ mm} = 33,576 \text{ meter}$$

Kategori PPE	E (Insiden Energi Maksimu) J/cm ²	Jarak Batas Aman (m)
0	8,36	1,543
1	16,74	3,151
2	33,47	6,421
3	104,60	20,713
4	167,36	33,576



ANALISA BUS MPH 11

Penentuan kategori PPE pada bus MPH 11 menggunakan *relay* 60 yang digunakan sebagai referensi kurva batasan energi. *Relay* 60 berfungsi untuk mengatasi atau mengamankan gangguan yang terjadi pada bus MPH 11.



ANALISA BUS MPH 11 MENGGUNAKAN STANDART IEEE 1584-2002

- **Perhitungan arus arcng (I_A) :**

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(13,50)$$

$$\log(I_A) = 1,115 ; I_A = 13,036 \text{ kA}$$

- **Perhitungan Insiden Energi (E) :**

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(Ia)+ 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,115+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 6,588 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 6,588 \left(\frac{0,565}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 52,766 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 52,766 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 12,611 \text{ cal/cm}^2$$

- **Perhitungan jarak batas perlindungan (D) :**

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 6,588 \left(\frac{0,565}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 10252,329 \text{ mm}$$

$$D_B = 10,252 \text{ meter}$$

→ **PPE Kategori 3**



PERSYARATAN PERLINDUNGAN PADA BUS MPH 11

- Pakaian tahan api
- Celana panjang tahan api
- Jaket dan celana untuk *arc flash*
- Helm pengaman
- Kacamata *safety*
- Pelindung telinga
- Sarung tangan kulit
- Sepatu *safety* khusus



PERBANDINGAN IEEE 1584-2002 SEBELUM PENAMBAHAN RELAY DIFERENSIAL DENGAN KURVA BATASAN ENERGI

ID BUS	IEEE 1584-2002 sebelum penambahan relay diferensial	Kurva Batasan Energi
BUS MPH 11	Kategori 3	Kategori 3
BUS RC-RB	Kategori 1	Kategori 1
BUS4 MPH13	Kategori 3	Kategori 3
BUS MPH-M12	Kategori 3	Kategori 3
BUS AP1	Kategori 1	Kategori 1
BUS MPH M01	Kategori >4	Kategori >4
BUS 1 MPH3	Kategori >4	Kategori >4
BUS R10	Kategori >4	Kategori >4
BUS R10-28	Kategori >4	Kategori >4

Perbandingan IEEE 1584-2002 Setelah Penambahan Relay Diferensial Dengan Kurva Batasan Energi

ID BUS	IEEE 1584-2002 setelah penambahan relay diferensial	Kurva Batasan Energi
BUS MPH 11	Kategori 3	Kategori 3
BUS RC-RB	Kategori 1	Kategori 1
BUS4 MPH13	Kategori 3	Kategori 3
BUS MPH-M12	Kategori 3	Kategori 3
BUS AP1	Kategori 1	Kategori 1
BUS MPH M01	Kategori 4	Kategori 4
BUS 1 MPH3	Kategori 4	Kategori 4
BUS R10	Kategori 4	Kategori 4
BUS R10-28	Kategori 4	Kategori 4

KESIMPULAN

- Metode kurva batasan energi dapat mempersingkat waktu perhitungan *arc flash* untuk industri besar yang memiliki banyak bus.
- Dalam penentuan PPE menggunakan metode kurva batasan energi, cukup melihat kurva dari *relay/fuse* kemudian di plotkan kedalam kurva batas energi sehingga didapat kategori PPE yang diperlukan.
- Metode kurva batasan energi menunjukkan kategori PPE yang sama dengan metode pembandingnya, baik pada saat dibandingkan dengan metode IEEE 1584-2002 sebelum penambahan *relay* diferensial maupun dengan metode IEEE 1584-2002 setelah penambahan *relay* diferensial.



>>>>>SEKIAN<<<<<

TERIMA KASIH

Productions by @HumorSingkat

