

Analisa Arc Flash Pada Sistem Kelistrikan Di PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik – Jawa Timur

Aditya Aji Nugroho, Margo Pujiantara¹⁾, dan Arif Musthofa²⁾.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: margo@ee.its.ac.id¹⁾, arif@ee.its.ac.id²⁾

Abstrak—Studi untuk mengetahui besar busur api yang dihasilkan pada masing-masing switchgear perlu dilakukan untuk mengklasifikasikan kategori energi busur api yang terjadi serta kaitannya dengan PPE (*Personal Protective Equipment*) yang harus dikenakan pekerja sebagai langkah pencegahan agar terhindar dari jatuhnya korban jiwa. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan insiden energi *arc flash* sesuai standar IEEE 1584-2002 serta pengklasifikasian kategori dan alat perlindungan diri yang tepat agar memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja sehingga dapat bekerja secara optimal. Studi ini akan coba diterapkan pada sistem kelistrikan di PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik – Jawa Timur mengingat pentingnya perusahaan tersebut mengamankan peralatan serta pekerjanya dari insiden energi *arc flash*. Hasil yang didapat pada tugas akhir ini adalah pada tipikal 1 nilai insiden energinya mengalami peningkatan yaitu dari 1.988 cal/cm² menjadi 8.66 cal/cm², pada tipikal 2 nilai insiden energi tertinggi 19.596 cal/cm² turun menjadi 6.00 cal/cm², pada tipikal 3 nilai insiden energi nya mengalami peningkatan yaitu dari 19.596 cal/cm² menjadi 36.52 cal/cm² kenaikan ini disebabkan karena terjadi kesalahan koordinasi rele.

Kata Kunci—*Arc Flash, Insiden Energi, PPE (Personal Protective Equipment), standar IEEE 1584-2002.*

I. PENDAHULUAN

BANYAK perusahaan yang sukses bergerak dibidang Agrobisnis. Salah satunya PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik – Jawa Timur. Perusahaan Wilmar merupakan perusahaan yang memproduksi minyak sawit untuk kebutuhan pembuatan minyak goreng, *creamer*, bahan kosmetik juga produk biodiesel. Bahan-bahan kimia yang diperlukan dalam proses pembuatan produksinya merupakan bahan yang mudah terbakar. Hal ini dikarenakan resiko apabila terjadi gangguan teknis maupun non teknis yang dapat memicu percikan api maka akan berakibat fatal. Hingga kemungkinan paling buruk ialah terbakarnya pabrik dan mengancam keselamatan jiwa para pekerja disekitarnya. Salah satu gangguan yang dapat menyebabkan ancaman terhadap keselamatan jiwa para pekerja ialah akibat busur api. Busur api merupakan fenomena percikan api yang timbul akibat adanya arus gangguan hubung singkat. Hal yang dapat memicu gangguan hubung singkat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah akibat kegagalan isolasi pada konduktor atau rel busbar pada switchgear[1]. Selain berdampak pada pekerja, *Arc Flash* sendiri juga dapat berdampak pada rusaknya peralatan sistem tenaga listrik. Besar energi busur api yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengamanan akibat gangguan arus

hubung singkat [2]. Berdasarkan koordinasi rele proteksi yang tepat maka semakin cepat rele pengamanan bekerja semakin kecil pula busur api yang dihasilkan dan berlaku sebaliknya. Studi untuk mengetahui besar busur api yang dihasilkan pada masing-masing switchgear perlu dilakukan untuk mengklasifikasikan kategori energi busur api yang terjadi serta kaitannya dengan PPE (*Personal Protective Equipment*) yang harus dikenakan pekerja sebagai langkah pencegahan agar terhindar dari jatuhnya korban jiwa[3]. PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik – Jawa Timur perlu melakukan perhitungan insiden energi *arc flash* karena pada studi-studi sebelumnya belum ada yang menganalisa tentang materi tersebut dan juga masih belum diklasifikasikan besar energi *arc flash* sesuai dengan kategorinya. Oleh karena itu, koordinasi proteksi perlu dilakukan analisa dengan memperhitungkan energi *arc flash* yang terjadi jika terjadi gangguan.

Pada jurnal-jurnal internasional banyak yang membahas tentang bahaya arc flash yaitu jurnal yang berjudul “*Impact of Arc Flash on Medium Voltage Switchgear*” dan “*Impact of Available Fault Current Variation on Arc-Flash Calculation*” sebagai acuan penulis dalam menyusun proposal ini. Paper tersebut berisi tentang analisa dampak bahaya arc flash yang timbul di rel busbar switchgear tegangan menengah. Dampak bahaya arc flash bagi manusia sangatlah berbahaya yang dapat menyebabkan kematian pada manusia tersebut. Arc flash tersebut timbul karena adanya gangguan hubung singkat[4]. Di beberapa kasus juga tidak dicantumkan tanda *arc flash* pada setiap peralatan dan hal tersebut sangat penting untuk memberikan tanda pada manusia untuk berhati-hati pada peralatan yang mempunyai tanda *arc flash* yang disesuaikan terhadap energi *arc flash* yang timbul. Serta untuk menentukan kelengkapan pengamanan dari manusia tersebut dapat melihat pada NFPA 70E[5].

II. URAIAN PENELITIAN

A. Fenomena Busur Api Listrik (*Arc-flash*)

Awal mula *arc-flash* muncul diakibatkan dari adanya arcing-fault. *Arcing-fault* sendiri dapat didefinisikan sebagai busur api yang diakibatkan oleh arus gangguan atau dengan kata lain terjadi kontak langsung dengan konduktor (*arcing-current*). Arus tersebut menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang berbahaya. Busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik yang besar melalui udara yang terionisasi. *Arc-flash* diakibatkan dari arcing-fault diantara fase bus-bar atau dengan netral (*ground*). Selama *arc-fault* terjadi, udara merupakan konduktor dan biasanya muncul pada tegangan lebih dari 120 volt. Besar *arcing-fault current* biasanya lebih

rendah dari arus *bolted-faultcurrent* dan dibawah *ratingcircuit breaker*.

Plasma energi yang dihasilkan dapat menimbulkan beberapa efek fisik antara lain berupa ledakan bola api yang terhempas ke luar, panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang parah, cahaya yang menyilaukan, gelombang bertekanan yang dihasilkan seolah-olah seperti martil menghantam bagian dada dari tubuh hingga dapat menghempaskan orang disekitarnya, suara ledakan yang dapat mengganggu pendengaran dan tetesan logam cair akibat konduktor yang meleleh berterbangan ke segala arah seperti pecahan peluru. *Bolted-fault current* dapat disebabkan beberapa faktor diantaranya kegagalan mekanik, kegagalan isolasi, debu dan korosi atau kesalahan pekerja yang bekerja pada peralatan bertegangan.

Jumlah energi yang dihasilkan *arc flash* tergantung dari level tegangan tempat arus gangguan terjadi, jarak pekerja dengan sumber arcing dan waktu yang dibutuhkan peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan dan mengisolir gangguan.

B. Perhitungan Energi Arc-Flash Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 [6]

Berdasarkan standar IEEE 1584-2002, menentukan nilai *arcing current* saat gangguan tiga fasa diperlukan untuk menentukan waktu operasi CB agar peralatan sistem dapat terlindungi. Persamaan untuk menentukan *arcing current* untuk sistem 1kV atau lebih adalah :

$$lg I_a = 0.00402 + 0.983 I_g I_{bf} \tag{1}$$

dimana,

$I_g = \log_{10}$

$I_a =$ arus busur api / *arcing current* (kA)

$I_{bf} =$ *bolted three-phase fault at the bus symmetrical rms* (kA)

Dari persamaan (1) dapat ditulis kembali dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} lg I_a - 0.983 I_g I_{bf} &= 0,00402 \\ lg I_a - lg I_{bf}^{0,983} &= 0,00402 \\ lg (I_a / I_{bf}^{0,983}) &= 0,00402 \\ I_a / I_{bf}^{0,983} &= 10^{0,00402} \\ I_a / I_{bf}^{0,983} &= 1,00929 \\ I_a &= 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \end{aligned} \tag{2}$$

Sementara itu untuk menghitung besar *incident energy* berdasarkan standar IEEE 1584-2002 digunakan persamaan berikut :

$$E_n = I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011G)} \tag{3}$$

dimana:

$E_n =$ *incident energy* (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak

$K1 = -0.792$ untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan -0.555 untuk konfigurasi *box* (*enclosed equipment*)

$K2 = 0$ untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded* dan -0.113 untuk sistem *grounded*

$G =$ jarak antar konduktor(mm)

Berdasarkan persamaan (3) setelah di normalisasi menjadi energi yang dilepaskan ke udara adalah sebagai berikut dalam satuan cal/cm².

$$E = Cf E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \tag{4}$$

dimana,

$E =$ *incident energy* (cal/cm²)

$Cf =$ *calculation factor*,

1.0 untuk tegangan diatas 1kV

1.5 untuk tegangan dibawah 1kV

$E_n =$ *incident energy* (J/cm²) *normalized by constant*(4,184)

$t =$ *arcing time* (detik)

$D =$ jarak antara titik *Arc Flash* dengan pekerja/ *person*

$x =$ *distance x factor*

Standar untuk *distance x factor* dapat dilihat dalam tabel 1 seperti berikut :

Tabel 1.
Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [1]

System Voltage (kV)	Equipment Type	Typical gap between conductors (mm)	Distance x faktor
0,208 - 1	Open air	10 until 40	2,000
	Switchgear	32	1,473
	MCC and panels	25	1,641
>1 - 5	Cable	13	2,000
	Open air	102	2,000
	Switchgear	13 until 102	0,973
>5 - 15	Cable	13	2,000
	Open air	13 until 153	2,000
	Switchgear	153	0,973
	Cable	13	2,000

C. Kategori Energi Busur Api dan Perlengkapan Keselamatan Pekerja

Setelah dilakukan perhitungan energi busur api yang dihasilkan pada tiap-tiap bus *switchgear*. Langkah selanjutnya adalah mengkategorikan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan bagi para pekerja atau juga disebut dengan PPE (*Personal Protective Equipment*). *Personal protective equipment* merupakan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan oleh *personal* yang akan masuk ke area rawan *Arc Flash*. Perlengkapan ini telah diatur berdasarkan standar NFPA 70E-2009 [5].

Tabel 2.
Kategori *Personal Protective Equipment* [3]

Category	Cal/cm ²	Clothing
0	1,2	<i>Untreated Cotton</i>
1	4	<i>Flame retardant (FR) shirt and FR pants</i>
2	8	<i>Cotton underwear FR shirt and FR pants</i>
3	25	<i>Cotton underwear FR shirt, FR pants and FR coveralls</i>
4	40	<i>Cotton underwear FR shirt, FR pants and double layer switching coat and pants</i>



Gambar 1. Klasifikasi Alat Perlindungan Diri Berdasarkan Kategori

D. Flash Protection Boundary

Merupakan batas jarak dari bagian konduktor aktif dimana orang pada jarak tersebut dapat terpapar luka bakar tingkat dua jika ledakan busur api listrik terjadi. Jarak tersebut dapat diketahui apabila besar energi busur api listrik tersebut telah dihitung. Metode perhitungan jarak tersebut dapat dijelaskan pada persamaan standar IEEE 1584-2002 berikut ini :

$$D_B = \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (5)$$

Dimana,

D_B = batas jarak dari titik *arcing* (mm) t = waktu *arcing* (dtk)

C_f = faktor pengali x = eksponen jarak

1,0 untuk tegangan di atas 1 kV

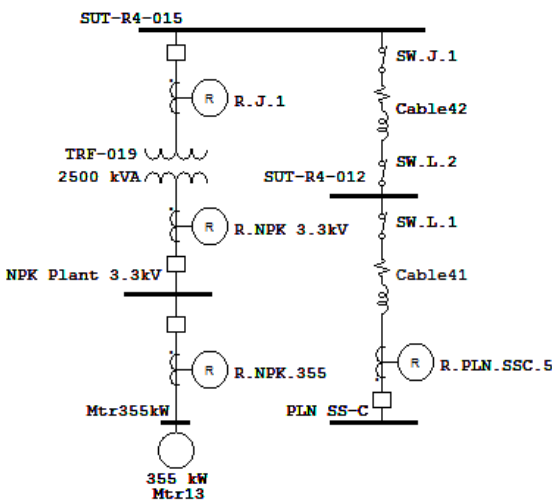
1,5 untuk tegangan di bawah 1 kV

E_n = insiden energi *normalized*

E_B = insiden energi dalam J/cm^2 (diset $5 J/cm^2$ pada tingkat luka bakar)

III. SISTEM KELISTRIKAN PT. WILMAR

PT. Wilmar merupakan grup bisnis global yang bergerak di bidang industri minyak nabati, *oleochemical* dan *bioenergy*. Fasilitas industri PT. Wilmar terletak di kota Gresik, Jawa Timur, Indonesia. Untuk sistem kelistrikannya, PT. Wilmar memiliki total suplai energi listrik sebesar 35.5 MW dan emergency supply sebesar 4 MW. Total beban maksimum yang terpasang besarnya sekitar 33 MW, dengan *demand factor* sebesar 60%, maka total daya yang dikonsumsi beban sekitar 18 MW.



Gambar 2. Single Line Diagram Tipikal 1 PT. Wilmar

IV. HASIL ANALISA DAN SIMULASI

A. Analisa Arc Flash Pada Tipikal 1

Dengan dilakukannya simulasi maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009. Tabel 3 ini menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 1.

Tabel 3. Hasil Simulasi *Incident Energy Arc Flash* Pada Sistem Eksisting Tipikal 1.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
NPK Plant 3.3 kV	6.79	1.215	1	1.168
SUT-R4-015	12.72	1.998	1	1.494
SUT-R-012	12.9	2.018	1	1.506
PLN SS-C	13.56	2.129	1	1.547

Data yang hampir sama juga ditunjukkan pada sistem *resetting*, dimana hasil simulasi *incident energy arc flash* didapatkan setelah dilakukan koordinasi pengaman yang tepat. Tabel 4 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 1.

Tabel 4. Hasil Simulasi *Incident Energy Arc Flash* Pada Sistem Resetting Tipikal 1.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
NPK Plant 3.3 kV	6.79	2.98	1	2.32
SUT-R4-015	12.72	8.66	3	6.97
SUT-R-012	12.9	7.33	2	5.87
PLN SS-C	13.56	7.48	2	6.00

Setelah melakukan simulasi maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Pada sub bab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *resetting* setelah dilakukan koordinasi pengamannya pada masing-masing tipikal ID Bus.

❖ Bus NPK Plant 3.3 kV

I_{bf} = 6.95 kA

FCI = 0.4 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (6,95)^{0,983} \quad = (6,95)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + (-0,113) + 0,0011 \cdot 102)}$$

$$= 6.79 \text{ kA} \quad = 2,21 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610}{D} \right)^x$$

$$= 1 \cdot 2,21 \cdot \left(\frac{0,08}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610}{910} \right)^{0,973}$$

$$= 2,995 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar *flash protection boundary*

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 2,995 \cdot \left(\frac{0,4}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 2339,57 \text{ mm}$$

$$= 2,34 \text{ m}$$

❖ **Bus SUT-R4-015**

I_{bf} = 13.17 kA
 FCT = 0,4 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar incident energy arc flash

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (13,17)^{0,983} \quad = (12,72)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 12,72 \text{ kA} \quad = 6,42 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \cdot 6,42 \cdot \left(\frac{0,4}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 8,695 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar flashprotection boundary

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 6,42 \cdot \left(\frac{0,4}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 6267,88 \text{ mm}$$

$$= 6,27 \text{ m}$$

❖ **Bus SUT-R4-012**

I_{bf} = 13,36 kA
 FCT = 0,33 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar incidentenergy arc flash

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (13,36)^{0,983} \quad = (12,9)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 12,9 \text{ kA} \quad = 6,53 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \cdot 6,53 \cdot \left(\frac{0,57}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 7,3 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar flashprotection boundary

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 6,53 \cdot \left(\frac{0,33}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 5845,88 \text{ mm}$$

$$= 5,846 \text{ m}$$

❖ **Bus PLN SS-C**

I_{bf} = 14.05 kA
 FCT = 0.323 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar incidentenergy arc flash

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (14,05)^{0,983} \quad = (13,56)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 13,56 \text{ kA} \quad = 6,89 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \cdot 6,89 \cdot \left(\frac{0,323}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 7,543 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar flashprotection boundary

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 6,89 \cdot \left(\frac{0,323}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 6042,72 \text{ mm}$$

$$= 6,04 \text{ m}$$

B. Analisa Arc Flash Pada Tipikal 2

Dengan dilakukannya simulasi maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009. Tabel 5 ini menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 2.

Tabel 5.
 Hasil Simulasi *Incident Energy Arc Flash* Pada Sistem Eksisting Tipikal 2.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
SUT-R3-011	13.03	2.040	1	1.514
Feeding 04	13.62	13.360	3	1.525
Bus 3	13.96	19.596	3	4.692

Data yang hampir sama juga ditunjukkan pada sistem *resetting*, dimana hasil simulasi *incident energy arc flash* didapatkan setelah dilakukan koordinasi pengaman yang tepat. Tabel 6 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 2.

Tabel 6.
 Hasil Simulasi *Incident Energy Arc Flash* Pada Sistem Resetting Tipikal 2.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
SUT-R3-011	13.03	5.31	2	4.21
Feeding 04	13.62	6.00	2	4.78
Bus 3	13.96	36.52	4	30.59

Setelah melakukan simulasi maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Pada sub bab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *resetting* setelah dilakukan koordinasi pengamannya pada masing-masing tipikal ID Bus.

❖ **Bus SUT-R3-011**

I_{bf} = 13.5 kA
 FCT = 0.239 s

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar incidentenergy arc flash

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (13,5)^{0,983} = (13,5)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 13,03 \text{ kA} = 6,602 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \cdot 6,602 \cdot \left(\frac{0,239}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 5,346 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar flash protection boundary

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 6,602 \cdot \left(\frac{0,239}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 4243,65 \text{ mm}$$

$$= 4,244 \text{ m}$$

❖ **Bus 3**

Ibf = 14.48 kA
 FCT = 1.526 s
 Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar incident energy arc flash

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (14,48)^{0,983} = (13,96)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 13,96 \text{ kA} = 7,077 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \cdot 7,077 \cdot \left(\frac{1,526}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 36,589 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar flashprotection boundary

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 7,077 \cdot \left(\frac{1,526}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 30637,27 \text{ mm}$$

$$= 30,64 \text{ m}$$

❖ **Bus Feeding 04**

Ibf = 14.12 kA
 FCT = 0.258 s
 Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar incidentenergy arc flash

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (14,12)^{0,983} = (13,62)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 13,62 \text{ kA} = 6,89 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x$$

$$= 1 \cdot 6,89 \cdot \left(\frac{0,258}{0,2}\right) \left(\frac{610}{910}\right)^{0,973}$$

$$= 6,023 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar flashprotection boundary

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

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 6,89 \cdot \left(\frac{0,258}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)\right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 4338,75 \text{ mm}$$

$$= 4,34 \text{ m}$$

Tabel 7.

Perbandingan *Incident Energy Arc Flash* Kondisi *Reseting* Antara Simulasi Dengan Perhitungan Manual Pada Tipikal 1.

ID Bus	Simulasi	Perhitungan	Persentase (%)
NPK Plant 3.3 kV	2.98	2.995	0.5
SUT-R4-015	8.66	8.695	0.4
SUT-R-012	7.33	7.3	0.4
PLN SS-C	7.48	7.543	0.8

Pada Tabel 7 diatas menunjukkan tabel persentase error *incident energy arc flash* antara simulasi dengan dengan perhitungan pada kondisi tipikal 1, terlihat bahwa persentase error tertinggi adalah 0,8 % dan terendah adalah 0,4 %.

Tabel 8.

Perbandingan *Incident Energy Arc Flash* Kondisi *Reseting* Antara Simulasi Dengan Perhitungan Manual Pada Tipikal 2.

ID Bus	Simulasi	Perhitungan	Persentase (%)
SUT-R3-011	5.31	5.346	0.6
Feeding 04	6.00	6.023	0.033
Bus 3	36.52	36.589	0.189

Pada Tabel 8 diatas menunjukkan tabel persentase error *incident energy arc flash* antara simulasi dengan dengan perhitungan pada kondisi tipikal 2, terlihat bahwa persentase error tertinggi adalah 0,6 % dan terendah adalah 0,033 %.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan pada PT. Wilmar, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi diketahui koordinasi proteksi sistem eksisting PT. Wilmar masih membutuhkan perbaikan.
2. Karena ada kesalahan koordinasi rele saat kondisi eksisting pada tipikal 1 dan 3 menjadikan nilai energi *arc flash* menjadi lebih besar, misalnya pada Bus SUT R-4-015 dari nilai eksisting 1.988 menjadi 8.66 namun nilai energi yg muncul masih dalam batas standar NFPA 70E. Untuk nilai selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 untuk tipikal 1, tabel 4.5 dan 4.6 untuk tipikal 3.
3. Ada beberapa bus yang dinalisa di PT. Wilmar yang berada pada level tinggi, salah satunya adalah bus 3 dengan nilai energi 36.52 cal/cm²
4. Pengklasifikasian kategori dan alat perlindungan diri yang tepat dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja sehingga dapat bekerja secara optimal. Selain itu juga untuk menghindari jatuhnya korban jiwa akibat ledakan busur api.

REFERENSI

[1] "Impact of Arc Flash Hazards on Medium Voltage Switchgear" K. R. Shah, Life Senior Member, A. Cinsavich, P. De Silva, Member Shah & Associates, Inc. 416 North Frederick Avenue, Gaithersburg, MD 208770197-2618/07/\$25.00 © 2007 IEEE.

[2] Balasubramanian, Ilanchezian. "Impact of Available Fault Current Variation on Arc-Flash Calculation", IEEE Transactions on Industry Applications, vol 40, No 5, September/October 2010.

- [3] J.C. Das, "Design Aspects of Industrial Distribution Systems to Limit Arc Flash Hazard," IEEE Transactions on Industry Applications, pp 1476, November/December 2005.
- [4] Tinsley H.W., Hodeker., Graham A.M., "*Arc Flash Hazard Calculations – Myths, Facts, and Solutions,*" IEEE Industry Applications Magazine, pp. 58, January/February 2007.
- [5] NFPA 70E., "*Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2009 Edition*", NFPA 70E-2009.
- [6] IEEE Std. 1584-2002., "*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*", by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002.