

# Analisis dan Reduksi Bahaya *Arc Flash* pada Sistem Kelistrikan

Firman Aji Prasongko, Margo Pujiantara dan Ontoseno Penangsang  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: ontosenop@ee.its.ac.id

**Abstrak** — Upaya terakhir untuk menghitung bahaya yang berhubungan dengan potensi bahaya *arc flash* bergantung pada proteksi arus lebih untuk menghilangkan kondisi saat diberi gangguan. Efektivitas berbagai perangkat ditentukan oleh *clearing time* terkait dengan gangguan arus maksimum yang ada untuk setiap lokasi sistem. Industri komersial mulai melakukan prosedur pelabelan *arc flash* dan mulai mengenali pencegahan *arc flash* sebagai bagian dari program *safety*, perhitungan *current method* memungkinkan untuk menghitung *incident energy* (cal/cm<sup>2</sup>) terkait dengan gangguan maksimum tiga fasa. Kesalahan terbanyak adalah besaran arus kurang dari besaran arus tiga fasa maksimum. Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas perhitungan energi dan durasi lama terjadinya *arc flash* pada sistem kelistrikan pada *electrical room*.

**Kata Kunci** — *arc flash*, koordinasi, gangguan, rele pengaman.

## I. PENDAHULUAN

SUATU sistem proteksi di industri harus mampu bekerja sesuai dengan tujuan dan persyaratan serta fungsinya yang ditentukan terhadap jenis gangguan yang terjadi. Karena apabila tidak mampu akan mengakibatkan kerugian yang besar, dilihat dari segi kerusakan yang lebih luas terhadap peralatan instalasi itu sendiri maupun tidak lancarnya penyaluran tenaga listrik. Untuk menyempurnakan koordinasi proteksi diperlukan *setting* proteksi dengan memperhitungkan bahaya busur api (*arc flash*).

Studi *short circuit* dan studi koordinasi diperlukan dalam analisis *arc flash*. Hasil perhitungan *arc flash* di dapat dari perhitungan nilai *fault arching current* yang didapat melalui studi *short circuit*, *clearing times* dan studi koordinasi peralatan proteksi arus lebih. Tujuan dari analisis ini untuk menentukan insiden energi yang berpotensi hadir selama peristiwa *arc flash* serta lama waktu dari terjadinya *energy arc flash*.

Simulasi dilakukan dengan bantuan *software*. Dari hasil analisa di atas diharapkan syarat dari kategori besarnya energi *arc flash* dapat terpenuhi pada sistem kelistrikan industri, dengan demikian dicapai *setting* dan besarnya energi yang memenuhi standart NFPA 70 E, yang dapat menghindarkan pekerja terkena dampak bahaya serta peralatan-peralatan kelistrikan pada industri tersebut terhindar dari kerusakan dan kebakaran.

## II. DASAR TEORI

### A. Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh adanya sambaran petir, kegagalan isolasi ataupun gangguan akibat ranting pohon dan binatang.

Gangguan hubung singkat menyebabkan timbulnya aliran arus dengan nilai yang besar menuju ke titik gangguan. Akibatnya tegangan di sekitar gangguan dapat menurun secara signifikan. Aliran arus yang besar tersebut merupakan jumlah dari arus kontribusi yang berasal dari generator serta motor induksi.

Gangguan hubung singkat dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu :gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Yang termasuk dalam rangkaian hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

### B. Perhitungan Arus Hubung Singkat [1]

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi tegangan menengah dapat dilakukan sebagai berikut :

- Gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{hs\ 3\phi} = \frac{V_N}{Z_1}$$

- Gangguan hubung singkat fasa – fasa

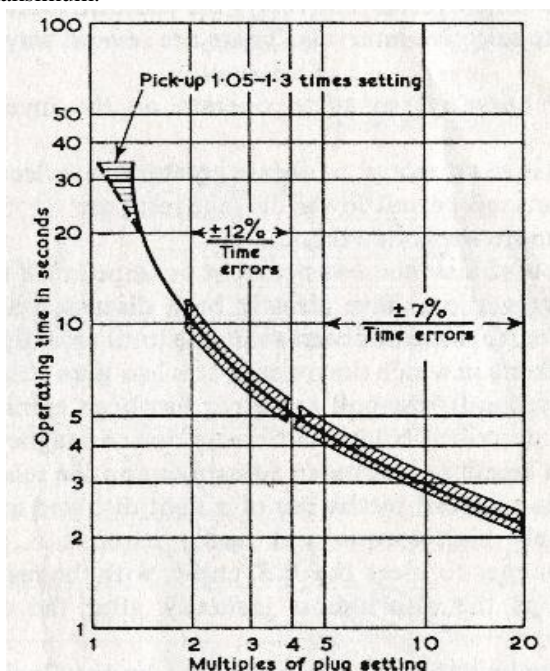
$$I_{hs\ 2\phi} = \frac{\sqrt{3} V_N}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{hs} = \frac{\sqrt{3} V_N}{2 Z_1}$$

C. Relay Arus Lebih (OCR) [2], [3], [4]

Relay arus lebih merupakan suatu jenis relay yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_p$ ) maka relay arus lebih bekerja. Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Bila suatu gangguan terjadi didalam daerah perlindungan relay, besarnya arus gangguan  $I_f$  yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT juga.

Penyetelan arus untuk relay arus lebih mempunyai batasan besarnya arus. Pada dasarnya batas penyetelan relay arus lebih adalah relay tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus settingnya harus lebih besar dari arus beban maksimum.



Gambar 1. Batas Ketelitian Setting Arus Berdasarkan BS 142- 1983

Berdasarkan gambar 2.4 diatas batas penyetelan harus memperhatikan kesalahan pick up, menurut Standart British BS 142- 1983 batas penyetelan antara nominal 1.05 – 1.3 Inominal. Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini amannya menggunakan konstanta 1.1 Inominal . Jadi untuk settingnya dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} = 1,1 \times I_{nominal}$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{Primary CT}$$

D. Teori Arc Flash [5]

Arc flash adalah energi panas dan cahaya yang intens pada titik busur yang diakibatkan oleh flash over. Fenomena arc flash dapat mengakibatkan arc blast yaitu konduktor dan udara di sekeliling busur dipanaskan dan menguap menyebabkan tekanan gelombang yang sering menyebabkan peralatan, bahan

isolasi, dan struktur pendukung meledak dengan kekuatan yang mengancam kehidupan.

E. Rumus Dasar Pencarian Energi Arc Flash [6]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besaran energi yang terjadi pada saat peristiwa arc flash adalah sebagai berikut :

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

Dimana:

- E energi dalam  $J/cm^2$
- $C_f$  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
- $I_a$  magnitudo arus busur api
- G jarak antar konduktor (mm)
- t durasi busur api
- x jarak eksponen
- D jarak busur api ke pekerja

F. Rumus Dasar Pencarian Durasi Waktu Terjadinya Arc Flash [6]

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

G. Kategori Arc Flash

Menurut standart IEEE 1584-2002 terdapat beberapa kategori yang didasarkan kepada besarnya energy dalam satuan  $cal/cm^2$ :

- Kategori 0: besar energi dari 0-1.2  $cal/cm^2$
- Kategori 1: besar energi lebih dari 1.2  $cal/cm^2$  sampai 5  $cal/cm^2$
- Kategori 2: besar energi lebih dari 5  $cal/cm^2$  sampai 8  $cal/cm^2$
- Kategori 3: besar energi lebih dari 8  $cal/cm^2$  sampai 25  $cal/cm^2$
- Kategori 4: besar energi lebih dari 25  $cal/cm^2$  sampai 40  $cal/cm^2$

III. SISTEM KELISTRIKAN

A. Sistem Kelistrikan di Industri

Sistem kelistrikan di industri merupakan sistem kelistrikan yang cukup besar dan kompleks. Sistem kelistrikan hanya dipasok dari PLN yang terintegrasi dengan system Jamali, dengan tegangan suplai sebesar 150 kV melalui Gardu Induk. Distribusi kelistrikan adalah sebagai berikut :

1. Tegangan 150 KV.

Jaringan utama dari main substation menggunakan transformator step down 150/20 kV ke substation menggunakan system tegangan 20 kV.

2. Tegangan 20 KV.  
Jaringan pada substation menggunakan transformator menggunakan transformator step down 150/20 kV yang menggunakan system tegangan 20 kV.
3. Tegangan 6,3 kV  
Jaringan dari substation menggunakan transformator step down 20/6,3 kV ke electrical room menggunakan tegangan 6,3 kV.
4. Tegangan 380 V  
Jaringan dari electrical room menggunakan transformator step down 20/0,4 kV menuju beban LV menggunakan tegangan 380 V.
5. Tegangan 220 V dan 110 V  
Jaringan beban untuk keperluan control dilayani dengan tegangan 220 V dan 110 V melalui transformator khusus.

- FAULT CLEARING TIME : 0.282 s
- INCIDENT ENERGY : 2.467 cal/cm<sup>2</sup>
- PROTECTION BOUNDARY : 6.29 ft
- CATEGORY : 1
- WORKING DISTANCE : 36 inch

Untuk bab ini dilakukan perhitungan manual dari besarnya energi dan lama durasi *arc flash* sebagai perbandingan dari hasil simulasi

$$t = \frac{2.467 \cdot (0.20) \cdot 4.1667}{(4.184) \cdot 1.10 \cdot \left( \frac{610^{0.973}}{910^{0.973}} \right)^{2.055}}$$

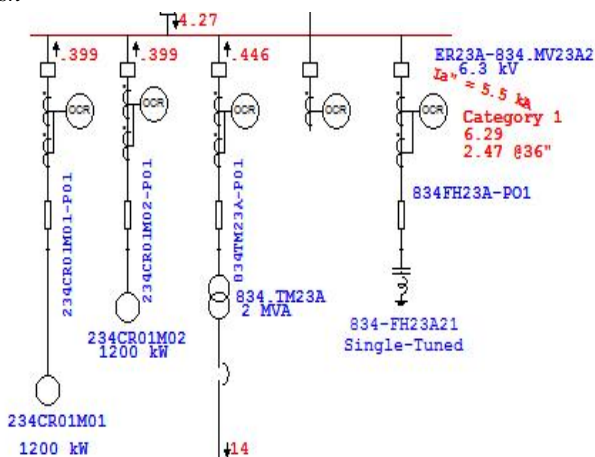
$$= \frac{2.055}{4.184 \cdot 10^{0.41} \cdot 0.68}$$

$$= 0,28 \text{ detik}$$

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. ER 23A-834. MV23A2

Berikut ini akan ditunjukkan hasil simulasi yang menunjukkan gambar *single line diagram* (SLD) pada ER 23A-834. MV23A2 dan juga besarnya energi dan durasi *arc flash*



Gambar 2. Simulasi ER-23A-834.MV23A2

Dalam simulasi diatas untuk pertama kali ditentukan tipe untuk ER itu sendiri yaitu:

Tabel 1. Tipe *Electrial Room*

TYPE	GAP BEETWEN CONDUCTOR (mm)	DISTANCE X FACTOR
SWITCHGEAR	153	0,973

Setelah menentukan tipe diatas didapat hasil simulasi adalah sebagai berikut :

- BUS FAULT CURRENT : 5.608 kA
- BUS ARCHING CURRENT : 5.497 kA

Waktu diatas adalah lamanya waktu terjadinya energi *arc flash* yang terjadi saat membuka atau menutupnya suatu pemutus tegangan, pada metode *arc flash* 1/2 cycle.

$$E = (4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0.555+0+1.081 \cdot \log(5.497)+0.0011 \cdot 153)}$$

$$\left( \frac{0.28}{0.20} \right) \cdot \left( \frac{610^{0.973}}{910^{0.973}} \right)$$

$$= 4.184 \cdot 10^{0.44} \cdot 1.4 \cdot 0.68$$

$$= 10.24 \text{ J/cm}^2$$

Besarnya energy *arc flash* yang terjadi pada ER 23A-834. MV23A2 adalah 10.24 J/cm<sup>2</sup>, satuan untuk energi masih dalam J/cm<sup>2</sup> dan harus dikonversikan ke satuan cal/cm<sup>2</sup> dengan cara mengalikan dengan 0.24, maka besarnya energi *arc flash* yaitu

$$10.24 \cdot 0.24 = 2.45 \text{ cal/cm}^2$$

Dalam standart *paper* untuk nilai 2.45 cal/cm<sup>2</sup> masuk dalam kategori 1, yaitu besarnya energy yang kurang dari atau sama dengan 5 cal/cm<sup>2</sup>.

Dalam standart NFPA 70 E didapat peralatan pelindung diri yang wajib dipakai untuk mereduksi bahaya *arc flash* kategori 1 terhadap para pekerja yaitu:

Tabel 2. Peralatan Pelindung Diri Kategori 1

Jenis	Peralatan dan pakaian pelindung
Pakaian	1. Pakaian lengan pendek
	2. Celana panjang
Pelindung mata	1. Kacamata

Pakaian pada kategori 1 ini yaitu pakaian lengan pendek dan celana panjang menurut NFPA 70E semuanya harus berbahan katun tahan api serta meta aramid, para-aramid, dan serat poli-benzimidazole (PBI) yang memberikan perlindungan panas. Bahan ini dapat mengurangi luka bakar selama terjadinya *arc*

flash dengan memberikan penghalang panas antara arc flash dan pemakainya.

Kacamata memberikan perlindungan yang lebih rendah, dalam kategori 1 ini kacamata bias dipakai jika membutuhkan visual yang tinggi ( pandangan yang jelas ).



Gambar 3. Label ER-23A-834.MV23A2

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa arc flash maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semua *Electrical Room (ER)* pada yaitu ER 23A-834.MV23A2, ER 23B-834. MV23B, ER 23C-834.MV23C, ER 24-834-MV241, ER 25- 834 MV251, ER 25- 834. MV252, ER 26-834.MV261, ER 27-834.MV272, ER 28-834.MV281, ER 29-834.MV291 telah memenuhi kategori arc flash yang ada dalam teori arc flash. Tidak ada satu *Electrical Room (ER)* yang melebihi batas toleransi yaitu melebihi dari kategori 4.
2. Dalam penulisan yang didapat besarnya energi arc flash (E) dalam satuan J/cm<sup>2</sup>, untuk membuktikan hasil analisis atau perhitungan manual dengan hasil simulasi maka harus dirubah dalam satuan cal/cm<sup>2</sup> dengan factor pengali 0,24.
3. Besar energi arc flash dan durasi terjadinya arc flash yang telah dianalisis adalah sebagai berikut

Tabel 3. Besar Energi, Durasi dan Kategori Arc Flash

Lokasi	Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	Durasi (detik)	Kategori
ER 23A-834. MV23A2	2.45	0,28	kategori 1
ER 23B-834. MV23B	3.26	0,347	kategori 1
ER 23C-834. MV23C	3.283	0,269	kategori 1
ER 24-834- MV241	20.436	0,7	kategori 3
ER 25-834- MV251	8.98	0,166	kategori 3
ER 25-834- MV252	13.1	0,242	kategori 3
ER 26-834- MV261	19.19	0,398	kategori 3

ER 27-834- MV271	19.7	0,39	kategori 3
ER 27-834- MV272	9.879	0,197	kategori 3
ER 28-834- MV281	7.84	0,2	kategori 3
ER 29-834- MV291	19.224	0,395	kategori 3

4. Besarnya energi arc flash yang telah di analisis pada tiap *electrical room (ER)*, digunakan untuk menentukan standart alat pelindung diri pekerja supaya terhindar atau mereduksi bahaya energi arc flash terhadap pekerja yang bekerja di daerah tersebut.
5. Semakin cepat setting waktu rele maka semakin kecil energi arc flash yang terjadi.
6. Semakin besar arus gangguan maka semakin besar arus arching yang mengakibatkan semakin kecil durasi dan energi arc flash.

Analisis ini berguna untuk menentukan kategori *electrical room (ER)* pada industri telah sesuai dengan standart yang berlaku untuk besarnya energi arc flash. Untuk perancangan sistem kelistrikan di pabrik ini perlu diperhatikan jarak antar konduktor dan x faktor yang disesuaikan dengan IEEE standart 1584-2002.

Untuk mereduksi bahaya energi arc flash terhadap pekerja harus ditetapkan alat pelindung diri yang disesuaikan dengan kategori besarnya energi arc flash serta mengacu pada standart NFPA 70 E. Setiap *electrical room (ER)* pada industri perlu diberi label peringatan akan bahaya arc flash untuk menambah keamanan para pekerja di tempat tersebut. Penulisan kali ini hanya ditujukan untuk medium voltage 6,3 kV belum termasuk pada level tegangan 0,4 kV yang disarankan untuk pengembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] GE Corporate Research and Development Niskayuna, “ DG Power Quality, Protection and Reliability Case Studies Report ”, Renewable Energy Laboratory National New York, (2003, August).
- [2] Turan Gonen, Modern Power System Analysis, USA, (1988).
- [3] A.R. van C Warrington, Protective Relays volume 1, Chapman & Hall LTD, (1962).
- [4] Cristophe Preve, Protection of Electrical Network, ISTE Ltd, Great Britain and the United States, (2006).
- [5] Littell fuse POWR-GARD Products Des Plaines, IL,USA, Understanding and Reducing Arc Flash Hazards, (2005).
- [6] Wallace Tinsley and Michael Hodder, “A Practical Approach to Arc Flash Hazard Analysis and Reduction”, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 41, No. 1, (2005, January/February).