

# Analisa Arc Flash pada Tegangan 20Kv di Sistem Kelistrikan Gardu Induk Waru

Rafli Bagus Senoaji<sup>1</sup>, Niken Adriaty Basyarach<sup>2</sup>, Izzah Aula Wardah<sup>3</sup>,  
Giovanni Dimas Prenata<sup>4</sup>, Kurnia Paranita Kartika Riyanti<sup>5</sup>, Lutfi Agung Swarga<sup>6</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118  
E-mail: bagusrafl@gmail.com

## ABSTRAK

*Arc flash atau busur api merupakan fenomena percikan api yang terjadi karena adanya arus gangguan akibat hubung singkat. Kejadian ini tidak hanya dapat merusak peralatan kerja, tetapi juga membahayakan keselamatan pekerja yang berada di sekitarnya. Untuk mengukur dan mengantisipasi potensi bahaya arc flash, metode standar yang digunakan adalah IEEE 1584 – 2002 dan metode kurva batas energi. Pada sistem kelistrikan Gardu Waru dihasilkan nilai energi insiden tertinggi yaitu pada bus pengumpukan Bungurasih sebesar 30,86 kal/cm<sup>2</sup> dengan nilai batas jarak aman 15,2 kaki. Artinya, pada lokasi ini, pekerja perlu menjaga jarak minimal agar terhindar dari bahaya yang ditimbulkan arc flash. Sementara itu, nilai incident energy terendah pada bus Wage feeder sebesar 13,98 cal/cm<sup>2</sup> dengan nilai batas jarak aman 10,3 feet. Analisis ini membantu dalam menentukan langkah-langkah pengamanan yang diperlukan untuk mengurangi risiko dan meningkatkan keselamatan di lingkungan kerja.*

*Kata Kunci: Arc flash, Hubung Singkat, Incident Energy, Kurva Batas Energi, Standar IEEE.*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan merupakan lingkungan yang rentan terhadap gangguan, yang menyebabkan kerusakan pada peralatan dan mengancam keselamatan manusia. Salah satu bentuk gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat juga berpotensi menimbulkan fenomena *arc flash*. *Arc flash* merujuk pada pelepasan energi panas dan cahaya yang dilepaskan saat terjadinya gangguan hubung singkat. Panas yang dihasilkan dari *arc flash* dapat mencapai lebih dari 35.000 F atau empat kali lebih panas daripada suhu permukaan matahari. Oleh karena itu, panas dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang serius pada jarak tertentu, terutama jika tidak dilengkapi alat pelindung diri yang memadai. Besar energi *arc flash* dipengaruhi juga oleh waktu kerja proteksi kelistrikan untuk menangani gangguan. Semakin cepat waktu proteksi untuk bekerja maka semakin cepat juga gangguan diminimalisir. Untuk mengetahui besar nilai energi busur api, perlu dilakukan pada tiap – tiap tipe peralatan yang ada pada perusahaan.

Penelitian ini fokus pada analisis pengurangan risiko *arc flash* pada Gardu Induk Waru dengan tegangan 150. Pertama, analisis dimulai dengan menghitung energi *arc flash* pada kondisi eksisting. Pentingnya koordinasi proteksi menjadi syarat utama dalam analisis energi busur api, sehingga diperlukan koordinasi yang efektif dan akurat. Setelah itu, dilakukan perhitungan ulang energi *arc flash* dengan memanfaatkan standar dari IEEE 1584-2002. Langkah selanjutnya adalah menghitung batas *arc*

*flash* untuk menetapkan jarak aman agar terhindar dari potensi bahaya *arc flash*. Akhirnya, dilakukan penentuan level *Personal Protective Equipment* (PPE) atau Alat Pelindung Diri sesuai energi *arc flash* yang terdeteksi. Penentuan level PPE berdasarkan standar dari *National Fire Protection Association* (NFPA) 70E.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *State of The Art*

Dalam penelitian [1] teknik penyederhanaan analisis digunakan untuk menentukan *personal protective equipment* (PPE) dari bahaya busur api (*arc flash*) dengan berdasarkan IEEE 1584 – 2002 dan *overcurrent device* (OPCD). Tidak seperti persamaan penyederhanaan dalam IEEE 1584. Teknik analisis berpotensi dapat diterapkan untuk semua jenis perangkat pelindung arus lebih pada setiap system kelistrikan yang berada dalam jangkauan persamaan empiris IEEE 1584. Pada hasil akhir dari Analisa busur api dengan menggunakan metode kurva Batasan energi ini didapatkan proses penemuan kategori PPE yang lebih singkat daripada IEEE 1584 – 2002.

Menurut penelitian [2], pada Analisa potensi bahaya *arc flash*, bergantung pada proteksi arus lebih untuk menghilangkan busur api saat terjadi gangguan. Industri mulai melakukan prosedur pelabelan *arc flash* dan mulai mengenali pencegahan *arc flash* sebagai bagian dari keama

Untuk menghitung *incident energi* dengan gangguan maksimum tiga fasa, metode yang dilakukan yaitu *current method*. Hasil dari analisa ini yaitu sebesar ER 23A-834 sebesar 2,45 cal/cm<sup>2</sup>, ER 23B-834 sebesar 3,26 cal/cm<sup>2</sup>, ER 23C-834 sebesar 3,283 cal/cm<sup>2</sup>, ER 24-834 sebesar 20,436 cal/cm<sup>2</sup> dan ER 25-834 sebesar 8,98 cal/cm<sup>2</sup>.

Pada penelitian sebelumnya peneliti menghitung *incident energi* tanpa mempertimbangkan *flash protection boundary* dan untuk menghitung *incident energi* dengan menggunakan *current method*. Peneliti *arc flash* berikutnya menganalisa dengan membagi dua, yaitu kondisi *exiting* dan *resetting*. Peneliti menggunakan metode kurva batasan energi. Metode ini berfungsi untuk mempersingkat analisa perhitungan sehingga data parameter yang dibutuhkan tidak terlalu banyak. Pada pengembangan ini di sistem kelistrikan gardu induk waru menghitung *incident energi*, batas jarak aman, dan menentukan klasifikasi *personal protective equipment* saat *over current relay* pada kondisi *exiting* dan *resetting*. Metode yang digunakan yaitu persamaan IEEE 1584 – 2002 dan metode kurva Batasan energi.

## 2.2 Rele Arus Lebih

Rele arus umumnya dipergunakan untuk mendeteksi terjadinya arus gangguan yang melampaui nilai arus nominalnya. Arus gangguan tersebut dapat timbul akibat beban berlebih (*overload*) atau terjadi hubung singkat (*short circuit*). Proses deteksi gangguan oleh rele arus lebih melibatkan trafo arus (*current transformer* atau CT), dimana arus yang mengalir melalui CT akan dibandingkan dengan pengaturan rele. Ketika arus yang mengalir melebihi nilai pengaturan, rele akan memberi perintah pada *circuit breaker* untuk membuka circuit.

## 2.3 Arc Flash/Busur Api

*Arc Flash* merujuk pada peristiwa pelepasan energi panas dan cahaya yang terjadi saat terjadinya gangguan hubung singkat. Energi yang dilepaskan dalam fenomena ini memiliki tingkat kekuatan yang sangat tinggi dan dapat mengakibatkan dua jenis gangguan, yaitu arcing fault dan bolted fault. Arcing fault terjadi ketika aliran arus listrik mengalir melalui udara antara dua atau lebih konduktor, biasanya terjadi pada tegangan diatas 120V. Kejadian ini membuat udara di sekitarnya berperan sebagai konduktor yang mampu menyalurkan energi. Sementara itu, *Bolted fault* adalah arus gangguan yang mengalir pada konduktor sebagai jalur arus gangguannya. Beberapa faktor yang menjadi penentu tingkat keparahan dari arc flash melibatkan arus hubung singkat, tegangan sistem celah-celah atau gap, jarak dari kejadian arc flash, dan waktu pembukaan circuit breaker. Dengan memahami dan mengidentifikasi faktor-faktor ini, kita dapat

mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat untuk mengurangi risiko dan melindungi keselamatan lingkungan kerja.

## 2.4 Perhitungan Besar Energi Arc Flash

Untuk perhitungan *incident energi* pada penelitian ini menggunakan persamaan yang berdasarkan pada IEEE 1584 – 2002 dan Kurva Batasan Energi.

Untuk level tegangan yang kurang dari 1kV dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$lgI_a = K + 0,622lgI_{bf} + 0,0966V + 0,000526G + 0,5588V(lgI_{bf}) - 0,00304G(lgI_{bf}) \quad (1)$$

Kemudian untuk level tegangan diantara 1kV-15kV dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$lgI_a = 0,00402 + 0,983lgI_{bf} \quad (2)$$

Keterangan:

Lg = log10

Ia = arus arcing (kA)

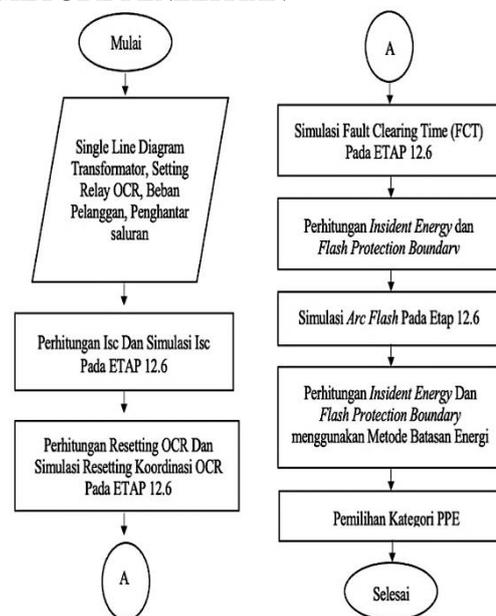
K = konstanta untuk konfigurasi terbuka (0,153) dan konstanta untuk konfigurasi box (-0,097)

lgI<sub>bf</sub> = bolted fault current pada gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA)

V = tegangan sistem (kV)

G = jarak celah antar konduktor (mm)

## 3. METODE PENELITIAN

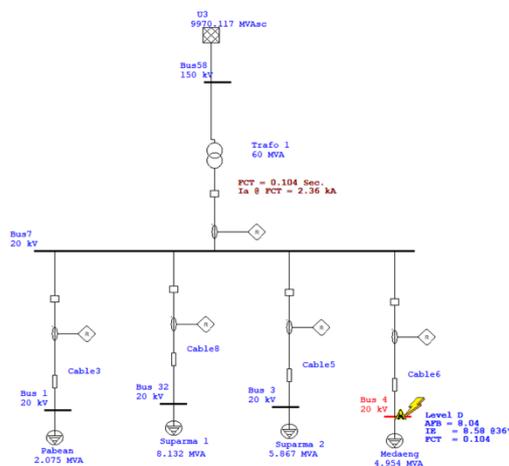


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Dalam menyusun suatu penelitian diperlukan langkah – langkah yang tepat agar sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode observasi, dengan melakukan pengambilan data dilapangan. Dengan menggunakan studi literatur, pengumpulan data, perhitungan manual maupun simulasi menggunakan *software*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Single line diagram penyulang medaeng pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Single Line Diagram Penyulang Medaeng

##### 4.1 Perhitungan Impedansi Penyulang

$$\begin{aligned} \text{Impedansi urutan positif } (Z_{L1}) &= 0,216 + j0,330 \\ \text{Impedansi urutan nol } (Z_{L0}) &= 0,363 + j1,618 \\ \text{Impedansi urutan negatif } (Z_{L2}) &= 0,216 + j0,330 \\ \text{Impedansi urutan nol } (Z_{L0}) &= 0,363 + j1,618 \\ \text{Daya dasar } (MVA_{base}) &= 100 \text{ MVA} \\ \text{Tegangan dasar } (KV_{base}) &= 20 \text{ kV} \\ \text{Luas penampang} &= 150 \text{ mm}^2 \\ \text{Panjang} &= 3,21 \text{ km} \\ \text{Impedansi dasar: } Z_{base} &= \frac{20^2}{100} = 4\Omega \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan untuk impedansi urutan positif dan negatif penyulang medaeng sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{L1} = Z_{L2} &= \frac{(0,216 + j0,330) \times 3,21}{4} \text{ pu} \\ Z_{L1} = Z_{L2} &= 0,1733 + j0,2648 \text{ pu} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk impedansi urutan nol pada penyulang medaeng sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{L0} &= \frac{(0,363 + j1,618) \times 3,21}{4} \text{ pu} \\ Z_{L0} &= 0,2913 + j0,4959 \text{ pu} \end{aligned}$$

##### 4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

$$\begin{aligned} \text{Daya dasar } (MVA_{base}) &= 100 \text{ MVA} \\ \text{Tegangan dasar } (KV_{base}) &= 20 \text{ KV} \\ \text{Tegangan dalam } pu (V) &= 1,0 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{base} &= \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} \times 1000 = 2.886,75 \text{ kA} \\ I_{HS \text{ 3 fasa}} &= \frac{1,0}{0,0027 + j0,20618 + 0,7133 + j0,2648} \\ I_{HS \text{ 3 fasa}} &= \frac{1,0}{0,716 + j0,4709} \\ I_{HS \text{ 3 fasa}} &= \frac{1,0}{0,8569 \angle 33,33^\circ} \\ I_{HS \text{ 3 fasa}} &= 1,167 \angle -33,33^\circ \\ I_{HS \text{ 3 fasa}} &= 1,167 \times 2.886,75 = 3.3688 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

##### 4.3 Perhitungan Incident Energy dan Flash Protection Boundary

$$\begin{aligned} E &= 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 3,368 \times \left(\frac{0,254}{910^2}\right) \\ &= \frac{44,256}{4,184} \text{ J/cm}^2 \\ &= 10,57 \text{ cal/cm}^2 \\ D_B &= \left[2,142 \times 10^6 \times 20 \times 3,368 \times \left(\frac{0,254}{5}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 2464,10 \text{ mm} \times 0,00328 = 8,08 \text{ ft} \end{aligned}$$

##### 4.4 Perhitungan Arc Flash Menggunakan Metode Kurva Batasan Energi

Dalam perhitungan arc flash menggunakan metode kurva batasan energi, diperlukan perolehan kurva untuk setiap kategori PPE (Personal Protective Equipment). Kurva ini menggambarkan relasi antara arus dan waktu, dan data kurva diperoleh melalui persamaan yang terdapat dalam IEEE 1584 – 2002. Setiap bus yang dianalisis terbagi menjadi dua level tegangan, yaitu bus pada tegangan antara 1 hingga 15 kV dan bus dengan tegangan melebihi 15 kV.

##### 4.5 Penentuan Kurva Batas Energi untuk Level Tegangan lebih dari 15 KV

Berikut ini perhitungan untuk level tegangan lebih dari 15 kv menggunakan persamaan metode penentuan kurva batas energi. Untuk setiap kategori PPE dengan standart incident energy berdasarkan tabel NFPA 70E-2004.

Untuk kategori 0 PPE, dengan nilai E adalah 8,36 J/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} &= \frac{8,36 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times l_{bf}} \\ &= 0,1616 \times l_{bf}^{-1} \end{aligned}$$

Untuk kategori 1 PPE, dengan nilai E adalah 16,74 J/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} &= \frac{16,74 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times l_{bf}} \\ &= 0,3236 \times l_{bf}^{-1} \end{aligned}$$

Untuk kategori 2 PPE, dengan nilai E adalah 33,47 J/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} &= \frac{33,47 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times l_{bf}} \\ &= 0,6469 \times l_{bf}^{-1} \end{aligned}$$

Untuk kategori 3 PPE, dengan nilai E adalah 104,6 J/cm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} &= \frac{104,6 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times l_{bf}} \\ &= 2,0219 \times l_{bf}^{-1} \end{aligned}$$

Untuk kategori 4 PPE, dengan nilai E adalah 167,36 J/cm<sup>2</sup>

$$= \frac{167,36 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times l_{bf}}$$

$$= 3,2351 \times l_{bf}^{-1}$$

tereduksi sebesar 10,6 cal/cm<sup>2</sup> dan dengan nilai FCT 0,190 sec.

#### 4.6. Perhitungan Jarak Batas Aman

Berikut ini merupakan perhitungan jarak batas aman untuk level tegangan > 15 kV. Perhitungan jarak batas aman perlindungan PPE kategori 0, dengan berbagai nilai Ewd sebagai berikut:

$$Ewd = 8,36 \text{ J/cm}^2$$

$$D_B = \frac{910}{\sqrt[2]{\frac{5}{8,36}}} = 1176,68 \text{ mm} = 3,86 \text{ feet}$$

$$Ewd = 16,74 \text{ J/cm}^2$$

$$D_B = \frac{910}{\sqrt[2]{\frac{5}{8,36}}} = 1665,08 \text{ mm} = 5,46 \text{ feet}$$

$$Ewd = 33,47 \text{ J/cm}^2$$

$$D_B = \frac{910}{\sqrt[2]{\frac{5}{8,36}}} = 2354,42 \text{ mm} = 7,72 \text{ feet}$$

$$Ewd = 104,6 \text{ J/cm}^2$$

$$D_B = \frac{910}{\sqrt[2]{\frac{5}{8,36}}} = 4162,19 \text{ mm} = 13,65 \text{ feet}$$

$$Ewd = 167,36 \text{ J/cm}^2$$

$$D_B = \frac{910}{\sqrt[2]{\frac{5}{8,36}}} = 5264,80 \text{ mm} = 17,27 \text{ feet}$$

#### 5. KESIMPULAN

1. Pada sistem kelistrikan Gardu Induk Waru didapatkan nilai *incident energy* terbesar yaitu pada bus penyulang Bungurasih dengan nilai sebesar 30.86 cal/cm<sup>2</sup> dengan batas jarak aman 15.2 feet. Sementara nilai *incident energy* terendah terjadi pada bus penyulang Wage dengan nilai sebesar 13,98 cal/cm<sup>2</sup> dengan batas jarak aman 10,3 feet.
2. Nilai *incident energy arc flash* dipengaruhi oleh *fault clearing time* (FCT) atau waktu relay proteksi menghilangkan gangguan. Semakin besar nilai FCT maka semakin besar pula nilai *incident energynya*. Contohnya pada penyulang Medaeng pada saat kondisi exiting memiliki nilai insiden energi 14.56 cal/cm<sup>2</sup> dengan nilai FCT sebesar 0.254 sec. Setelah dilakukan *resetting* relay pengaman insiden energi

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Rosyadi, Muhammad Ilham, "Analisis Koordinasi Konservasi PT Mempertimbangkan Arc Flash. Vico Indonesia, Kalimantan Timur", Surabaya, 2017.
- [2]. Nahari, Moch Andry, "Penilaian Proteksi Sistem Kelistrikan PT Glenmore Sugar Industry", Surabaya, 2018.
- [3]. Susilo, Toni, "Analisis Peningkatan Proteksi Kebakaran Busur PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit III Plaju Menggunakan Metode ZSI (Zone Selective Interlocking)", Surabaya, 2015.
- [4]. Taufiqi, Moch.Irsad. Margo Pujiantara. dan Sjamsjul Anam, "Analisis Arc Flash PT Electrical Systems. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo", Surabaya, 2017.
- [5]. Clark. Cameron G, "Dasar-dasar Arc Flash", Solusi Industri GE, 2016.
- [6]. Standar IEEE. 1584-2018., "Pedoman IEEE untuk Menerapkan Bahaya Arc Flash Komputasi," Institut Insinyur Listrik dan Elektronik, New York, 2018.
- [7]. IEEE Standard. 1584-2002., "IEEE Guidelines for Arc Flash Hazard Calculations", Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 2002.
- [8]. NFPA 70E, "Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces, 2015 Edition," National Fire Protection Company, 2015. 68
- [9]. Purnomo, Arbiantoko Permadi, "Analisis Dan Perencanaan Sistem Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya", Surabaya, 2017.
- [10]. Putra, Rachmad Kusuma, "Studi Koordinasi Proteksi Dengan Mempertimbangkan Arc Flash Menggunakan Metode Perhitungan Modifikasi Di Pt. Indonesian Semen", Surabaya, 2016.
- [11]. Griad-Leroux, Simon, P.Eng, "Impact of the New IEEE 1584-2018 Standard on Arc Flash Research", CIMA+, 2019. [12]. IEEE Standards Association, "Arc Flash IE and Iarc Calculators," 2020. [13]. IEEE Standards Association, "Arc Flash Phenomenon", 2019.