

Studi dan Analisa *Arc Flash* Dalam Menentukan Kategori PPE di Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN Dengan Menggunakan *Software* ETAP 7.0.0

Corry Komalasari, Nurhalim

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: komalacorry@gmail.com

ABSTRACT

Arc Flash is dangerous happening in electric industry system. The cause of the damaged could be from a mistake of the system or maintenance procedur. Arc flash can broken tools and death of the workers around them. In order for our safety, we have to really take care of this system to avoid the damage and the life our workers. In this project, we will learn and make a research more and get throught it, we will learn about arc flash in Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN Pekanbaru. This study will teach us about how to count of arc flash with the standart of it an place the right category PPE.

Keywords : arc flash, incident energy, PT. PLN, PPE, bus

I. PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) merupakan salah satu Badan Usaha Milik Negara yang bergerak dibidangnya yaitu penyediaan listrik bagi masyarakat. PT. PLN (Persero) mempunyai suatu amanah besar bagi pelayanan kelistrikan di bumi Lancang Kuning ini. Pesatnya pertumbuhan penduduk, menjadi salah satu dari sekian banyak masalah dalam memenuhi kebutuhan listrik, akan tetapi hal ini harus bisa diantisipasi oleh PLN karena pertumbuhan penduduk akan terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Meningkatnya pertumbuhan penduduk, akan berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik karena listrik sudah menjadi sendi kehidupan bagi masyarakat, baik untuk aktivitas rumah tangga, perkantoran, tempat perbelanjaan, sekolah, rumah ibadah, serta untuk kebutuhan umum lainnya.

Sistem kelistrikan tidak terlepas dari gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan bahkan sampai dapat mengancam keselamatan manusia. 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 melaksanakan sesuai dengan fungsinya maka akan mengakibatkan tidak lancarnya penyaluran tenaga listrik di industri tersebut yang pasti akan berpengaruh terhadap hasil produksi yang diinginkan.

Untuk menyempurnakan suatu sistem proteksi maka diperlukan perhitungan terhadap bahaya busur api (*arc flash*). Busur api merupakan fenomena percikan api yang timbul akibat adanya arus gangguan hubung singkat, oleh sebab itu dengan adanya analisa terhadap busur api ini nantinya akan didapat besarnya insiden energi yang dapat digunakan sebagai acuan terhadap pemilihan PPE (Personal Protective Equipment) yang tepat untuk bekerja di depan peralatan sistem tenaga listrik. Penggunaan PPE ini nantinya akan dapat menyempurnakan penyaluran listrik di PT.PLN (Persero) karena apabila perusahaan sedang melakukan perbaikan pada peralatan, listrik tidak perlu dipadamkan. Sistem untuk menjamin keandalan menyalurkan tenaga listrik ini dinamakan *Hot Line Work*.

II. LANDASAN TEORI

Arc Flash adalah energi panas dan cahaya yang intens pada titik busur yang diakibatkan oleh tegangan tembus, fenomena arc flash dapat mengakibatkan arc blast yaitu konduktor dan udara sekeliling busur menguap menyebabkan tekanan gelombang yang dapat menyebabkan peralatan, bahan isolasi dan struktur pendukung meledak dengan kekuatan yang dapat mengancam keselamatan pekerja.

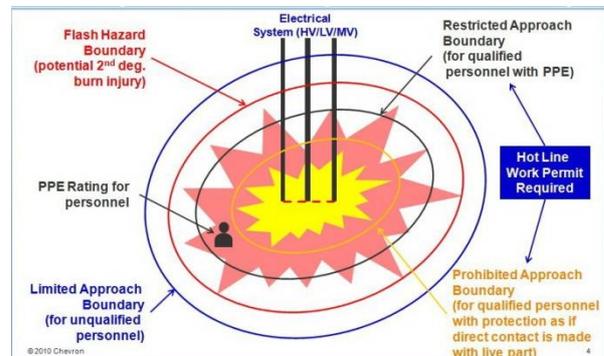
Awal mula arc flash muncul diakibatkan dari adanya arcing fault. Arcing fault sendiri dapat didefinisikan sebagai aliran arus listrik yang mengalir pada saluran yang seharusnya tidak teraliri arus. Arus tersebut menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang berbahaya. Selama arc flash terjadi, udara sekitar menjadi konduktor. Plasma energi yang dihasilkan dapat menimbulkan efek fisik. Antara lain berupa ledakan bola api yang terhempas keluar, panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang parah, cahaya yang menyilaukan, gelombang bertekanan yang dihasilkan seolah-olah seperti martil yang menghantam tubuh hingga dapat menghempaskan orang sekitarnya, suara ledakan yang dapat mengganggu pendengaran dan tetesan logam cair akibat konduktor yang meleleh berterbangan ke segala arah seperti pecahan peluru.

Hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya busur listrik diantaranya:

- Kecerobohan dalam menyentuh suatu energized equipment.
- Sambungan yang kendur.
- Kegagalan Isolasi.
- Peralatan yang tidak mendapatkan perawatan dengan baik.
- Tegangan transien.
- Kegagalan menginterupsi hubung singkat.
- Ada binatang yang tidak sengaja lewat, seperti tupai, ular, dsb.

Kategori bahaya yang ditimbulkan oleh *arc flash* dikelompokkan berdasarkan besarnya Energi yang dilepaskan pada saat terjadi *arc flash* itu sendiri. Tujuan dari pengelompokan

ini adalah untuk mengetahui jenis *personal protective equipment* (PPE) yang harus digunakan.



Gambar 1. Batasan Jarak Saat Terjadi *Arc Flash*
(Sumber: PT. CPI)

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa:

- Arc Flash Boundary***
Jarak di mana besar *incident energy* sama dengan 1.2 cal/cm^2 .
- Limited Approach Boundary***
Jarak minimum ke peralatan yang *ter-energized* yang tidak boleh dilewati oleh orang berkualifikasi dengan menggunakan PPE yang sesuai. Pekerja yang melewati batas ini harus memiliki rencana kerja yang telah disetujui.
- Resricted Approach Boundary***
Jarak minimum yang hanya boleh dimasuki oleh personel yang berkualifikasi (contoh 3 feet untuk 13.8 kV).
- Prohibited Approach Boundary***
Jarak minimum yang hanya boleh dileawti oleh orang berkualifikasi dengan menggunakan peralatan proteksi dan dimungkinkan untuk bersentuhan dengan peralatan yang *ter-energized*. Pekerja yang melewati batas ini harus memiliki rencana kerja yang telah disetujui dan penilaian resiko.

Untuk perhitungan *incident energy* pada penelitian ini menggunakan persamaan yang berdasarkan pada IEEE 1584 dan NFPA 70E.

Untuk sistem di atas 1kV menggunakan persamaan:

$$\log I_a = 0.00402 + 0.983 \log I_{bf} \quad \dots(1)$$

Dimana:

- I_a =Arcing current
- I_{bf} =Bolted fault current untuk gangguan 3 fasa (kA)
- V =Tegangan sistem (kV)
- G =Jarak antar konduktor (mm)

Setelah didapat nilai I_a maka selanjutnya dapat dihitung besarnya *incident energy* yang dapat terjadi.

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \log I_a + 0.0011G \dots(2)$$

$$E = 4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad \dots(3)$$

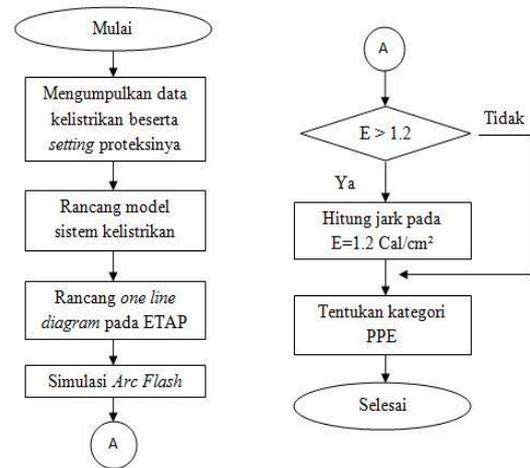
Dimana:

- E_n =Incident energy (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak
- K_1 =-0.792 untuk *open configuration*
-0.555 untuk *box configuration (enclosed equipment)*
- K_2 =0 untuk *ungrounded dan high-resistance grounded system*
-0.113 untuk *grounded system*
- G =Jarak antara konduktor (mm)
- t = Arcing time (s)
- D = Distance to equipment (mm)
- CF = 1 (V>1Kv), 1.5 (V<1Kv)
- X = Distance exponent

PPE mencakup semua alat pelindung diri seperti: alat pelindung kepala (*helmet*), alat pelindung mata (kacamata, lensa pelindung, *eye wash*), alat pelindung telinga (*ear plug*), alat pelindung tangan (sarung tangan karet, kulit, dan katun), alat pelindung kaki (*safety shoes, rubber boot*), alat bantu pernapasan, dan alat pelindung bekerja di ketinggian.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah dengan meninjau langsung ke lokasi penelitian untuk memperoleh data yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Data-data yang dibutuhkan untuk pengujian program antara lain: diagram satu garis, data beban, data transformator serta relay yang digunakan.

3.2 Data Transformator

Pada Gardu Induk Teluk Lembu terdapat tiga transformator daya yang digunakan. Dengan keterangan sebagai berikut:

1. Trafo Daya 1 (TD1) memiliki 5 feeder.
2. Trafo Daya 2 (TD2) memiliki 7 feeder.
3. Trafo Daya 3 (TD3) memiliki 5 feeder.

Jenis dan karakteristik trafo daya 1 adalah:

- KVA transformator = 60 MVA
- % impedansi = 11,82%
- Rated KV = 150KV/20KV

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menghitung Impedansi Sumber

Nilai impedansi pada sumber adalah 100 MVA Base, oleh karena itu perlu dihitung Z_{base} terlebih dahulu dengan persamaan:

$$Z_{base} = \frac{(V_{L-L})^2}{MVA_{base}} = \frac{(20 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 4 \text{ ohm}$$

Untuk mengetahui impedansi di bus sisi 20 kV maka:

$$R_s = 0,01357_{pu} \times j4\Omega = 0,05428\Omega$$

$$X_s = 0,11471_{pu} \times j4\Omega = 0,45884\Omega$$

4.2 Menghitung Impedansi Trafo Daya

Gardu Induk Teluk Lembu memiliki 3 trafo daya yang mempunyai kapasitas trafo yang berbeda antara 1 dengan yang lainnya, oleh karena itu perhitungan pertama akan dilakukan pada tiap trafo daya.

Menghitung Impedansi Trafo Daya 1

a. Besarnya impedansi trafo daya 1 adalah 11,82% maka:

$$Z_t = \frac{\text{kV(sisi skunder)}^2}{MVA_{trafo}} \times \%Z = \frac{20^2}{60} \times \frac{11,82}{100} = 0,788\Omega$$

Lalu dapat dihitung nilai R_t dan X_t dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_t = \sqrt{\frac{z^2}{a^2+1}} = \sqrt{\frac{0,788\Omega^2}{34,1^2+1}} = 0,02309\Omega$$

$$X_t = a \times R = 34,1 \times 0,02309\Omega = j0,787369$$

b. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Pada penelitian ini, arus gangguan yang digunakan pada penelitian ini adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa, karena nilai arus gangguan hubung singkat terbesar adalah nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa.

c. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Bus TD1

Untuk perhitungan arus hubung singkat pada bus TD1 diperlukan besarnya nilai impedansi ekivalen, impedansi ekivalen di sini adalah besarnya impedansi dari sumber sampai pada titik gangguan, yaitu:

$$Z_{eq} = Z_s + Z_{trafo}$$

$$Z_{eq} = (0,05428+j0,45884) + (0,02309+j0,787369)$$

$$Z_{eq} = 0,07737 + j1,246209 \text{ ohm}$$

Setelah didapat besarnya impedansi ekivalen, maka perhitungan arus hubung singkat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{bf} = \frac{V_{phase}}{Z_{eq}}$$

$$I_{bf} = \frac{20/\sqrt{3}}{\sqrt{0,07737^2 + 1,246209^2}} = 9,24 \text{ kA}$$

d. Perhitungan *Arcing Fault Current* (I_a) pada Bus TD1

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

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log 9,24$$

$$\log I_a = 0,95327$$

$$I_a = 10^{\log I_a}$$

$$I_a = 10^{0,95327}$$

$$I_a = 8,97986 \text{ A}$$

e. Perhitungan Insiden Energi pada Bus TD1

Perhitungan insiden energi dapat dilakukan apabila telah didapat nilai dari arus gangguan (*arcing fault current*).

1. Perhitungan Insiden Energi pada Bus TD1

Diketahui:

$$I_a : 8,97986$$

$$\text{Log } I_a : 0,95327$$

$$t : 2,062 \text{ detik}$$

$$D : 36 \text{ inchi (914,4)}$$

$$G : 600 \text{ mm}$$

$$X : 2,000$$

$$C_f : 1 \text{ (tegangan di atas 1kV)}$$

$$K_1 : -0,792$$

$$K_2 : -0,133$$

Maka:

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log I_a + 0,0011G$$

$$\log E_n = -0,792 + (-0,133) + (1,081 \times 0,95327) + (0,0011 \times 600)$$

$$\log E_n = 0,76548$$

$$E_n = 5,82746$$

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

$$E = 4,184 \times 1 \times 5,82746$$

$$E = \left(\frac{2,062}{0,2}\right) \left(\frac{610^2}{914,4^2}\right) = 26,763 \text{ Cal/cm}^2$$

Dari hasil besar insiden energi yang didapat, maka PPE yang harus digunakan adalah PPE kategori 4 pada Bus TD1.

Tabel 1 Hasil Perhitungan *Incident Energy*

Titik Gangguan	<i>Incident Energy</i> (cal/cm ²)	Kategori PPE
Bus TD1	26,763	4
Cemara	18,651	3
Cendana	21,273	3
Jati	19,209	3
Mahoni	19,248	3
Surian	18,651	3
Bus TD2	34,413	4
Bakau	18,635	3
Akasaia	20,699	3
Ubar	17,306	3
Sungkai	19,199	3
Rengas	18,234	3
Kuras	20,565	3
Ketapang	21,417	3
Bus TD3	22,480	4
Kulim	20,606	3
Meranti	20,387	3
Okura	20,413	3
Ramin	20,426	3
Sengon	20,374	3

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. *Incident Energy* yang paling tinggi terjadi pada Bus TD2, yaitu sebesar 34,413 cal/cm². Kategori PPE yang harus digunakan adalah kategori 4.
2. *Incident Energy* yang paling rendah terjadi Bus Ubar, yaitu sebesar 17,306 cal/cm². Kategori PPE yang harus digunakan adalah kategori 3.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa *arc flash* pada Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN, penulis menyarankan agar PT. PLN mulai menerapkan sistem kerja *hot line work* saat bekerja dengan menggunakan PPE sesuai kategori yang sudah didapat. Agar saat ada pekerjaan berupa perbaikan dan sebagainya, tidak perlu mengadakan pemadaman listrik dan para pekerja mendapatkan keamanan saat bekerja karena menggunakan *personal protective equipment* yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculation-Amendment 1*, IEEE Std. 1584a-2004.
- Standard for Electrical Safety in the Workplace*, NFPA 70E, 2015.
- Stevenson, W.D. (1996). *Analisis Sistem Tenaga Listrik* (4th ed.). Jakarta: Erlangga.
- Firman dkk. 2012. Analisis Dan Reduksi Bahaya *Arc Flash* Pada Sistem Kelistrikan. Jurnal Penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Indonesia.
- Firmansyah dkk. 2012. Analisa Sistem Proteksi dan *Arc Flash* pada Sistem Kelistrikan Ladang Minyak. Jurnal Penelitian, Fakultas Teknologi-ITS, Indonesia.
- Tjok dkk. 2013. Evaluasi Sistem Pengaman Kelistrikan di PT. Citic Seram Dengan Mempertimbangkan *Arc Flash*. Jurnal Penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Indonesia.
- Sihaar. 2015. Studi Insiden Energi Akibat *Arc Flash* pada Substation 6DN PT. Chevron Pacific Indonesia. Jurnal Penelitian Universitas Riau, Indonesia.