

ANALISIS SISTEM PROTEKSI TERHADAP BAHAYA BUSUR API (ARC FLASH)

Soni Dzulfikar¹ Agung Trihasto² Deria Pravitasari³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Tidar

Jl Kapten Suparman 39 Magelang 56116 Indonesia

sonidzulfikar@students.untidar.ac.id¹, deria.pravitasari@untidar.ac.id³

INTISARI

Standar umum penggunaan sistem proteksi yang di terapkan di industri harus dapat bekerja berdasarkan tujuan, persyaratan serta fungsinya yang ditentukan oleh jenis gangguan yang terjadi. Adanya gangguan hubung singkat yang terjadi dapat menimbulkan banyak bahaya lain, salah satunya yaitu *arc flash*. Atas dasar studi yang telah dilaksanakan yaitu koordinasi proteksi dengan memperhitungkan besar energi busur api atau *arc flash* pada sistem kelistrikan PT. Matrama Manunggal Jaya, melalui hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.06 dapat diperoleh kesimpulan bahwa koordinasi proteksi sistem *eksisting* PT. Matrama Manunggal Jaya perlu dilakukan perbaikan. Hal tersebut dibuktikan dengan terus berkurangnya nilai insiden energi yang sudah dihitung, akibat penyesuaian waktu trip pada kegiatan *Resetting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai insiden energi tertinggi tipikal 1 yang terdapat pada Bus_1.1 mengalami penurunan insiden energi sebesar 17.4 cal/cm² yang semula bernilai 35,31 cal/cm² dapat diredam menjadi 17,91 cal/cm². Dari hasil penurunan insiden energi tersebut, kategori bahaya yang semula masuk kategori 4 menjadi kategori 3 dan itu menjadi kategori yang aman menurut standar NFPA 70E - 2009.

Kata Kunci: *Arc flash*, insiden energi, sistem proteksi.

ABSTRACT

General standards for the use of protection systems used in industry can work based on the requirements, and capabilities determined by the type of disturbance that occurs. The existence of a short circuit that occurs can cause many other dangers, one of which is arc flash. On the basis of the studies that have been carried out, namely the coordination of protection by calculating the amount of arc energy or arc flash in the electrical system of PT. Matrama Manunggal Jaya, through the simulation results using ETAP 12.06 software, it can be found that the coordination of the existing protection system of PT. Matrama Manunggal Jaya needs to be repaired. This is evidenced by the decreasing value of calculated energy incidents, due to trip time adjustments in the Reset activity. The results showed that the highest energy incident value typical 1 contained in Bus_1.1 experienced a decrease in energy incidence of 17.4 cal/cm² which was originally feasible at 35.31 cal/cm², but could be reduced to 17.91 cal/cm². From the results of the reduction in energy incidents, the hazard category which was originally in category 4 became category 3 and it became a safe category according to the NFPA 70E - 2009 standard.

Keywords: *Arc flash*, energy insident, protection system.

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik umum dimanfaatkan dalam kegiatan pembangkitan, transmisi dan pendistribusian tenaga listrik untuk dikonsumsi oleh masyarakat luas. Kehandalan kerja secara profesional diperlukan dalam melayani konsumen sistem tenaga listrik dan hal tersebut sangat tergantung pada penggunaan sistem proteksi.

Standar umum penggunaan sistem proteksi yang di terapkan industri harus berfungsi berdasarkan tujuan, persyaratan dan fungsi ditentukan oleh jenis gangguan yang terjadi. Komponen - komponen yang terdapat pada sistem proteksi tenaga listrik dirancang agar dapat mengidentifikasi gangguan - gangguan yang dapat menghambat operasi dari

sistem tenaga listrik tersebut yang mungkin memicu timbulnya bahaya, baik terhadap bagian - bagian penting didalamnya maupun terhadap makhluk hidup disekitarnya.[1].

Upaya untuk meminimalisir dampak yang timbul akibat terjadinya suatu gangguan yaitu dengan melakukan koordinasi proteksi agar kontinuitas daya listrik tetap terjaga. Pada umumnya, gangguan tersebut muncul diakibatkan oleh suatu hubung singkat yang terjadi dari fasa fasa atau hubung singkat dari fasa tanah, baik dalam bentuk hubung langsung maupun melalui impedansi [2].

Adanya gangguan oleh hubung singkat dapat menimbulkan banyak bahaya lain, salah satunya yaitu *arc flash*. Terjadinya *arc flash* akan memunculkan suatu energi yang merusak peralatan

listrik disekitarnya. Selain itu, *arc flash* dapat membahayakan pekerja yang bekerja *online system*, bahkan pada kondisi tertentu dapat menyebabkan kematian pekerja [3].

II. LANDASAN TEORI

A. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

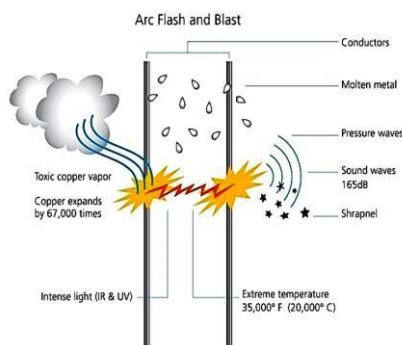
Sistem tenaga ialah suatu sistem didalamnya melibatkan komponen dan sangat kompleks. Terdapat faktor yang dapat menyebabkan gangguan terhadap sistem tenaga meliputi faktor *internal*, faktor *eksternal* dan faktor dari manusia itu sendiri. Untuk gangguan *internal* disebabkan oleh fluktuasi tegangan atau arus, kondisi rusak/kurang baik, beban lebih, dan kondisi peralatan yang sudah tidak layak pakai. Sedangkan untuk gangguan *eksternal* disebabkan oleh kesalahan pekerja, kondisi cuaca, dan lingkungan [4].

B. Gangguan Hubung Singkat

Hal - hal seperti kerusakan isolasi, panas yang berlebih, kerusakan mekanis, dan kerusakan peralatan akibat *overload* menjadi faktor utama yang dapat menimbulkan gangguan hubung singkat [5]. Gangguan tersebut biasanya digolongkan menjadi jenis hubung singkat simetri dan asimetri. Pada jenis hubung singkat simetri, gangguan dapat terjadi pada semua fasa yang menjadikan besar arus dan tegangan pada setiap fasa mempunyai nilai yang sama. Hubung singkat simetri dibedakan menjadi berikut ini:

1. Hubung singkat 3 fasa
2. Hubung singkat 3 fasa-tanah

Arus hubung singkat yang memiliki nilai tertinggi terjadi pada fase *subtransien* yang berguna menentukan nilai awal arus sehingga bisa juga untuk menghitung rating peralatan, sedangkan nilai terkecil terjadi saat fase *steady state* yang berguna sebagai acuan dalam melakukan perhitungan koordinasi proteksi [6].



Gambar 1. Efek Arc Fault

C. Pengertian Arc Flash

Arc flash terjadi karena adanya *arcing-fault* atau *bolted fault* [7]. *Arcing-fault* diartikan sebagai munculnya busur api akibat adanya arus gangguan mengalir melalui udara antar konduktor atau antara konduktor ke tanah. Arus gangguan tersebut menimbulkan munculnya plasma busur listrik yang kemudian melepas energi yang berbahaya. Sedangkan *bolted fault* akan muncul apabila terdapat perantara konduktor yang berfungsi sebagai jalur arus gangguan tersebut yang disebabkan oleh adanya faktor luar seperti adanya debu yang menumpuk, kegagalan mekanik, kegagalan isolasi, korosi, dan kesalahan operator. Nilai *arcing fault* mempunyai nilai yang lebih kecil daripada nilai *bolted fault*.

Besar kecilnya *arc flash* yang muncul ditentukan oleh beberapa faktor berikut seperti nilai arus *bolted fault* atau arus hubung singkat tertinggi, jarak antar konduktor, level tegangan, jarak pekerja dengan titik *arc flash*, dan lama waktu yang digunakan peralatan proteksi dalam menghilangkan dan mengisolir gangguan. Berdasarkan besar energinya, standar acuan NFPA 70E - 2009 mengelompokkan nilai besar energi dalam satuan cal/cm² menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

Kategori 0	: besar energi dari 0 - 1.2 cal cm ²
Kategori 1	: besar energi >1.2 cal cm ² - 5 cal cm ²
Kategori 2	: besar energi >5 cal cm ² - 8 cal cm ²
Kategori 3	: besar energi >8 cal cm ² - 25 cal cm ²
Kategori 4	: besar energi >25 cal cm ² - 80 cal cm ²

D. Perhitungan Arc Flash Berdasarkan IEEE 1584- 2002

Penghitung *arc flash* berdasarkan standar IEEE 1584 - 2002, yaitu dengan terlebih dahulu menghitung nilai arus *arcing fault*.

Level tegangan bus persamaan arus dapat diperoleh dengan rumus persamaan :

$$I_a = 1,01 \times I_{bf0,983} \quad (1)$$

keterangan :

I_g = log10;
 I_a = nilai arus *arcing* (kA);
 K = nilai koefisien -0,153 (konfigurasi terbuka); -0,097 (konfigurasi *box*);
 ibf = *bolted fault current* pada jenis gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA);
 V = tegangan sistem (kV);
 G = celah antar konduktor (mm).

Setelah analisis dilakukan dan nilai *arcing current* didapatkan, maka dapat dilakukan perhitungan nilai *incident energy* menggunakan rumus di bawah. Sedangkan dalam perhitungan besar energi yang normal, dapat memasukkan durasi waktu *arcing* yaitu 0,2 detik dan jarak dari titik *arcing* ke manusia sebesar 610 mm ke dalam rumus sebagai acuannya.

keterangan :

E_n = insiden energi normal (tanpa pengaruh waktu dan jarak) (J/cm^2);
 K_1 = nilai koefisien -0,792 (konfigurasi terbuka); -0,555 (konfigurasi *box*);
 K_2 = nilai koefisien 0 (sistem *ungrounded and high-resistance grounded*); -0,113 (sistem *grounded*);
 G = celah antar konduktor (mm).

Setelah nilai E_n diperoleh, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan terhadap nilai insiden energi E melalui rumus berikut :

$$E = C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad (3)$$

keterangan :

E = *incident energy* (cal/cm^2);
 C_f = faktor pengali (1,0 tegangan diatas 1kV
1,5 tegangan dibawah 1kV);
 E_n = insiden energi normal ;
 t = waktu *arcing* (detik);
 D = jarak dari titik *arc* ke pekerja (mm);
 x = jarak *exponent*.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian meliputi studi literatur, penelitian, alat dan bahan penelitian, pengukuran, perhitungan, analisis data, dan kesimpulan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran langsung, simulasi menggunakan *software* ETAP 12.06, dan menentukan nilai insiden energi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan penghitungan manual menggunakan standar IEEE 1584 - 2000.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengumpulan data yang didapatkan dari pengukuran di PT. MATRAMA MANUNGGAL JAYA.

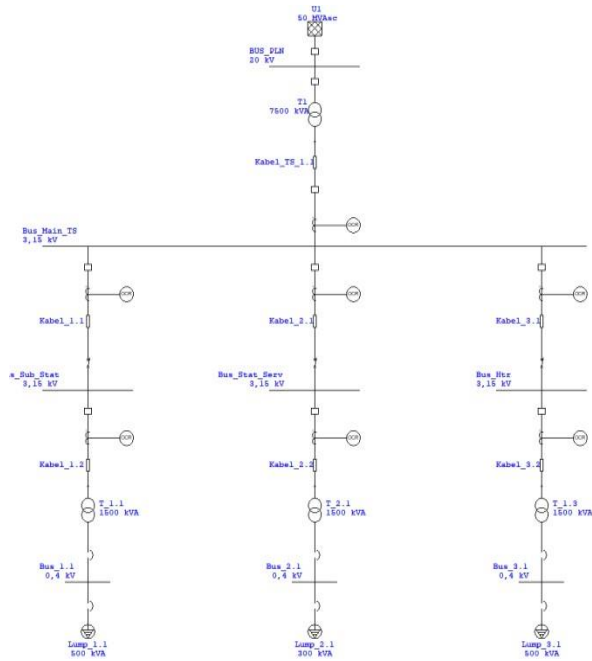
A. Sistem Kelistrikan PT. Matrama Manunggal Jaya

Dalam pembahasan tugas akhir ini diperlukan sebuah rangkaian *single line diagram* perusahaan PT. Matrama Manunggal Jaya. *Single line diagram* dibutuhkan sebagai pokok utama dalam menganalisis sistem proteksi diperusahaan tersebut yang disimulasikan dengan *software* ETAP 12.06.

$$E_n = I_a^{1,081} \times 10^{(K_1 + K_2 + 0,0011 \times G)} \quad (2)$$

B. Pemodelan Sistem Kelistrikan dengan *Software* ETAP 12.06

Pada penelitian ini dibutuhkan sebuah rangkaian kelistrikan untuk menganalisis *system* kelistrikan yang dimodelkan menggunakan *software* ETAP 12.06. Beberapa data peralatan seperti data generator, trafo, relay, bus dan lain - lainnya dibutuhkan dalam pembuatan *single line diagram*. Berikut dijelaskan tentang sistem kelistrikan PT. Matrama Manunggal Jaya dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan pada Software ETAP

C. Analisis Arc Flash

Penentuan *arc flash* dihitung berdasarkan hasil analisis arus hubung singkat yang telah dilakukan. Selanjutnya dapat diketahui nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang dihitung melalui simulasi menggunakan ETAP 12.06. Data simulasi tersebut berdasarkan pada jenis tipikal

D. Perhitungan Energi Busur Api (*Eksisting*) pada Bus_1.1 sesuai Standar IEEE 1584 - 2002

Besarnya energi busur api pada Bus_1.1 (*Eksisting*) dianalisis secara manual dengan mengacu pada standar IEEE 1584 - 2002.

$$\begin{aligned}
 I_a &= 1,01 \times I_b f^{0,983} \\
 &= 1,01 \times (12,36)^{0,983} \\
 &= 1,01 \times 11,84 \\
 &= 11,95 \text{ kA} \\
 E_n &= I_a^{1,081} \times 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \times G)} \\
 &= (11,95)^{1,081} \times 10^{(-0,555 - 0,113 + 0,0011 \times)} \\
 &= 14,60 \times 0,22 \\
 &= 3,21 \text{ J/cm}^2 \\
 E &= Cf \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^X \\
 &= 1,5 \times 3,21 \times \left(\frac{1,397}{0,2}\right) \left(\frac{610}{609,6}\right)^2 \\
 &= 1,5 \times 3,21 \times 6,98 \times 1 \\
 &= 33,60 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Energi Busur Api (*Resetting*) pada Bus_1.1 sesuai Standar IEEE 1584-2002

Besarnya energi busur api pada Bus_1.1 (*Resetting*) dianalisis secara manual dengan mengacu pada standar IEEE 1584 - 2002.

ID BUS	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FTC (s)	Incident Energi (cal/cm ²)	Arc flash Boundary (m)	Kategori
MainTS	6,54	6,39	1,900	6,97	2,20	2
Sub Stat	6,38	6,24	0,550	3,74	2,94	1
1.1	22,48	12,36	1,397	35,31	3,31	4
Stat Serv	6,38	6,23	0,380	1,36	0,97	1
2.1	21,59	10,24	0,886	19,15	2,58	3
Htr	6,38	6,24	0,960	3,43	1,55	1
3.1	22,48	12,36	0,600	15,16	2,17	3

yang sebelumnya sudah dilakukan koordinasi pengamannya, yang dibedakan menjadi tipikal 1, tipikal 2 dan tipikal 3. Hasil perhitungan secara rinci disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Simulasi *Incident Energy Arc Flash* Pada Sistem Kelistrikan

F. Perbandingan Bus_1.1 pada saat *Eksisting* dan *Resetting* Setelah Pengaturan Ulang FTC

Perbandingan antara perhitungan manual menurut standar dan hasil simulasi melalui *software* ETAP 12.06 *resetting* sangat penting dilakukan untuk mengetahui apa saja kesalahan - kesalahan hasil analisis *arc flash*. Persentase perbandingan hasil perhitungan termuat dalam Tabel 2.

V. KESIMPULAN

Melalui hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.06 dapat diperoleh kesimpulan bahwa koordinasi proteksi sistem *eksisting* PT. Matrama Manunggal Jaya perlu dilakukan perbaikan. Hal tersebut dibuktikan dengan terus berkurangnya nilai insiden energi yang sudah dihitung, akibat penyesuaian waktu trip pada kegiatan *Resetting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai insiden energi tertinggi tipikal 1 yang terdapat pada

Bus_1.1 mengalami penurunan insiden energi sebesar 17.4 cal/cm² yang semula bernilai 35,31 cal/cm² dapat diredam menjadi 17,91 cal/cm². Dari hasil penurunan

$$\begin{aligned}
 I_a &= 1,01 \times I_b f^{0,983} \\
 &= 1,01 \times (12,36)^{0,983} \\
 &= 1,01 \times 11,84 \\
 &= 11,95 \text{ kA} \\
 E_n &= I_a^{1,081} \times 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \times G)} \\
 &= (11,95)^{1,081} \times 10^{(-0,555 - 0,113 + 0,0011 \times 13)} \\
 &= 14,60 \times 0,22 \\
 &= 3,21 \text{ J/cm}^2 \\
 E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^X \\
 &= 1,5 \times 3,21 \times \left(\frac{0,7744}{0,2}\right) \left(\frac{610}{609,6}\right)^2 \\
 &= 1,5 \times 3,21 \times 3,72 \times 1 \\
 &= 17,91 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Perbandingan *Incident Energy Arc Flash* Kondisi *Eksisting* dan *Resetting*

ID BUS	Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FTC (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori	Kondisi
Bus_1.1	22,48	21,534	1,397	35,31	Level 4	<i>Eksisting</i>
Bus_1.1	22,48	21,534	0,744	17,91	Level 3	<i>Resetting</i>

insiden energi tersebut, kategori bahaya yang semula masuk kategori 4 menjadi kategori 3 dan itu menjadi kategori yang aman menurut standar NFPA 70E - 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] UU No.30/2009 tentang ketenagalistrikan
- [2] Standard ANSI/IEEE 100-1992. "Standard Dictionary Of Electrical And Electronics Terms".
- [3] Susilo Toni, "Analisa Peningkatan Proteksi Terhadap Busur Api Di Pt. Pertamina (Persero) Refinery Unit III Plaju Menggunakan Metode ZSI (Zone Selective

Interlocking), Institut Teknologi Sepuluh
Nopember, 2015.

- [4] Wahyudi Ragil, “Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Di Gardu Induk Bringin Penyulang Brg-2 Pt. Pln (Persero) Ul Salatiga Dengan Metode Section Technique, UMS, 2016.
- [5] Standard ANSI/IEEE 100-1992. “*Standard Dictionary Of Electrical And Electronics Terms*”.
- [6] Penangsang, Ontoseno, “Analisis Sistem Tenaga Jilid 2”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2016
- [7] NFPA 70E – 2000 *Standard of Electrical Safety in the Workplace*, National Fire Protection Asociation.
- [8] IEEE 1584- 2002, “*Guide for performing arcflash Hazard Calculation*”.