

Analisis Bahaya *Arc-Flash* pada Sistem Distribusi Industri Menggunakan *ETAP* Berbasis IEEE 1584-2018

Gilbert Sarda Sinaga

Universitas Negeri Medan

Alfredo Sibarani

Universitas Negeri Medan

Hudai Hasnandi

Universitas Negeri Medan

Desman Jonto Sinaga

Universitas Negeri Medan

Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli

Serdang, Sumatra Utara 20221

Korespondensi penulis: gilbertsardasinaga72@gmail.com

Abstract. *The reliability and safety of industrial electrical power systems have become paramount priorities given the serious threats posed by arc-flash phenomena, which can cause severe injuries, equipment damage, and operational disruptions. This study aims to analyze arc-flash hazards in multi-bus industrial distribution systems using ETAP software based on IEEE 1584-2018 standards. The research methodology employs an experimental simulation design by constructing a distribution system model encompassing bus components, transformers, transmission lines, and protective devices. The analysis focuses on three critical points: Bus 4, Bus 6, and Bus 7. Simulation results indicate that Bus 4 exhibits the highest incident energy of 56.52 cal/cm² with an arc-flash boundary of 5.324 m (NFPA 70E category F), Bus 6 generates 45.90 cal/cm² with a boundary of 4.663 m (category F), and Bus 7 produces 34.40 cal/cm² with a boundary of 3.880 m (category E). The findings underscore the necessity for implementing high-level personal protective equipment, optimizing protection coordination to reduce fault clearing time, and conducting periodic evaluations of protection systems to enhance operator safety and the reliability of industrial distribution systems.*

Keywords: *arc-flash, electrical safety, IEEE 1584-2018, incident energy, industrial distribution system.*

Abstrak. Keandalan dan keselamatan sistem tenaga listrik industri menjadi prioritas utama mengingat ancaman serius dari fenomena *arc-flash* yang dapat menimbulkan cedera parah, kerusakan peralatan, dan gangguan operasional. Penelitian ini bertujuan menganalisis bahaya *arc-flash* pada sistem distribusi industri multi-bus menggunakan perangkat lunak ETAP berbasis standar IEEE 1584-2018. Metode penelitian menggunakan desain simulasi eksperimental dengan membangun model sistem distribusi yang mencakup komponen bus, transformator, saluran, dan perangkat proteksi. Analisis difokuskan pada tiga titik kritis: Bus 4, Bus 6, dan Bus 7. Hasil simulasi menunjukkan Bus 4 memiliki *incident energy* tertinggi sebesar 56,52 cal/cm² dengan *arc-flash boundary* 5,324 m (kategori F NFPA 70E), Bus 6 menghasilkan 45,90 cal/cm² dengan *boundary* 4,663 m (kategori F), dan Bus 7 menghasilkan 34,40 cal/cm² dengan *boundary* 3,880 m (kategori E). Temuan mengindikasikan perlunya penerapan alat pelindung diri

Received November 20, 2025; Revised Desember 03, 2025; Januari 01, 2026

* Gilbert Sarda Sinaga , gilbertsardasinaga72@gmail.com

tingkat tinggi, optimalisasi koordinasi proteksi untuk mengurangi *fault clearing time*, dan evaluasi berkala sistem proteksi guna meningkatkan keselamatan operator serta keandalan sistem distribusi industri.

Kata kunci: *arc-flash*, IEEE 1584-2018, *incident energy*, keselamatan kelistrikan, sistem distribusi industri.

LATAR BELAKANG

Keandalan dan keselamatan sistem tenaga listrik merupakan aspek fundamental dalam operasi fasilitas industri modern. Salah satu ancaman keselamatan yang paling kritis adalah fenomena *arc-flash* yaitu pelepasan energi panas yang sangat besar akibat loncatan busur listrik pada kondisi gangguan. *Arc-flash* dapat menimbulkan cedera serius, kerusakan peralatan, gangguan operasional, hingga potensi terhentinya proses produksi. Oleh karena itu, analisis bahaya *arc-flash* menjadi langkah esensial dalam upaya mitigasi risiko dan perencanaan proteksi pada sistem distribusi industri. Perkembangan standar keselamatan dan metode perhitungan terbaru, khususnya IEEE 1584-2018, memberikan pendekatan yang lebih akurat dalam memodelkan *arcing current*, *incident energy*, dan batas aman pekerja dibandingkan edisi sebelumnya.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas implementasi analisis *arc-flash* pada sistem distribusi menggunakan perangkat lunak berbasis simulasi. Perkembangan perangkat lunak seperti *ETAP* memungkinkan analisis sistem tenaga secara komprehensif melalui pemodelan *single line diagram*, evaluasi proteksi, dan perhitungan *incident energy* berbasis standar internasional. Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa penggunaan standar IEEE 1584-2018 menghasilkan estimasi *incident energy* yang lebih realistis karena mempertimbangkan geometri elektroda, ukuran *enclosure*, dan variasi *arcing current* pada kondisi 100% maupun 85%. Selain itu, penelitian terkini juga menekankan pentingnya evaluasi koordinasi proteksi, karena waktu pemutusan gangguan (*fault clearing time*) sangat memengaruhi tingkat energi yang diterima pekerja pada jarak kerja tertentu.

Meskipun banyak studi telah mengkaji penerapan analisis *arc-flash*, sebagian besar penelitian berfokus pada sistem distribusi umum atau pada sistem skala besar, sementara kajian mendalam pada sistem distribusi industri dengan konfigurasi multi-bus tertentu masih terbatas. Selain itu, gap penelitian juga muncul pada kurangnya integrasi sistematis antara simulasi *ETAP* versi terbaru dengan parameter perhitungan IEEE 1584-2018, terutama dalam konteks analisis sensitivitas *fault clearing time* dan kondisi operasi aktual di industri. Urgensi penelitian ini diperkuat oleh meningkatnya kebutuhan industri terhadap evaluasi risiko yang lebih presisi,

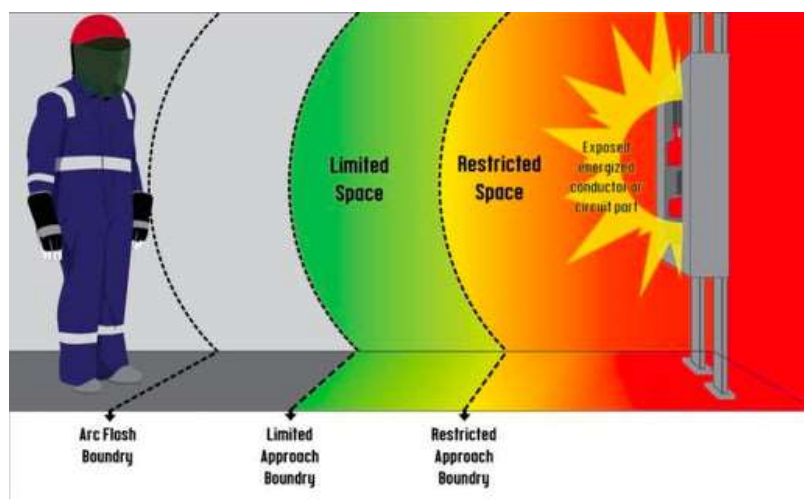
mengingat potensi kerugian material dan keselamatan pekerja akibat *arc-flash* masih menjadi tantangan signifikan dalam manajemen keselamatan kelistrikan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bahaya *arc-flash* pada sistem distribusi industri menggunakan *ETAP* dengan acuan standar IEEE 1584-2018. Penelitian ini berfokus pada penentuan *arcing current*, *incident energy*, dan *arc-flash boundary* pada beberapa titik kritis dalam jaringan distribusi, serta mengevaluasi pengaruh waktu pemutusan proteksi terhadap tingkat bahaya yang ditimbulkan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan keselamatan kerja, perencanaan proteksi yang lebih optimal, serta menjadi acuan bagi industri dalam menyusun kebijakan mitigasi risiko *arc-flash* secara komprehensif.

KAJIAN TEORITIS

1. *Arc-Flash* pada Sistem Tenaga Listrik

Arc-flash merupakan fenomena pelepasan energi listrik melalui media udara akibat kegagalan isolasi, konfigurasi pengawatan yang tidak aman, atau kondisi gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik. Energi yang dilepaskan dari busur listrik dapat menimbulkan radiasi termal ekstrem, tekanan ledakan, dan logam cair, sehingga berpotensi menyebabkan cedera serius dan kerusakan peralatan (Dzulfikar, Soni; Trihasto, 2022; Friday, Amakiri O; Nonso, 2022). Menurut IEEE Std 1584-2018, besarnya energi insiden dipengaruhi oleh arus gangguan, jarak kerja, waktu pembersihan gangguan, dan konfigurasi elektroda.



Gambar 1. Zona Jarak Batas Aman Busur Api (*Flash Protection Boundary*)

2. Standar IEEE 1584-2018 untuk Analisis Arc-Flash

IEEE Std 1584-2018 merupakan pedoman terkini untuk melakukan perhitungan bahaya *arc-flash* pada sistem tenaga AC 50 Hz dengan tegangan antara 208 V hingga 15 kV (IEEE, 2018). Standar ini memperkenalkan model empiris baru yang memperhitungkan geometri elektroda (*vertical, horizontal, vertical conductor in open air*, dan lain-lain), jarak antar elektroda, serta arus busur. Perubahan signifikan dibanding edisi 2002 mencakup metode perhitungan yang lebih representatif terhadap konfigurasi industri modern, sehingga meningkatkan akurasi penentuan energi insiden (Gü, 2021).

Tabel 1. Parameter Utama IEEE 1584-2018

Parameter	Deskripsi
Arus Gangguan	Arus hubung singkat 3-fasa nominal
Arus Busur (I_a)	Arus aktual selama <i>arc-flash</i>
<i>Working Distance</i>	Jarak operator ke sumber arc
<i>Electrode Configuration</i>	HCB, VCBB, VCB, HOA, HCA, dll.
<i>Fault Clearing Time</i>	Lama proteksi bekerja

3. Sistem Distribusi Industri dan Karakteristik Proteksi

Sistem distribusi industri umumnya beroperasi pada tegangan menengah dan rendah dengan konfigurasi multi-bus, memiliki peralatan seperti transformator, panel distribusi, pemutus tenaga (CB), *fuse*, dan relay proteksi (Maulana & Farsa, 2023). Kepadatan beban yang tinggi membuat sistem industri lebih rentan terhadap kondisi gangguan, sehingga koordinasi proteksi menjadi aspek penting untuk meminimalkan dampak *arc-flash*. Ketidaktepatan pengaturan proteksi berpotensi meningkatkan waktu pembersihan gangguan, yang secara langsung meningkatkan energi insiden (Prahesti et al., 2023; Yusnianti et al., 2022).

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan perangkat lunak analisis sistem tenaga yang dapat melakukan simulasi hubung singkat, koordinasi proteksi, dan analisis *arc-flash* secara terpadu. *ETAP* mendukung metode IEEE 1584-2018 untuk menentukan energi insiden dan batas aman (*arc-flash boundary*) pada titik-

titik kritis sistem (Chauhan et al., 2019; Nhat, 2025). Keunggulan ETAP meliputi kemampuan membaca kurva TCC proteksi secara presisi, perhitungan otomatis arus busur, hingga pembuatan label keselamatan sesuai NFPA 70E.



Gambar 2. Kategori Energi *Arc Flash* dan Perlengkapan APD yang saran menurut NFPA 70E

Beberapa penelitian telah membahas perhitungan dan mitigasi bahaya *arc-flash* di berbagai jenis sistem tenaga. (Gana, 2023) melakukan studi *arc-flash* pada sistem IEEE 8-bus dan menunjukkan bahwa variasi konfigurasi elektroda mempengaruhi energi insiden secara signifikan. (Bahadur et al., 2024) mengusulkan pendekatan kurva batasan energi untuk menilai risiko *arc-flash* pada sistem PLTU. Penelitian lain oleh (Gü, 2021) membandingkan dampak *distributed generation* terhadap hasil perhitungan energi insiden.

Pada konteks proteksi industri (Prahesti et al., 2023) dan (Yusnianti et al., 2022) menekankan pentingnya koordinasi antara OCR, relai jarak, dan CB untuk memastikan FCT tetap rendah sehingga risiko *arc-flash* dapat diminimalkan. (Maulana & Farsa, 2023) menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam pengaturan OCR dapat menurunkan energi insiden hingga >30%.

Selain itu, beberapa studi fokus pada aspek alat deteksi dan mitigasi bahaya seperti penggunaan sensor optik (Rahmadani & Prastiyo, 2023) serta evaluasi kesiapan

sistem proteksi distribusi (Friday, Amakiri O ; Nonso, 2022). (Rai, 2024) menekankan perlunya integrasi data proteksi pada analisis *arc-flash* di gardu induk.

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan, penggunaan IEEE 1584-2018 secara spesifik pada sistem distribusi industri multi-bus masih relatif terbatas, sehingga penelitian ini menawarkan kontribusi baru pada praktik evaluasi keselamatan listrik di sektor industri.

METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian Penelitian ini menggunakan desain simulasi eksperimental (*experimental simulation design*) dengan pendekatan kuantitatif berbasis perangkat lunak ETAP. Desain ini dipilih karena memungkinkan analisis terstruktur terhadap fenomena bahaya *arc-flash* tanpa harus melakukan eksperimen langsung pada sistem tenaga listrik yang memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan dan keterbatasan operasional.

Penelitian dimulai dengan membangun model sistem distribusi industri berdasarkan *single line diagram* (SLD) aktual yang meliputi komponen bus, transformator, saluran, pemutus tenaga, serta perangkat proteksi. Seluruh komponen kemudian diberikan parameter teknis seperti impedansi, rating arus, kapasitas hubung singkat, dan karakteristik proteksi sesuai data sistem. Simulasi *arc-flash* dilakukan menggunakan modul *Arc Flash Analysis* pada ETAP dengan standar perhitungan IEEE 1584-2018 untuk memperoleh nilai *incident energy*, *arcing current*, *arc flash boundary*, dan tingkat PPE.

Model penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh kondisi operasi, konfigurasi proteksi, serta variasi *fault clearing time* terhadap tingkat bahaya *arc-flash* di beberapa titik kritis bus. Desain simulasi eksperimental ini memungkinkan hasil yang terukur serta relevansi dengan sistem industri nyata tanpa mengganggu operasi sistem tenaga.

2. Data Parameter

Berikut ini merupakan data-data parameter yang digunakan pada simulasi ETAP, antara lain:

Tabel 2. Data Sumber

ID	Rating (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Daya Semu (MVA)	SC Rating (MVA _{sc})
Power Grid	22	20,818	14,277	25,24	750

Tabel 3. Data Transformator

ID	Kapasitas (MVA)	Rating		Impedansi	
		Input (kV)	Output (kV)	%Z	X/R
Transformator 1	50	22	6,6	12,5	45
Transformator 2	20	22	3,3	10	20

Tabel 4. Data Saluran

Kabel	Saluran	Sumber	Frekuensi (Hz)	Tegangan (kV)	Panjang (m)
1	Bus 1-2	Prys BS6622	50	22	500
2	Bus 3-4	BS5467	50	3,3	800
3	Bus 5-6	Caled BS6622	50	6,6	600
4	Bus 6-7	Caled BS6623	50	6,6	500

Tabel 5. Data Beban

ID	Teg. (kV)	Kap. (MVA)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVar)	%PF
Static Load 1	6,6	10	8,5	5,268	85
Static Load 2	3,3	3	2,4	1,8	80
Lump Load 1	3,3	5	4,25	2,634	85
Lump Load 2	6,6	2	1,7	1,054	85
Lump Load 3	6,6	5	4,25	2,634	85

3. Teknik dan Instrument Pengumpulan Data

Penelitian berbasis simulasi ETAP, data tidak diperoleh dari pengukuran lapangan, tetapi dikumpulkan melalui:

a) Input data simulasi

Input data simulasi disusun berdasarkan *single line diagram* sistem distribusi industri yang dianalisis. Setiap komponen dimodelkan pada perangkat lunak ETAP 2021 sesuai parameter teknisnya, meliputi kapasitas sumber, impedansi transformator, karakteristik kabel, rating pemutus tenaga, setting proteksi, serta jenis dan parameter bus. Nilai impedansi saluran, nominal tegangan, arus hubung singkat, serta rating peralatan diambil dari *library* standar ETAP yang merujuk pada data aktual. Parameter khusus untuk analisis *arc-flash* ditetapkan sesuai ketentuan IEEE 1584-2018, meliputi *electrode configuration*, *gap distance*, *enclosure size*, *working distance*, dan arus *bolted fault* untuk masing-masing bus.

Konfigurasi proteksi pada setiap bus, termasuk *relay overcurrent*, setting waktu kerja pemutus, serta koordinasi proteksi, dimodelkan untuk memperoleh *fault clearing time* (FCT) yang akurat. Semua parameter tersebut kemudian dimasukkan ke dalam modul *Arc-Flash Analysis* sehingga simulasi dapat memberikan keluaran berupa *incident energy*, *arc-flash boundary*, dan *PPE category*.

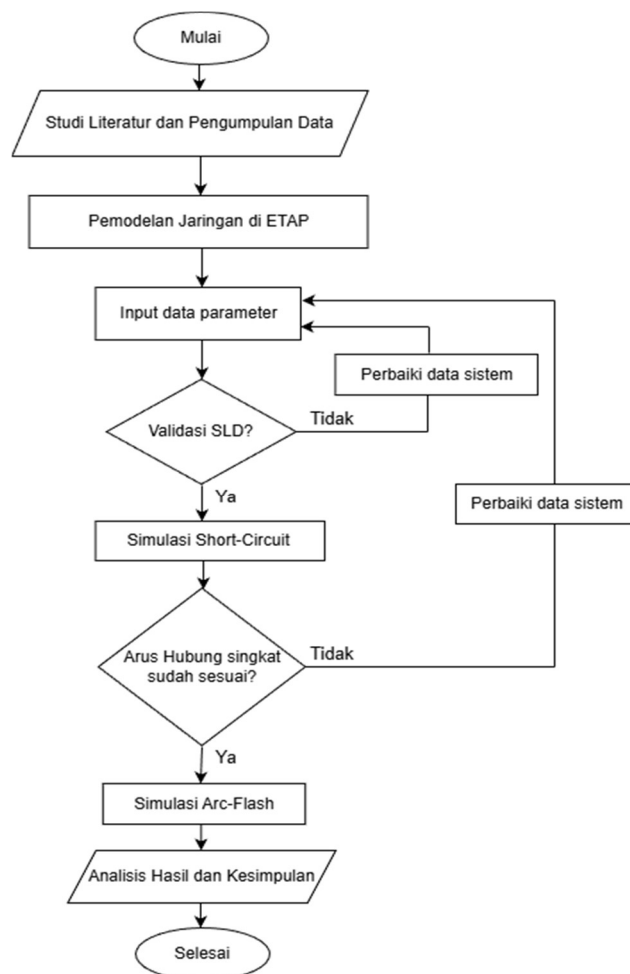
b) Dokumentasi Hasil Simulasi

Berupa:

- a. Diagram Satu Garis Sistem (*Single Line Diagram*)
- b. *Incident Energy* dan *Arc-Flash Boundary*
- c. *Arc-Flash Labels* Panel 4, 6, dan 7
- d. Laporan ETAP (*Arc Flash Report*)

4. Diagram Alir Penelitian

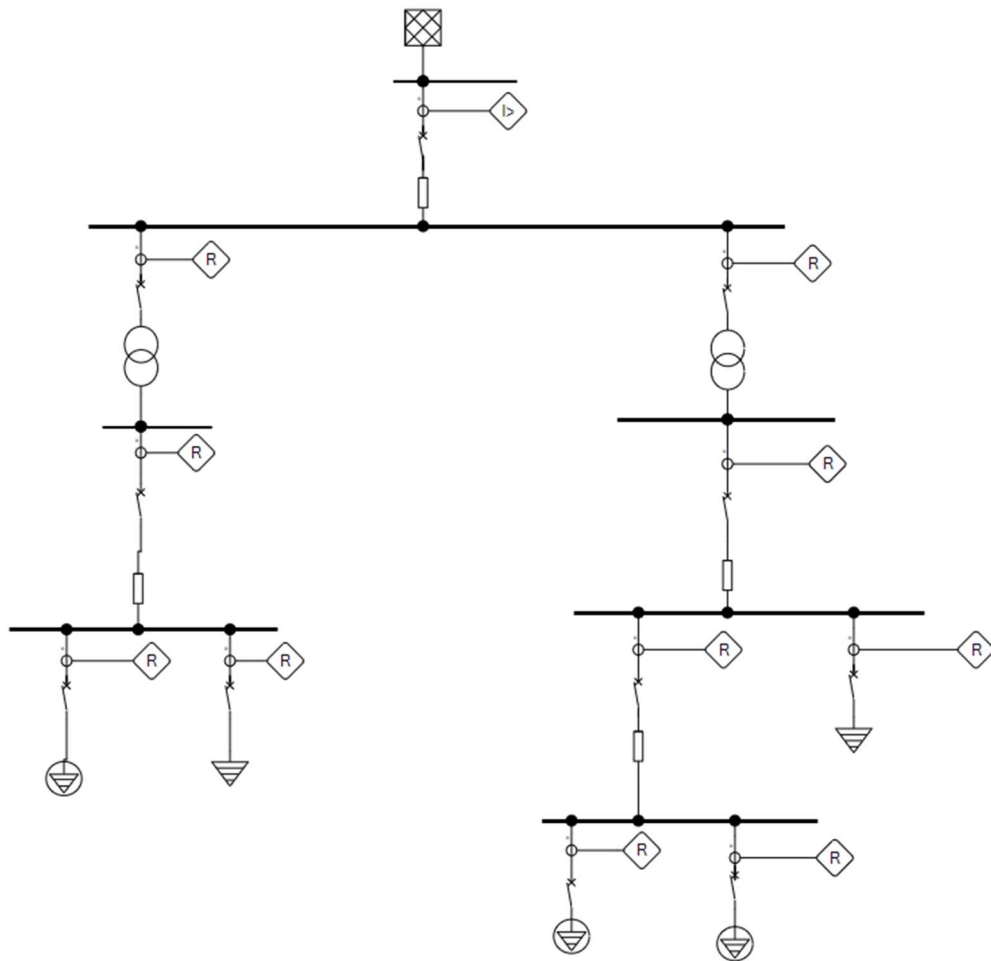
Berikut ini merupakan diagram alir (*flowchart*) dari penelitian yang dilakukan:



Gambar 3. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilaksanakan secara simulatif di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Negeri Medan dalam rentang waktu November - Desember 2025 menggunakan perangkat lunak ETAP 2021. Simulasi dijalankan berdasarkan parameter sistem tenaga yang dimasukkan secara eksperimental dan bersumber dari standar IEC/IEEE serta literatur terkait, meliputi rating jaringan, impedansi transformator, impedansi saluran, serta nilai arus beban nominal setiap CT. Hasil keluaran *Arc-Flash* yang menjadi objek pengamatan utama mencakup *arcing current* (I_a''), *bolted fault current* (I_{bf}), *Fault Clearing Time* (FCT), *Incident Energy* (IE) pada jarak kerja standar 45,7 cm, *Arc-Flash Boundary* (AFB), dan kategori bahaya (NFPA 70E). Untuk ringkasan dan analisis fokus, dokumentasi hasil difokuskan pada tiga titik uji (bus): Bus 4, Bus 6, dan Bus 7 sesuai rancangan penelitian.



Gambar 4. Single Line Diagram Sistem Distribusi Industri Multi-Bus

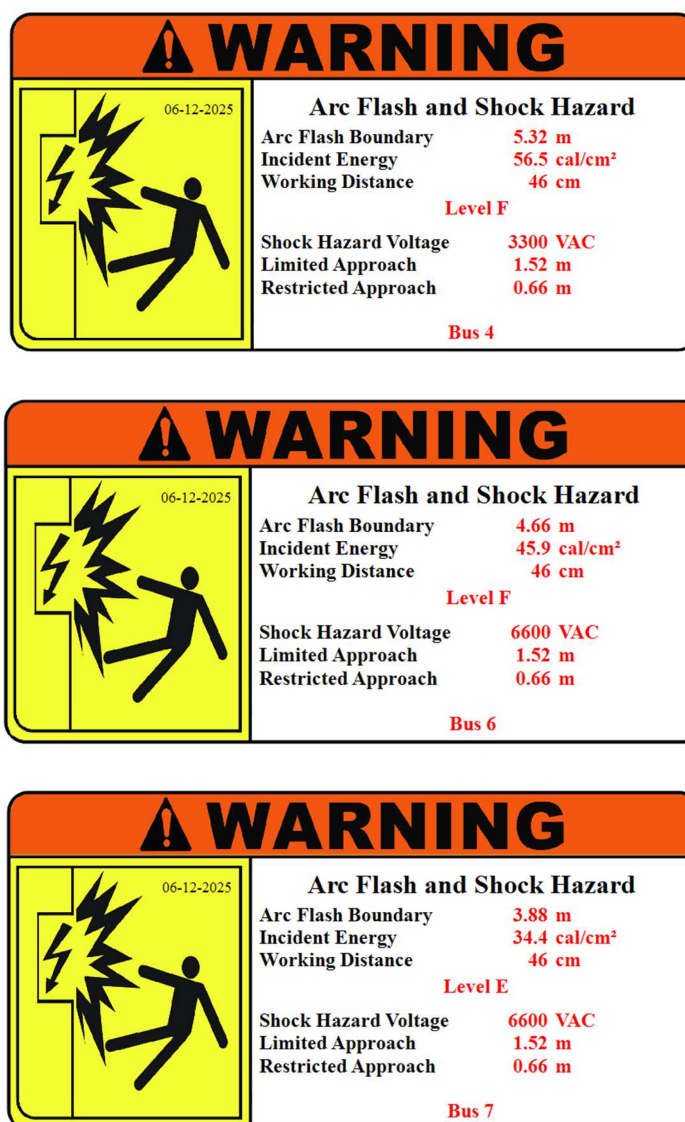
1. Tabel Ringkasan Hasil Arc-Flash pada Titik Uji

Tabel 6 berikut menampilkan ringkasan numerik hasil *Arc-Flash* yang diambil dari *output* ETAP untuk bus yang diuji.

Tabel 6. Hasil *Arc Flash Analysis* dengan metode kalkulasi $\frac{1}{2}$ Cycle

Bus (Titik Uji)	Ia" (kA)	Ibf (kA)	FCT (Cycles)	IE (cal/cm ²)	AFB (m)	Kategori NFPA
Bus 4	25.456	28.588	35.3	56.52	5.324	F.
Bus 6	23.024	25.232	35.3	45.90	4.663	F.
Bus 7	21.906	23.990	27.8	34.40	3.880	E.

Gambar 5 merupakan hasil *Arc-Flash label* untuk pada tiga titik uji (bus): Bus 4, Bus 6, dan Bus 7.



Gambar 5. Output Arc-Flash Label ETAP untuk Bus 4, Bus 6, dan Bus 7

2. Interpretasi Hasil per Titik Uji

a. Bus 4

Hasil menunjukkan *arcing current* I_a sebesar ≈ 25.46 kA dan *Incident Energy* sebesar ≈ 56.52 cal/cm² pada jarak kerja 45,7 cm, menghasilkan *Arc-Flash Boundary* 5.324 m dan diklasifikasikan sebagai *Level F* menurut NFPA 70E. Nilai IE ini mengindikasikan bahaya termal yang sangat tinggi sehingga memerlukan tingkat perlindungan pribadi (PPE) sesuai Level F. Faktor penyumbang utama besarnya IE pada Bus 4 adalah tingginya *arcing current* yang bersumber dari kontribusi *bolted-fault* dari sisi jaringan utama serta nilai *Fault Clearing Time* yang bersifat relatif singkat namun masih menghasilkan energi besar karena magnitudo *arcing current* yang tinggi. Mitigasi yang disarankan ialah peningkatan koordinasi proteksi dengan mengurangi FCT efektif, pemasangan pembatas arus *inrush/arc-reducing devices*, dan perancangan parameter kerja yang sesuai AFB.

b. Bus 6

Bus 6 menunjukkan $I_a \approx 23.02$ kA dan $IE \approx 45.90$ cal/cm², menghasilkan AFB ≈ 4.66 m dan kategori *Level F*. Meskipun nilai I_a sedikit lebih rendah dibanding Bus 4, IE masih berada pada kisaran sangat berbahaya. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa *clearing device* pada jalur gangguan di Bus 6 memberikan waktu pemutusan yang mempengaruhi IE. Oleh karena itu, pengurangan FCT melalui pengaturan *pickup/instantaneous relay* dapat menurunkan IE secara signifikan.

c. Bus 7

Bus 7 menghasilkan $I_a \approx 21.91$ kA dan $IE \approx 34.40$ cal/cm² dengan AFB ≈ 3.88 m, diklasifikasikan *Level E*. Perbedaan kategori dibanding Bus 4 dan Bus 6 disebabkan kombinasi I_a dan FCT yang menghasilkan energi terpapar lebih rendah. Meski demikian Level E masih memerlukan PPE tingkat tinggi dan tindakan mitigasi operasi. Untuk Bus 7, rekomendasi dapat berfokus pada peninjauan *layout panel* dan pengurangan *exposure distance* bila memungkinkan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh telah bersesuaian dengan perhitungan IEEE 1584-2018 yang digunakan ETAP sebagai metode penghitungan *arcing current* dan *incident energy* pada *study case* yang digunakan. Interpretasi kategori NFPA 70E juga dilakukan berdasarkan konversi IE ke kategori PPE sebagaimana standar yang telah ditentukan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa analisis bahaya *arc-flash* pada sistem distribusi industri berbasis ETAP dengan acuan IEEE 1584-2018 mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai tingkat energi insiden dan jarak batas aman pada beberapa bus kritis dalam sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Bus 4, Bus 6, dan Bus 7 memiliki kategori bahaya tinggi dengan nilai energi insiden yang signifikan, sehingga diperlukan penerapan prosedur keselamatan dan pengaturan proteksi yang lebih ketat. Temuan ini menegaskan pentingnya evaluasi berkala terhadap koordinasi proteksi dan pemutakhiran data sistem untuk menjaga keselamatan operator dan keandalan sistem distribusi industri.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan data simulatif yang mengacu pada parameter standar, sehingga hasilnya dapat berbeda jika dibandingkan dengan pengukuran langsung pada sistem nyata. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan data lapangan, melakukan verifikasi hasil simulasi dengan pengujian aktual, serta mengembangkan analisis sensitivitas terhadap variasi waktu pemutusan proteksi dan konfigurasi sistem. Selain itu, penerapan metode mitigasi *arc-flash*, seperti pengurangan *clearing time* atau penggunaan peralatan dengan kategori proteksi lebih tinggi, dapat menjadi fokus pengembangan penelitian berikutnya.

DAFTAR REFERENSI

- Abdi, H. (2024). Power system analysis using the ETAP software. *Journal of Electrical and Mechanical Engineering and Technology (JEMAT)*, 12(1), 45–58.
- Adekitan, A. I., & Olabode, T. O. (2020). Analysis of arc flash hazards in industrial power systems using IEEE 1584-2018. *Safety and Health at Work*, 11(4), 510–517.
- Bahadur, I., Mishra, A., & Chaudhary, J. (2024). Analysis of arc flash and mitigation techniques in substation protection of Attariya Substation Nepal. *IOE Graduate Conference Proceedings*, 32–37.
- Cabello, J. R. (2025). Analytical modelling of arc flash consequences in high-voltage systems. *Energies*, 16(8), Article 425.
- Chauhan, S. N., Pujara, S. M., Makhijani, P. K., & Kotwal, C. D. (2019). Arc flash analysis of medium voltage level power system using ETAP. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 7(3), 212–219. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v7i3.212219>
- Das, J. C. (2020). *Arc flash hazard analysis and mitigation* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Dzulfikar, S., Trihasto, A., & Pravitasari, D. (2022). Analisis sistem proteksi terhadap bahaya busur api (*arc flash*). *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*, 2747–1217.

- Friday, A. O., Aghaukwu, C. N., & Simon, I. O. (2022). Electrical arc flash safety detection in power distribution network. *Journal of Engineering Studies and Research*, 28(4), 61–70. <https://doi.org/10.29081/jesr.v28i4.007>
- Gana, M. A., Bukar, A., & Smaila, Y. A. (2023). Arc flash study of IEEE 8 bus test system using digital simulation and electrical network analysis platform. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology & Environment*, 19(2), 257–270.
- Gündüz, B., Dindar, B., & Gül, Ö. (2021). Arc-flash hazard calculations in an electrical distribution system with distributed generation for electrical safety audit. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 11(5), 509–516. <https://doi.org/10.18280/ijssse.110502>
- IEEE Industry Applications Society. (2018). *IEEE Std 1584-2018: IEEE guide for performing arc-flash hazard calculations*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2018.8553457>
- Maulana, M., Sulistyono, & Farsa, F. (2023). Pengaruh setting OCR terhadap arc flash saat short circuit penyulang AK19 substation diesel PT KDL. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(2), 78–82. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i2.004>
- Nguyen, N. N., & Nguyen, N. T. (2025). Arc flash analysis using ETAP platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 2949, Article 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2949/1/012019>
- Nowak, K. (2021). The possibilities to reduce arc flash exposure with power electronic-based solutions. *Energies*, 14(7), 1927. <https://doi.org/10.3390/en14071927>
- Prahesti, F. E., Indrawati, E. M., Delfianti, R., & Ukhti, V. A. (2023). Protection coordination analysis study considering the arc flash in the electrical system of PLTU Paiton Unit III using IEEE Standard 1584-2002. *Jurnal Edukasi Elektro*, 7(2), 121–132.
- Rahmadani, A., & Prastiyo, A. A. (2023). Sistem pendeteksi arc flash pada sambungan jaringan tegangan rendah dengan sensor LDR berbasis Telegram. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(1), 18–22. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i1.004>
- Rai, I. B., Mishra, A., & Chaudhary, J. (2024). Analysis of arc flash and mitigation techniques in substation protection of Attariya Substation Nepal. *IOE Graduate Conference Proceedings*, 32–37.
- Turcomat Editorial. (2021). Arc flash analysis based on IEEE 1584-2018 and NFPA 70E. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 8(4), 1203–1215.
- Yusnianti, R. S., Pujiantara, M., & Anam, S. (2022). Evaluasi sistem koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan busur api pada substation Tursina Timur PT. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), B84–B89.
- Zenodo / HBRP Publication. (2022). *Arc flash studies in a 33 kV primary distribution network*. HBRP Publication.