

ANALISIS RISIKO ARC FLASH MENGGUNAKAN ETAP PADA BUS TEGANGAN MENENGAH DAN RENDAH

Akhmad Selmy Jayyidi¹⁾, Hendro Agus Widodo²⁾, dan Rona Riantini³⁾

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Pogram Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111
^{2,3}Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: akhmad.selmy@gmail.com

Abstract

The coordination protection system can be optimize in the steam power plant company which is located in Paiton, Probolinggo in order to minimize distrubtion risks. It is done by optimizing the coordination protection system. The reasearch is started by finding short circuit on 16 switchgears of steam power plant and setting the protection coordination. The next step is analyze the arc of fire based on IEEE 1584-2002 standard to determine the magnitude of incident energy and determine the safety limit for workers also determine personal protective equipment (PPE) according to the level of fire arc energy incidents with NFPA 70E 2015 standard. The result of this project is the maximum short circuit found on 7EP-LC-B22 switchgear with value 194.10 kA. The biggest energy incident value is found on 7EN-SWGR-C1 switchgear with a value of 28.74 (cal/cm²). After resetting the coordination of protection, the incident value of energy decrease on the 7EM-SWGR-A switchgear which was originally 12.31 (cal/cm²) to 12.11 (cal/cm²). The incident energy increase on the 7EP-LC-B1A1 switchgear which was originally 2.92 (cal/cm²) to 11,34 (cal/cm²). Control is performed by resetting the protection coordination, labelling each switchgear, and the obligate the workers to use personal protective equipment according to the level of fire arc energy incident.

Keywords: *Arc Flash, ETAP, IEEE 1584-2002, NFPA 70E 2015, Protection Coordinate*

Abstrak

Sistem proteksi koordinasi dapat dioptimalkan pada perusahaan pembangkit listrik yang berlokasi di Paiton, Probolinggo dengan upaya untuk mencapai salah satu tujuan yaitu dapat meminimalisir risiko terjadinya gangguan. Hal tersebut dilakukan dengan optimalisasi sistem proteksi koordinasi. Penelitian diawali dengan mencari arus hubung singkat pada 16 busbar PLTU dan melakukan *setting* koordinasi proteksi. Selanjutnya menganalisis busur api sesuai standard IEEE 1584-2002 untuk menentukan besarnya insiden energi dan menentukan batas keamanan untuk para pekerja serta menentukan *personal protective equipment (PPE)* sesuai level insiden energi busur api sesuai standard NFPA 70E 2015. Hasil dari penelitian ini adalah arus hubung singkat maksimum terdapat pada busbar 7EP-LC-B22 dengan nilai 194,10 kA. Nilai insiden energi terbesar terdapat pada busbar 7EN-SWGR-C1 dengan nilai 28,74 (cal/cm²). Setelah dilakukan *resetting* koordinasi proteksi, nilai insiden energi mengalami penurunan pada busbar 7EM-SWGR-A yang semula 12,31 (cal/cm²) menjadi 12,11 (cal/cm²). Insiden energi juga mengalami kenaikan pada busbar 7EP-LC-B1A1 yang awalnya 2,92 (cal/cm²) menjadi 11,34 (cal/cm²). Pengendalian dilakukan dengan *resetting* ulang koordinasi proteksi dan memberikan label pada setiap busbar serta mewajibkan pekerja menggunakan alat pelindung diri sesuai dengan level insiden energi busur api.

Kata Kunci: *Arc Flash, ETAP, IEEE 1584-2002, Koordinasi Proteksi, NFPA 70E 2015*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam berbagai kegiatan. Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Salah satu perusahaan swasta yang mengoperasikan dan memelihara pembangkit listrik berbahan bakar batubara milik Paiton Energy, dalam area PLTU Paiton Probolinggo, perusahaan ini mengupayakan menjadikan sistem kelistrikan Jawa-Bali yang baik. Dengan kapasitas yang besar, pembangkit tersebut sangat berpengaruh terhadap permintaan beban di daerah Jawa-Bali, sehingga dibutuhkan keandalan dan kontinuitas yang sangat tinggi.

Tidak dapat dipungkiri bahwa setiap perusahaan menginginkan sistem produksinya berjalan lancar dengan kualitas yang bagus. Untuk mencapai tujuan perusahaan tersebut ditujukan agar kebutuhan listrik masyarakat dapat terpenuhi dan risiko terjadinya gangguan dapat diminimalisir. Hal itu perlu diperhatikan karena tidak menutup kemungkinan bahwa setiap kegiatan produksi perusahaan memiliki risiko di dalamnya. Salah satu bentuk minimalisir risiko yang dilakukan di perusahaan pembangkit listrik adalah dengan mengoptimalkan sistem proteksi (Ukhti, 2017).

Arc flash merupakan fenomena percikan api sebagai akibat adanya arus hubung singkat pada sistem tenaga listrik. *Arc flash* ini sangat berbahaya apabila tidak diperhitungkan pada sistem proteksi tenaga listrik, akibat yang ditimbulkan oleh *arc flash* bisa merusak peralatan bahkan bisa membahayakan keselamatan dan nyawa dari pekerja. Sehingga dengan melakukan perhitungan *arcing current* dan *incident energy* akan diketahui level energi bahaya *arc flash* yang mungkin terjadi. Seperti yang sudah diketahui bahwa sistem proteksi dapat berfungsi melokalisir gangguan dan mengamankan peralatan instalasi terhadap gangguan. *Electric Transient Analysis Program* merupakan suatu *software* untuk *power system* yang bekerja berdasarkan *plant*. ETAP dapat melakukan penggambaran *single line diagram* dan dapat digunakan untuk analisis aliran daya, hubung singkat, harmonisa sistem listrik dan koordinasi proteksi. Analisis risiko ini dilakukan dengan studi kasus pada PLTU. Hal tersebut dilakukan karena banyak kegiatan ataupun perbaikan di PLTU yang merupakan area yang sangat vital dan penting untuk di tinjau Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan arus hubung singkat pada PLTU, menentukan insiden energi pada PLTU, dan membuat rekomendasi yang diperlukan untuk mengurangi risiko potensi bahaya pada PLTU.

METODE PENELITIAN

Dalam melaksanakan penelitian memerlukan proses penelitian yang terstruktur. Dimulai dari identifikasi beberapa masalah dan menetapkan tujuan serta batasan masalah. Studi lapangan mengamati proses produksi, proses perbaikan untuk pengendalian bahaya. Melaksanakan studi literatur pada penelitian sebelumnya untuk pertimbangan dan acuan. Pengumpulan data primer dari hasil observasi lapangan, wawancara, mempelajari kondisi sistem kelistrikan pada PLTU dan risiko yang ditimbulkan. Data sekunder yang dibutuhkan meliputi *single line diagram*, *gap conductor*, spesifikasi generator, busbar, trafo, motor, besar arus dan tegangan.

Langkah selanjutnya menggunakan *software* ETAP untuk menganalisis *power system* yang bekerja berdasarkan *plant*. ETAP *Power Station* dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisis yakni aliran daya dan hubung singkat untuk mengetahui besarnya hubung singkat maksimum dan minimum yang digunakan untuk koordinasi proteksi dan memperbaiki apabila belum sesuai.

Kemudian dilakukan perhitungan insiden energi untuk level tegangan kurang dari 1kV dan untuk level tegangan 1kV-15kV (IEEE Std 1584, 2002). Perhitungan *arcing current* pada level tegangan di bawah 1kV dapat menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 untuk level tegangan 1kV-15kV seperti berikut ini.

$$\log I_a = K + 0,662 \log I_{bf} + 0,0966V + 0,000526G + 0,5588V(\log I_{bf}) - 0,00304G(\log I_{bf}) \quad (1)$$

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log I_{bf} \quad (2)$$

Setelah nilai *arcing current* diketahui maka nilai dari *incident energy* normalisasi dapat dihitung. Persamaan 3 berikut ini.

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log I_a + 0,0011G \quad (3)$$

Setelah nilai E_n didapatkan, untuk menghitung besar insiden energi E digunakan Persamaan 4 berikut ini.

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

Kemudian menghitung *Flash protection boundary* dengan menggunakan Persamaan 5 berikut ini.

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (5)$$

Setelah dilakukan perhitungan energi busur api pada setiap bus. Selanjutnya adalah pengelompokkan alat pelindung diri yang harus digunakan pada setiap orang saat memasuki area tersebut. Kategori ini berdasarkan dari besarnya energi yang dihasilkan serta dampak yang ditimbulkan bagi tubuh manusia diatur dalam standard NFPA 70E 2015. Langkah akhir membuat kesimpulan dan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan.

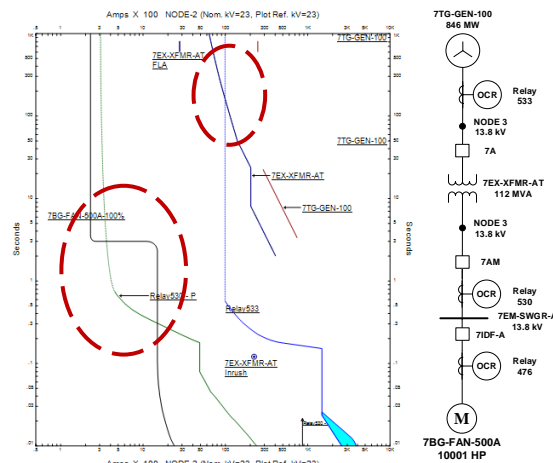
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Arus Hubung Singkat

Analisis hubung singkat untuk mengetahui nilai arus hubung singkat pada titik gangguan. Arus hubung singkat minimum pada saat gangguan 2 fasa atau 30 *cycle* dan pembangkitan minimum. Sedangkan arus hubung singkat maksimum pada saat gangguan 3 fasa atau ½ *cycle* dan pada saat pembangkitan yang maksimum. Dengan menggunakan nilai arus hubung singkat tersebut dapat ditentukan *setting* rele arus lebih gangguan fasa. Dari hasil analisis diperoleh arus hubung singkat minimum terdapat pada busbar 7EN-SWGR-A1 (6,9 kV) bernilai 29,67 kA. Sedangkan arus hubung singkat maksimum terdapat pada busbar 7EP-LC-B22 (0,416 kV) bernilai 194,10 kA.

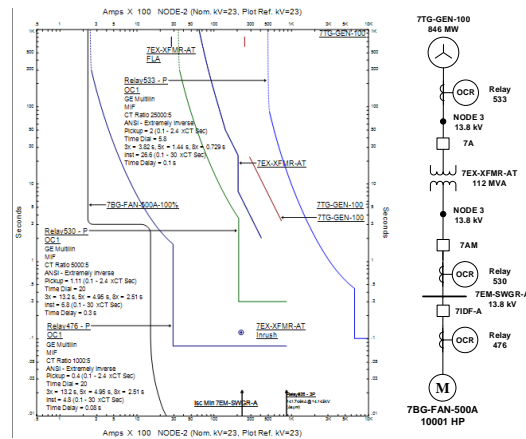
Koordinasi Rele Arus Lebih

Hasil analisis kurva TCC dilakukan *ploting* pada *single line diagram* tipikal pada saat kondisi *eksisting* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. TCC Tipikal Kondisi Eksisting
 Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Hasil analisis menunjukkan saat motor 7BG-FAN-500A *starting*, rele 530 aktif maka akan menyebabkan motor mati. Hal ini dikarenakan kurva motor dengan rele 530 bersinggungan. Dapat dilihat pula kurva trafo 7EX-XFMR-AT bersinggungan dengan rele 533. Hal tersebut tidak diperbolehkan karena rele untuk trafo bersinggungan akan menyebabkan rele merasakan gangguan dan akan memerintah *circuit breaker* untuk membuka sehingga tidak dapat bekerja. Hasil kurva diatas diketahui bahwa *setting* rele perlu diperbaiki. Hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan, maka diplot kurva TCC kondisi *resetting* seperti pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. TCC Tipikal Kondisi Resetting
 Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Hasil plot dari *setting* rele yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan. Dapat dilihat bahwa ada tiga kurva yang mempresentasikan tiga rele yang sudah terkoordinasi dengan baik. Hasil plot *setting* ini sudah aman karena I_{sc} minimum motor 7BG-FAN-500A mengenai kurva instan.

Perhitungan insiden energi busur api

Dalam perhitungan manual insiden energi busur api dilakukan perwakilan busbar 7EM-SWGR-A (13,8 kV) dengan level tegangan menengah 1-15 kV pada saat kondisi *Resetting*.

Arcing Current (I_a)

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

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log 86,41$$

$$\log I_a = 1,91$$

$$I_a = 10^{1,91}$$

$$I_a = 80,85 \text{ kA}$$

Incident Energy Normalized (E_n)

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

$$\log E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,91) + (0,0011 \times 153)$$

$$\log E_n = 1,56$$

$$E_n = 10^{1,56}$$

$$E_n = 36,52 \text{ J / cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1 \times 35,52 \left(\frac{0,100}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 51,76 \text{ J / cm}^2$$

$$E = 12,37 \text{ cal / cm}^2$$

Hasil simulasi perhitungan insiden energi busur api menggunakan *software* ETAP pada level tegangan menengah PLTU. Diperoleh hasil simulasi pada busbar 7EM-SWGR-A bernilai 12,11 cal/cm².

Perhitungan *flash protection boundary*

Dalam perhitungan manual *flash protection boundary* dilakukan perwakilan busbar 7EM-SWGR-A (13,8 kV) level tegangan menengah pada saat kondisi *Resetting*.

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 36,52 \left(\frac{0,100}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 10053,35 \text{ mm}$$



$$D_B = 10,05 \text{ m}$$

Hasil simulasi perhitungan *flash protection boundary* menggunakan *software* ETAP pada level tegangan menengah PLTU. Diperoleh hasil simulasi pada busbar 7EM-SWGR-A bernilai 9,84 m.

Alat Pelindung Diri

Berdasarkan hasil analisa busur api yang dilakukan untuk kondisi *resetting* diperoleh nilai insiden energi busur api, maka dapat dikategorikan level insiden energi sesuai standard NFPA 70E 2015 dan alat pelindung diri yang harus dipakai sesuai level insiden energi busur api. Jenis PPE pada bus yang dianalisa dapat dilihat pada Tabel 1. dibawah ini.

Tabel 1.
 Jenis PPE Berdasarkan Kategori Insiden Energi Busur Api

ID Bus	Tegangan (kV)	Kategori	Deskripsi Pakaian	APD	Label
7EM-SWGR-A	13,8	Level 3	<i>Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus FR coverall, or cotton underwear plus two FR coveralls</i>		

Sumber: Penulis, Tahun 2018

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Dari hasil analisis arus hubung singkat pada 16 busbar, arus hubung singkat maksimum pada busbar 7EP-LC-B22 bernilai 194,10 kA. Sedangkan arus hubung singkat minimum pada busbar 7EN-SWGR-A1 bernilai 29,67 kA. Analisis insiden energi dilakukan pada 16 busbar dalam dua kondisi. Dalam kondisi *eksisting* insiden energi terbesar pada busbar 7EN-SWGR-C1 bernilai 28,74 (cal/cm²). Dalam kondisi *resetting* insiden energi terbesar pada busbar 7EN-SWGR-C1 bernilai 26,90 (cal/cm²). Hasil analisis setelah *resetting* koordinasi proteksi, insiden energi mengalami perubahan. Insiden energi turun pada 8 busbar, misalnya busbar 7EM-SWGR-A 12,31 (cal/cm²) turun menjadi 12,11 (cal/cm²). Insiden energi naik pada 4 busbar, misalnya busbar 7EP-LC-B1A1 2,92 (cal/cm²) naik menjadi 11,34 (cal/cm²). Insiden energi tetap pada 4 busbar, misalnya busbar 7EP-LC-A1A1 3,72 (cal/cm²). Pengendalian untuk mengurangi risiko bahaya dengan melakukan *resetting* ulang pada koordinasi proteksi apabila terdapat kesalahan, efek dari *resetting* membuat insiden energi mengalami perubahan. Setiap lokasi pekerjaan diberi label untuk mengetahui bahaya pada lokasi tersebut. Menggunakan alat pelindung diri disesuaikan dengan kondisi dan jarak pekerja terhadap sumber bahaya listrik dan besar paparan yang didapatkan.

Saran yang dapat menjadi masukan untuk penelitian kedepannya dilakukan analisis busur api pada busbar tegangan tinggi. Analisis busur api hanya dapat menurunkan arus hubung singkat dan insiden energi, agar nantinya dapat mengurangi risiko bahaya pada saat bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, P.E, B. & Services, S. D. E., n.d. Arc Flash Hazard Considerations. Volume Section 12. IEEE Std 1584. (2002). *IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

- LIPIST. (2017). *Modul Electrical Transient Analysis Program*. Surabaya: Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mardensyah, A., 2008. *Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama - Pulomas*. Depok: Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Muchlis, A. (2016). Proyeksi Kebutuhan Listrik Tahun 2015 S.D 2020. pp 19-20.
- NFPA. (2015). *NFPA 70E - Standar for Electrical Safety in the Workplace* (2015 ed.). Batterymarch Park, Quincy, An International Codes and Standards Organization.
- POMI. (2017). *Gambaran Umum Perusahaan*. Probolinggo: PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia.
- Pujiantara, M., 2016. *Kuliah Desain Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prahesti, F. E. (2017). Studi Koordinasi Proteksi Pada PT. Petro Oxo Nusantara Gresik Dengan Mempertimbangkan Arc Flash. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1*, 1-6.
- Ukhti, V. A. (2017). *Studi Koordinasi proteksi Dengan Mempertimbangkan Arc Flash Pada PLTU Paiton Unit 3*. Surabaya: Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wahyudi, I. R., 2008. *Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.