

IDENTIFIKASI BAHAYA LISTRIK MELALUI ANALISIS ARC FLASH DI PENYULANG BEKASAP 6 PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA DURI

Wahyudi Budi Pramono^{1*}, Lestari Indah Susanti¹, Warindi²

¹ Program Studi Teknik Elektro, FTI, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
Jl. Kaliurang km14,5 Sleman Yogyakarta

² Program Studi Teknik Elektro, FT, Universitas Mataram

*Email: wahyudibudip@gmail.com

Abstrak

Sistem proteksi merupakan suatu sistem pengaman terhadap peralatan listrik. jika terjadi gangguan. Salah satu bahaya listrik adalah arc flash. Arc flash merupakan ledakan panas, gas panas, dan logam cair yang diakibatkan oleh short circuit (arus pendek) pada peralatan. Studi short circuit diperlukan dalam analisis peristiwa arc flash. Tujuan dari analisis ini untuk menentukan insiden energi yang berpotensi terjadi selama peristiwa arc flash serta lama waktu terjadinya. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. pada semua bus di Penyulang Bekasap 6 PT Chevron Pacific Indonesia. Simulasi diawali dengan studi hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat saluran ke ground dengan tujuan mengetahui besarnya arus gangguan pada setiap bus. Nilai arus ini digunakan untuk menentukan potensi besarnya tingkat bahaya dari arc flash. Tingkat bahaya arc flash dikategorikan dalam skala 0-4. Nilai kategori bahayanya akan dapat ditentukan alat perlindungan diri dalam bekerja dan label peringatan bahaya arc flash agar dapat menghindari resiko kecelakaan bagi pekerja. Hasil simulasi dan perhitungan energi arc flash maka didapatkan semua bus tidak ada yang masuk dalam kategori 4. Energi arc flash terbesar terjadi di bus 4 dan bus 5 sehingga kedua bus tersebut masuk dalam kategori 3. Potensi besarnya energi arc flash dipengaruhi oleh durasi waktu terjadinya arc flash dan besarnya arus gangguan, sehingga dengan kategori tersebut dapat ditentukan standar alat pelindung diri pekerja dan label arc flash.

***Kata kunci:** alat perlindungan diri, arc flash, Etap, label bahaya arc flash, short circuit.*

1. PENDAHULUAN

PT Chevron Pacific Indonesia adalah kontraktor BP Migas yang bergerak di bidang perminyakan dan merupakan perusahaan minyak asing yang terbesar di Indonesia. Isu keselamatan kerja menjadi perhatian utama baik untuk pekerja, peralatan dan lingkungan. PT Chevron Pacific Indonesia perlu melakukan identifikasi bahaya listrik dengan analisis *arc flash* khususnya pada *switchgear* tegangan menengah.

Menurut Konsul kepedulian keselamatan tempat kerja, *Arc flash* merupakan ledakan panas, gas panas, dan logam cair yang diakibatkan oleh *short circuit* (arus pendek) pada peralatan dan *arc flash* merupakan total energi yang dilepaskan ketika terjadi gangguan hubung singkat. Energi dilepaskan melalui udara mengalir ke konduktor lain atau mengalir ke tanah. Energi dari *arc flash* akan menyebabkan cedera serius dan bahkan kematian apabila mengenai manusia. Berbagai faktor yang dapat menentukan cedera akibat *arc flash* adalah adanya penaruh suhu, lama waktu pengaman ketika memutuskan dan kedekatan manusia dengan sumber *arc flash*.

Sistem proteksi dapat berfungsi melokalisir gangguan dan mengamankan peralatan instalasi terhadap gangguan. Ini berarti apabila terjadi gangguan di suatu bagian instalasi, sistem proteksi hanya akan men-*trip* PMT yang berdekatan dengan gangguan sehingga interupsi pasokan daya dapat dilakukan di sekitar tempat terjadinya gangguan saja (tidak meluas) (Marsudi, 2005). Studi *short circuit* diperlukan dalam analisis peristiwa *arc flash*. Tujuan dari analisis ini untuk menentukan insiden energi yang berpotensi hadir selama peristiwa *arc flash* serta lama waktu dari terjadinya energi *arc flash*.

Simulasi ini dilakukan dengan bantuan *software* ETAP 12.6.0. Dari hasil analisa tersebut diharapkan syarat dari kategori besarnya energi *arc flash* dapat terpenuhi pada kelistrikan pada Penyulang Bekasap 6 di PT Chevron Pacific Indonesia Duri. Dengan demikian tercapainya nilai tersebut dengan pengaturan besar energinya yang memenuhi standart NFPA 70 E, yang dapat melindungi pekerja terkena dampak bahaya serta peralatan-peralatan kelistrikan di Penyulang Bekasap 6 PT Chevron Pacific Indonesia Duri terhindar dari kerusakan dan kebakaran.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan metode pengukuran, pengambilan data lapangan dan pemograman dan perhitungan data terhadap Penyulang Bekasap 6 di PT Chevron Pacific Indonesia. Data-data tersebut terdiri dari data jenis relai, *feeder*, *circuit breaker*, dan *recloser* serta data beban. *One line* diagram pada Penyulang Bekasap 6 ini beban dibagi menjadi 3 dalam satu jaringan bus 2 yang masing-masing mempunyai nilai tegangan 13,8 kV. Tinjauan pokok dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisa nilai *arc flash* yang terjadi pada sistem kelistrikan Penyulang Bekasap 6 PT Chevron Pacific Indonesia. *One line* diagram Penyulang Bekasap 6 dimodelkan dan disimulasikan dengan bantuan software ETAP 12.6.0.

Dua poin besar dalam penelitian ini adalah mensimulasikan gangguan *arc flash* pada *one line diagram* di Penyulang Bekasap 6 PT Chevron Pacific Indonesia, Setelah mendapatkan nilai *arc flash* maka akan diubah dalam bentuk nilai perhitungan berdasarkan persamaan untuk pencarian energi *arc flash* dan durasi waktu terjadinya *arc flash*.

Besarnya energi dari *arc flash* dapat dicari dengan menggunakan persamaan (1) (Tinsley dkk, 2005)

$$En = (4.184) C_f \cdot 10^{(K_1 + K_2 + 1.08 \cdot \log(I_a) + 0.0011 \cdot G)} \cdot \left(\frac{t}{0.20}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (1)$$

dengan

- En : Energi dalam J/cm^2
- C_f : Faktor kalkulasi, 1.0 untuk tegangan lebih dari 1 kV dan 1.5 untuk dibawah 1 kV
- K_1 : - 0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi tertutup
- K_2 : 0 untuk tidak diketanahkan dan sistem HRG dan -0.133 untuk sistem diketanahkan
- I_a : Magnitude arus busur api
- G : Jarak antar konduktor (mm)
- t : Durasi busur api
- x : Jarak eksponen

Sedangkan untuk mendapatkan durasi waktu terjadinya *arc flash* digunakan persamaan (2) (Tinsley dkk, 2005)

$$t = \frac{E \cdot (0.20) \cdot 4.1667}{(4.184) C_f \cdot 10^{(K_1 + K_2 + 1.08 \cdot \log(I_a) + 0.0011 \cdot G)} \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)} \quad (2)$$

Hasil perhitungan digunakan untuk mengetahui kategori *arc flash* dalam skala 0 sampai 4. Menurut standart IEEE 1584-2002 terdapat beberapa kategori yang didasarkan kepada besarnya energi dalam satuan cal/cm^2 (NEPA70E, 2009)

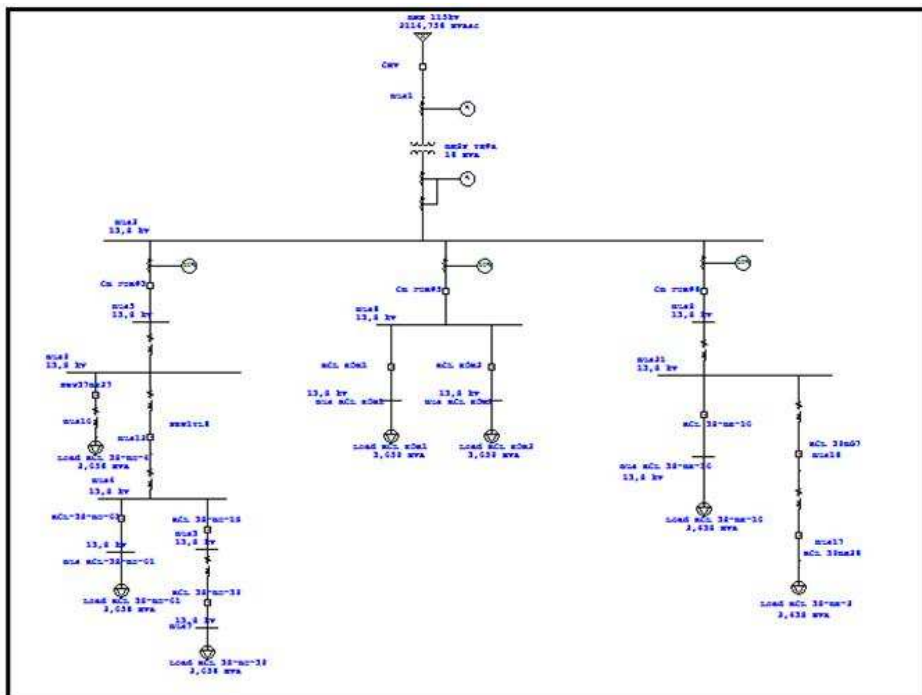
- Kategori 0: besar energi dari 0-1.2 cal/cm^2
- Kategori 1: besar energi lebih dari 1.2 cal/cm^2 sampai 5 cal/cm^2
- Kategori 2: besar energi lebih dari 5 cal/cm^2 sampai 8 cal/cm^2
- Kategori 3: besar energi lebih dari 8 cal/cm^2 sampai 25 cal/cm^2
- Kategori 4: besar energi lebih dari 25 cal/cm^2 sampai 40 cal/cm^2

Pengelompokan kategori energi busur api dilakukan setelah mendapatkan nilai *incident energy* pada setiap bus. Hasil pengelompokan dilanjutkan dengan menentukan perlengkapan keselamatan diri yang harus dipakai oleh pekerja saat berada di area tersebut yang sesuai dengan standar NFPA 70E (Nurhidayat, 2016). Selain itu akan ditentukan pula label peringatan bahaya energi *arc flash* di setiap bus berdasarkan potensi energi *arc flash* yang ditimbulkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan durasi waktu dan energi *arc flash*

Berdasarkan pengaturan koordinasi kondisi eksisting, selanjutnya dilakukan analisa terhadap besarnya energi busur api. Analisa tersebut menggunakan metode standar IEEE 1584-2002 dan NFPA 70 E yang merupakan standar proteksi keamanan listrik. Tujuan dari analisa tersebut adalah untuk mengetahui nilai dari besar energi *arc flash*, durasi waktu *arc flash* dan kategorinya, serta alat pelindung diri untuk mitigasi dari bahaya *arc flash*.



Gambar 1 One line diagram pada Penyulang Bekasap dalam kondisi normal

One line diagram dari penyulang Bekasap 6 dimodelkan dengan software ETAP 12.6.0, sehingga dibutuhkan data peralatan yang terdiri dari data power grid, trafo, kabel, beban dan bus. Analisa arc flash pada bus atau switchgear tegangan menengah yang terdapat dalam bus 2, bus3, bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8, bus 9, bus 21, bus RCL-38-BD-01, bus RCL-EOR-1, bus RCL-EOR-2, bus RCL-38-BE-10. Dilakukan saat terjadi short circuit. Gambar 1 merupakan gambar one line diagram penyulang Bekasap 6. Saat dilakukan studi gangguan hubung singkat maka akan diperoleh besarnya arus gangguan di setiap bus seperti dalam tabel 1.

Tabel 1 Data bus dan perhitungan energi busur api

ID Bus	Tegangan (kV)	Gap (mm)	Factor pengali	I_{bf} (kA)	Work Distance (mm)
Bus 2	13,8	153	0,973	7,4	914,4
Bus3	13,8	153	0,973	4,5	914,4
Bus 4	13,8	153	0,973	4,5	914,4
Bus 5	13,8	153	0,973	4,5	914,4
Bus 6	13,8	153	0,973	7,4	914,4
Bus 7	13,8	153	0,973	3	914,4
Bus 8	13,8	153	0,973	7,4	914,4
Bus 9	13,8	153	0,973	6,3	914,4
Bus 21	13,8	153	0,973	4,6	914,4
Bus RCL-38-BD-01	13,8	153	0,973	4,5	914,4
Bus RCL-EOR-1	13,8	153	0,973	7,4	914,4
Bus RCL-EOR-2	13,8	153	0,973	7,4	914,4

Pencarian nilai durasi waktu terjadinya *arc flash* berdasarkan data yang didapat dari perusahaan. Nilai yang akan dicari adalah energi *arc flash* pada tiap bus dan durasi waktu terjadinya *arc flash*. Data yang diperlukan dalam perhitungan ini terdiri dari ID bus, nilai tegangan (kV), nilai I_{bf} (kA), *work distance* (mm), nilai gap (mm) dan nilai *distance x factor*. Nilai nilai tersebut seperti dalam tabel 1.

Hasil pengamatan pada bus yang ditunjukkan pada tabel 1 akan dilakukan perhitungan untuk mencari durasi waktu dan besarnya energi *arc flash* dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2). Sebagai contoh untuk bus 2, durasi waktu sesuai dengan persamaan (2) maka akan diperoleh

$$t = \frac{5 \cdot (0.20) \cdot 4,1667}{(4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(7,4)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)}$$

$$= \frac{4,2}{6,2} = 0,68 \text{ detik}$$

Waktu tersebut adalah lamanya waktu terjadinya energi *arc flash* yang terjadi saat membuka atau menutupnya suatu pemutus tegangan, pada metode *arc flash* 1/2 cycle. Sedangkan besarnya energi yang dihasilkan sesuai dengan persamaan (1) adalah

$$E_n = (4.184) \cdot 1 \cdot 10^{(-0,555+0+1.081 \cdot \log(7,4)+0.0011 \cdot 153)} \cdot \left(\frac{0,68}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$= 21,33 \text{ J/cm}^2 \times 0,24 = 5,1 \text{ Cal/cm}^2$$

Faktor pengali 0,24 untuk mengubah nilai satuan J/cm² menjadi Cal/cm² sesuai dengan satuan standar NFPA 70 E kategori bahaya listrik. Dengan cara yang sama maka hasil dari durasi waktu dan besarnya energi dari setiap bus dapat dilihat di tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan durasi waktu, besar energi dan kategori *arc flash*




ID Bus	Durasi waktu (detik)	Besar Energi Arc Flash (cal/cm ²)	Kategori
Bus 2	0,68	5,1	2
Bus3	1,2	5,3	2
Bus 4	4,7	21,2	3
Bus 5	1,2	9	3
Bus 6	0,7	5,2	2
Bus 7	0,2	0,72	0
Bus 8	0,2	1,4	1
Bus 9	1	7,5	2
Bus 21	0,7	2,52	1
Bus RCL-38-BD-01	0,7	3,1	1
Bus RCL-EOR-1	0,06	0,45	0
Bus RCL-EOR-2	0,08	0,36	0
Bus RCL-38-BE-10	0,4	1,44	1

Tabel 2 menunjukkan bahwa terdapat dua bus, yaitu bus 4 dan bus 5 dengan nilai energi arc flash yang masuk dalam kategori 3 menurut standar IEEE 1584-2002, dengan energi lebih besar dari 8 cal/cm² sampai 25 cal/cm². Hal ini karena durasi waktu terjadinya arc flash di kedua bus tersebut termasuk yang paling lama, yaitu 4,7 dan 1,2 detik. Sedangkan bus 7, Bus RCL-EOR-1 dan Bus RCL-EOR-2 termasuk dalam kategori 0, karena selain nilai arus gangguannya kecil, durasi waktu terjadinya arc flash juga terlalu singkat, sehingga energi yang dihasilkan juga termasuk kecil.

3.2. Pengelompokan *Personal Protective Equipment (PPE)*

Hasil perhitungan dalam tabel 2 tentang kategori bahaya akan berimplikasi pada karakteristik pakaian pelindung yang harus digunakan oleh pekerja apabila akan melakukan pekerjaan di lokasi sekitar bus tersebut. Spesifikasi pakaian dan perlengkapan pengaman lainnya dapat dirangkum seperti tabel 3 berikut.

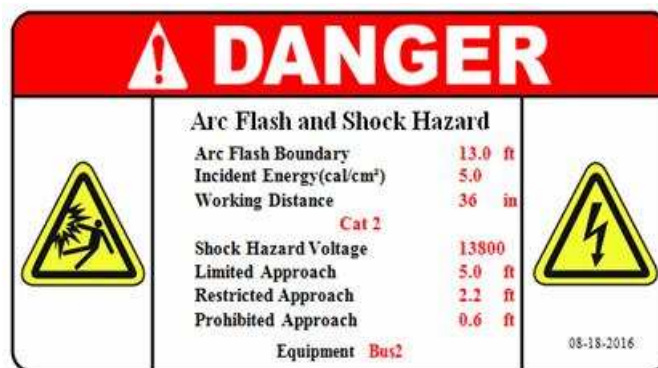
Tabel 3 Karakteristik pakaian pelindung

<i>ID BUS</i>	Kategori Bahaya	Deskripsi Pakaian Pelindung	Satuan Energi cal/cm ²	Pakaian Pelindung (warna baju hanya sebagai contoh)
<i>BUS 7 BUS RCL EOR1 BUS RCL EOR2</i>	0	<ul style="list-style-type: none"> - Baju katun yang menyerap keringat - Baju lengan panjang - Celana panjang - Kacamata pengaman - Pelindung telinga - Sarung tangan Kulit 	N/A (1,2)	
<i>BUS 2 BUS 3 BUS 6 BUS 9</i>	2	<ul style="list-style-type: none"> - Baju katun yang menyerap keringat - Baju kaos lengan pendek - Baju dan celana anti api - Pelindung kepala dan kacamata pengaman - Pelindung telinga - Sarung tangan kulit dan sepatu 	5 - 8	
<i>BUS 4 BUS 5</i>	3	<ul style="list-style-type: none"> -Pakaian dalam katun - Baju kaos lengan pendek - Baju dan celana panjang anti api - Baju kerja anti api - Jaket kerja anti api (25 Cal) - Celana kerja anti api (25 Cal) - Topi kerja anti api (25 Cal) - Pelindung kepala dan kacamata pengaman - Pelindung telinga - Sarung tangan kulit anti api - Sepatu kulit 	8 - 25	

Dari jenis pakaian dan peralatan pengaman lainnya maka semakin tinggi energi yang akan dihasilkan dari proses arc flash sehingga kategorinya semakin tinggi, maka pakaian dan peralatan pengamannya juga semakin lengkap.

3.3. Pembuatan Label *Arc Flash*

Setelah didapatkan jenis pakaian dan peralatan pengaman untuk perlindungan diri maka selanjutnya dilakukan pembuatan label *arc flash* dengan bantuan *software* ETAP 12.6.0. Sebagai contoh, gambar 2 adalah label *arc flash* yang menjelaskan jarak aman kerja pada bus 2 adalah 3,9 meter. Hasil itu didapatkan oleh nilai yang tertera pada label *arc flash* bus 2 pada *arc flash boundary* senilai 13.0 ft yang di konversikan pada satuan meter menjadi 3,9 meter.



Gambar 2 Pembuatan label *arc flash* pada bus 2

Setiap label akan menerangkan batas aman dari energi yang dihasilkan dari proses *arc flash*, besarnya energi yang dihasilkan, rating tegangan, daerah terlarang dan juga identitas busnya. Dengan label ini diharapkan semua pekerja akan dapat mengantisipasi terjadinya kecelakaan dari bahaya *arc flash*.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan adalah.

1. Hasil simulasi dan perhitungan energi arc flash dari *one line diagram* di Penyulang Bekasap 6 semua bus tidak ada yang masuk dalam kategori 4.
2. Energi arc flash terbesar terjadi di bus 4 dan bus 5 sehingga kedua bus tersebut masuk dalam kategori 3.
3. Potensi besarnya energi *arc flash* dipengaruhi oleh durasi waktu terjadinya *arc flash* dan besarnya arus gangguan, sehingga dengan besarnya energi tersebut dapat ditentukan standar alat pelindung diri pekerja dan label *arc flash*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada

1. PT Chevron Pasific Indonesia yang telah memberikan ijin dan menyediakan data untuk penyulang Bekasap 6
2. Program Studi Teknik Elektro FTI UII Yogyakarta yang telah membantu dalam penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Marsudi, Djiteng.(2005), *Pembangkitan Energi Listrik*. Erlangga. Jakarta.
- NFPA 70E.,(2009), *Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2009 Edition*, NFPA 70E-2009.
- Nurhidayat, Yahya.,(2016), *Analisis dan Mitigasi Bahaya Arc Flash Pada Sistem Kelistrikan PT. LINDE Indonesia*, Skripsi, ITS, Surabaya.
- Tinsley, Wallace & Hodder, Michael. (2005), *A Practical Approach to Arc Flash Hazard Analysis and Reduction*. IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 41, No. 1.
- Workplace Safety Awareness Council, *ArcHandout*, Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor