

STUDI INSIDEN ENERGI AKIBAT *ARC FLASH* PADA SUBSTATION 6DN PT.CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Sihar Panaili.O.S*, Amir Hamzah, Suwitno****

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: elektro_sihar@yahoo.com

ABSTRACT

PT. Chevron Pacific Indonesia is an exploration company oil and gas fields, which is one of the combustible material. Therefore, the risk in case of technical and non-technical disruptions that could generate sparks it will be very fatal. One interference that may cause a threat to life safety of the workers is the arc. Large arc energy generated depends on the working time safety system due to short-circuit current interruption, the incident energy calculations will be used as a reference in determining the appropriate safety equipment for workers. From the calculation results based on the IEEE 1584 2002 obtained the magnitude of the incident energy is varied, depend on fault clearing time of protection system.

Keywords : *Arc Flash, Incident Energy*

1.PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan tidak dapat lepas dari yang namanya gangguan kelistrikan, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan bahkan sampai dapat mengancam keselamatan manusia.

Oleh sebab itu dibutuhkan suatu sistem proteksi yang handal untuk meminimalisir gangguan yang terjadi. 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 pasti akan berpengaruh terhadap hasil produksi yang diinginkan.

PT. Chevron Pacific Indonesia suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang eksplorasi minyak dan gas, seperti yang kita ketahui minyak dan gas merupakan salah satu bahan yang mudah terbakar (*flameable*).

Berdasarkan fakta tersebut sistem keamanan dan keselamatan para pekerja sangatlah diutamakan. Hal ini dikarenakan resiko apabila terjadi gangguan teknis maupun non teknis yang dapat memicu percikan api maka akan sangat fatal. Salah satu gangguan yang dapat menyebabkan ancaman terhadap keselamatan jiwa para pekerja adalah akibat busur api (*Arc flash*).

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. Besar energi busur api yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengaman akinat gangguan arus hubung singkat. Semakin cepat rele pengaman bekerja, semakin kecil pula busur api yang terjadi dan berlaku sebaliknya. Studi terhadap busur api ini perlu dilakukan dan 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.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Pembangkit PT.Chevron Pacific Indonesia

Sistem kelistrikan di PT. CPI menggunakan frekuensi 60 Hertz, berbeda dengan frekuensi yang digunakan PT. PLN yang nilainya 50 Hertz. Tegangan pembangkitan di PT. CPI adalah 13,8 kV, yang nantinya dinaikkan dengan *step up transformer* menjadi 115 kV atau 230 kV.

Unit Pembangkitan di PT. CPI terdiri dari:

1. 3 (tiga) unit pembangkit gas turbin yang dioperasikan oleh *North Duri* (COGEN), dengan kapasitas pembangkitan total 272,7 MW.
2. 11 (sebelas) unit pembangkit gas turbin dioperasikan oleh *Minas Gas Turbine* (MGT), dengan kapasitas pembangkitan total 207,7 MW.
3. 1 (satu) unit pembangkit gas turbin yang dioperasikan oleh *Duri Gas Turbine* (DGT), dengan kapasitas pembangkitan total 19,5 MW.
4. 5 (lima) unit pembangkit gas turbin yang dioperasikan oleh *Central Gas Turbine* (CGT), dengan kapasitas pembangkitan total 95,1 MW.

2.2 Busur Api Listrik (*Arc Flash*)

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 di sekeliling busur dipanaskan dan menguap menyebabkan tekanan gelombang yang sering menyebabkan peralatan, bahan isolasi, dan struktur pendukung meledak dengan kekuatan yang mengancam keselamatan.

Awal mula *arc flash* muncul diakibatkan dari adanya *arc fault*. *Arcing fault* sendiri

dapat didefinisikan sebagai aliran arus listrik yang mengalir pada saluran yang seharusnya tidak teraliri arus (*arcing fault current*). Arus tersebut menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang berbahaya. Busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik yang besar melalui udara yang terionisasi.

Arc flash diakibatkan dari *arcing fault* diantara fase bus-bar atau dengan netral (*ground*). Selama *arc fault* terjadi udara merupakan konduktor. Besar *arcing fault current* biasanya lebih rendah dari besar arus *bolted fault*.

Plasma energi yang dihasilkan dapat menimbulkan beberapa efek fisik antara lain berupa ledakan bola api yang terhempas ke luar, panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang parah, cahaya yang menyilaukan, gelombang bertekanan yang dihasilkan seolah-olah seperti martil menghantam bagian dada dari tubuh hingga dapat menghempaskan orang disekitarnya, suara ledakan yang dapat mengganggu pendengaran dan tetesan logam cair akibat konduktor yang meleleh berterbangan ke segala arah seperti pecahan peluru.

2.3 Insiden Energi

Insiden energi dapat dikatakan sebagai efek dari pelepasan energi yang dapat berupa panas, tekanan dan bahkan ledakan yang disebabkan oleh adanya *Arc Flash*. Dalam IEEE 1584 insiden *Arc Flash* didefinisikan sebagai “ jumlah energi yang terdapat dipermukaan dengan jarak tertentu dari sumber yang menghasilkan insiden yang disebut *Arc Flash* “. Dengan kata lain insiden energi dapat dikatakan besarnya energi yang terjadi pada suatu peristiwa *Arc Flash*. (IEEE 1584, 2002).

2.3.1 Perhitungan Insiden Energi

Analisa insiden energi perlu dilakukan sebagai acuan dalam menentukan PPE yang

tepat yang nantinya digunakan untuk bekerja pada peralatan yang telah di analisa.

Perhitungan insiden energi pada penelitian ini menggunakan persamaan yang berdasarkan pada IEEE 1584 dan NFPA 70E.

Untuk sistem < 1 kV

$$\log I_a = K + 0,662 \log I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526G + 0,5588 V(\log I_{bf}) - 0,00304G(\log I_{bf}) \dots\dots\dots(2.1)$$

(IEEE 1584,2002)

Untuk sistem 1kV – 15kV

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log I_{bf} \dots\dots(2.2)$$

$$I_a = 10^{\log I_a} \dots\dots(2.3)$$

(IEEE 1584,2002)

Dimana:

- V : Tegangan sistem (kV)
- Ia : Arcing fault Current (kA)
- Ibf : Bolted short circuit current (kA)
- G : Gap antar konduktor (mm)
- K : -0.153 untuk keadaan *open air*
-0.097 untuk keadaan *in a box*

Setelah di dapat nilai Ia maka selanjutnya dapat dihitung besarnya insiden energi yang dapat terjadi.

$$\log En = K1 + K2 + 1,081 \log I_a + 0,0011G \dots\dots(2.4)$$

$$En = 10^{\log En} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$E = 4,184Cf En \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

(IEEE 1584, 2002)

Dimana:

- E : insiden Energi normal (J/cm²)
- K₁ : -0.792 untuk kondisi *open air*
-0.555 untuk kondisi *in a box*
- K₂ : 0 untuk sistem yang tidak di tanahkan
-0.133 untuk sistem yang di tanahkan

- C_f : Faktor kalkulasi, 1.0 untuk tegangan lebih dari 1 kV dan 1.5 untuk tegangan kurang dari 1 kv.
- Ia : Magnitude arus *arc flash* (kA)
- G : Jarak antar konduktor (mm)
- t : durasi *Arc Flash* (s)
- x : Faktor jarak eksponen
- D : Jarak sumber busur api ke pekerja (mm)

2.4 Personal Protective Equipment (PPE)

Memakai alat pelindung diri yang tepat saat bekerja harus dipertimbangkan sebagai usaha terakhir dalam mengurangi atau menghilangkan risiko di tempat kerja, yang hanya akan digunakan saat pengendalian teknis yang dapat mengurangi bahaya (seperti isolasi, ventilasi, penggantian atau perubahan proses)

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.

2.5 Kategori Bahaya Saat Terjadi Arc Flash

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.

Berikut tabel kategori bhaya saat terjadi *Arc Flash* berdasarkan standar NFPA 70E tahun 2012.

Tabel 2.1 Kategori PPE berdasarkan Besarnya Insiden Energi

Kategori	Energi (Cal/cm ²)
0	0 – 1,2
1	>1,2 – 4
2	>4 – 8
3	>8 - 25
4	>25 – 40

(sumber: NFPA 70E, 2012)

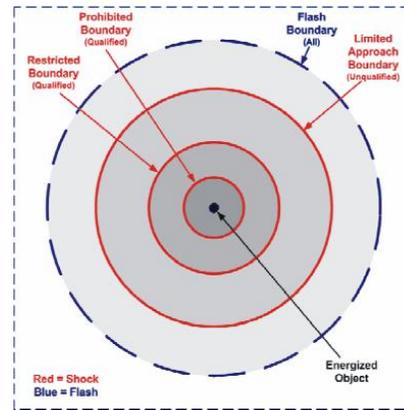
Dan berikut tabel deskripsi pakaian berdasarkan kategori bahaya dari insiden energi

Tabel 2.2 Deskripsi pakaian PPE sesuai dengan Kategori

Kategori	Clothing Description
0	Non-melting, non-flammable materials (i.e., untreated cotton, wool, rayon, or silk, or blends of these materials) with a fabric weight at least 4.5 oz/yd ² (1 layer)
1	Fire Resistant (FR) shirt , FR pants or FR coverall (1 layer)
2	Cotton underwear — conventional short sleeve and brief/shorts, plus FR shirts and FR pants (1 or 2 layers)
3	Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus FR coverall, or cotton underwear plus two FR coveralls (2 or 3 layers)
4	Cotton underwear plus FR shirt and FR pants plus multilayer flash suit (3 or more layers)

(sumber: NFPA 70E, 2012)

Ada beberapa pengelompokan batasan jarak yang harus diperhatikan pada saat terjadinya *Arc Flash*. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut



Gambar 2.1 Batasan jarak saat terjadi *arc flash*

Dari gambar diatas dapat di jelaskan bahwa:

1. *Arc flash boundary* : jarak minimum di mana pekerja terpapar energi < 1.2 kal/cm² (< luka bakar tingkat dua) saat terjadi arc flash
2. *Limited approach boundary* : jarak minimum dimana personel tidak berkualifikasi boleh berdiri.
3. *Restricted approach boundary* : jarak minimum yang hanya boleh dimasuki personel berkualifikasi.
4. *Prohibited approach boundary* : jarak minimum di mana pekerjaan di dalamnya dianggap sama dengan menyentuh peralatan bertegangan.

Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahwa jarak aman yang akan dihitung jarak dari titik gangguan ke garis lingkaran yang berwarna biru atau biasa disebut dengan *Arc flash boundary*, di mana pekerja terpapar energi < 1.2 kal/cm² (< luka bakar tingkat dua) saat terjadi *arc flash*. Jarak aman tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$D_B = \left[\frac{4,184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times (610^x)}{E_B} \right]^{\frac{1}{x}} \dots (2.7)$$

(IEEE 1584, 2002)

Dimana:

- E_B : 1,2 Cal/Cm²
- C_f : Faktor kalkulasi, 1.0 untuk tegangan lebih dari 1 kV dan

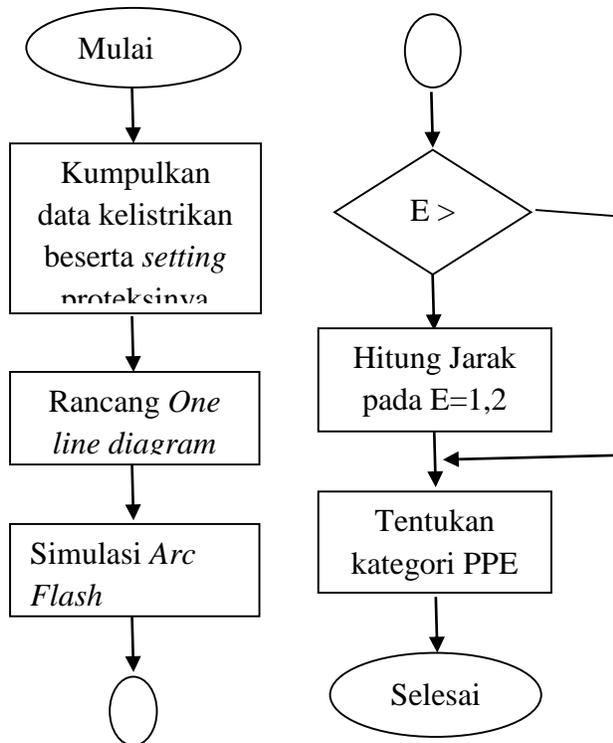
1.5 untuk tegangan kurang dari 1 kV

t : durasi *Arc Flash* (s)

x : Faktor jarak eksponen

3. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Data Transformator

Pada substation ini terdapat dua transformator daya yang digunakan yaitu transformator 1 (TX1) dan trafo 2 (TX2). Dengan keterangan sebagai berikut:

1. Trafo 1(TX1) Memiliki 3 Feeder, 3 CB, 6 Recloser, Fuse di setiap *wells*.
2. Trafo 2(TX2) Memiliki 3 Feeder, 3CB,5 Recloser, Fuse disetiap *wells*.

Kedua trafo ini memiliki jenis dan karakteristik yang sama.

KVA transformator = 28 MVA

% impedansi = 12.8

Rated KV primer/ sekunder = 115KV / 13.8 KV

3.3 Panjang saluran

Berikut data panjang saluran salah satu feeder pada substation 6DN.

Tabel 3.1 panjang saluran salah satu feeder

Line/cable Id	Panjang (Km)	Connect	
		From	To bus
Line 201	0.499994	Bus 202	Bus4#2
Line 202	0.499994	Bus 202	Bus 203
Line 203	0.499994	Bus 203	Bus 204
Line 204	0.499994	Bus 203	Bus 205
Line 205	0.499994	Bus 201	Bus62#2
Line 206	0.499994	Bus 201	Bus 206
Line130	0.499994	Bus 206	Bus13#2
Line 207	0.300015	Bus 206	Bus 207
Line 208	0.999988	Bus 207	Bus 208
Line 209	0.499994	Bus 207	Bus 209
Line 210	0.999988	Bus 209	Bus 210
Line 211	0.100005	Bus 209	Bus 211
Line 212	0.100005	Bus 209	Bus 212
Line 213	0.869991	Bus 212	Bus 213
Line 214	0.100005	Bus 212	Bus 214
Line 215	0.599999	Bus 214	Bus 216
Line 216	0.100005	Bus 214	Bus 215
Line 217	0.100005	Bus 215	Bus 218
Line 218	0.499994	Bus 215	Bus 217
Line 219	0.100005	Bus 218	Bus 220
Line 220	0.700004	Bus 218	Bus 219
Line 221	0.100005	Bus 220	Bus 221
Line 222	0.100005	Bus 225	Bus 226
Line223	0.399989	Bus 220	Bus 222
Line 223	0.20001	Bus51#2	Bus 225
Line 224	0.599999	Bus 225	Bus 227
Line 225	0.03999	Bus 227	Bus 228
Line 226	0.499994	Bus 227	Bus 229
Line 227	0.499994	Bus2	Bus 503
Line271	0.999988	Bus 301	Bus 302

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk mencari arus hubung singkat, terlebih dahulu harus dicari nilai dari tahanan totalnya.

$$Z_{eq} = Z_s(\text{sisi } 13,8\text{kV}) + Z_{trafo}$$

$$Z_{eq} = j0,0752 + j0,871 = j0.9462 \text{ ohm}$$

Setelah mendapatkan nilai dari tahanan totalnya, maka arus hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

$$I_{sc} = \frac{13800 / \sqrt{3}}{\sqrt{0,9462^2}}$$

8,41 kA

4.2 Perhitungan Arcing Fault Current

Perhitungan *Arcing fault current* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3 yang sesuai dengan standar IEEE 1584.

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

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log 8,41$$

$$\log I_a = 0,912$$

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

$$I_a = 8,18 \text{ kA}$$

4.3 Perhitungan Insiden Energi

Perhitungan insiden energi dapat dilakukan apabila telah didapat nilai dari arus gangguan (*arcing fault current*). Perhitungan insiden energi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6

Dan dari perhitungan yang telah dilakukan, nilai dari insiden energi dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Insiden Energi

Titik gangguan	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori PPE
TX 1	25,55	4
TX 2	28,275	4
Feeder 1	2,073	1
Feeder 2	2,139	1
Feeder 3	4,344	2
Feeder 4	4,344	2
Feeder 5	3,619	1
Feeder 6	3,619	1

Selanjutnya perhitungan batas jarak aman minimum dapat dilakukan

menggunakan persamaan 2.7. sehingga didapat hasil perhitungan seperti pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 batas jarak minimum

Lokasi gangguan	Jarak minimum
TX 1	211,28 cm
TX 2	222,36 cm
Feeder 1	80,5 cm
Feeder 2	78,18 cm
Feeder 3	172,25 cm
Feeder 4	172,25 cm
Feeder 5	142,5 cm
Feeder 6	142,5 cm

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan insiden energi akibat *Arc Flash* pada sistem distribusi radial 13,8 kV di substation 6DN PT CPI, maka kesimpulannya adalah sebagai berikut :

1. Besarnya insiden energi yang terjadi disetiap titik gangguan masih memenuhi standar *National Fire Protection Association (NFPA) 70E 2012*, dimana insiden energi yang terjadi tidak ada yang melebihi 40 cal/cm²hal ini dikarenakan perbedaan lamanya waktu pemutusan gangguan (*Fault clearing time*) dari setiap *Circuit Breaker*
2. Lama waktu gangguan sangat berpengaruh terhadap besarnya insiden energi yang dapat terjadi pada titik gangguan, semakin lama waktu gangguan maka insiden energi yang terjadipun semakin besar dan sebaliknya.
3. Lama waktu gangguan sangat erat kaitannya dengan nilai seting pada peralatan proteksi, semakin lama pengaman untuk memutus gangguan (trip) maka semakin lama gangguan terjadi dan menyebabkan insiden energi yang semakin besar pula.
4. Jarak aman pada setiap titik gangguan sangat dipengaruhi oleh besarnya insiden energi, semakin besar insiden

energi yang terjadi maka semakin jauh jarak aman bagi orang biasa yang berada disekitar titik gangguan.

Menggunakan ETAP”. Skripsi Sarjana, Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara.

DAFTAR PUSTAKA

Affandi, Ifan. 2009. "Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang sadewa di GI Cawang" Skripsi Sarjana, Teknik Elektro, Universitas

Budianto Harry. Margo Pujiantara. I made Yulistya Negara "Peyederhanaan Perhitungan Nilai Arc-Flash Dengan Menggunakan Metode Kurva Batas Energi". Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Industri-ITS

Firman aji prasongko. Margo Pujiantara. Ontoseno Penangsang. "Analisis dan Reduksi Bahaya Arc Flash pada Sistem Kelistrikan". Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Industri-ITS . Teknik Pomits Vol.1.No.1, 2012.

IEEE std. 1584-2002 "IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation". by the Institute of Electrical and Electronics Enginneers, Inc., 2002

NFPA 70E. "Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2012 Edition" NFPA 70E, 2012

Rahmat Riyadi. Rony Seto. Margo Pujiantara. "Analisa Sistem Proteksi dengan Model Perhitungan Arc Flash yang Dimodifikasi untuk Diaplikasikan pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Pupuk Kaltim Unit I (PKT I)". Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Industri-ITS. Teknik ITS Vol.1, September 2012.

Sianipar, Setia. 2011 "Analisi Jatuh Tegangan dan Rugi rugi pada Penyulang