

Studi Arc Flash pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa

Wawan Setiawan¹, Andi Muhammad Asmir², Tajuddin Waris³, Yusran⁴

¹Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Makassar

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar

e-mail: ¹firewal1ws@gmail.com, ²andi.muhammad.asmir@gmail.com, ³tajuddin@unhas.ac.id

Abstrak -Arc flash adalah suatu kondisi berbahaya disertai dengan adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh arcing listrik. Arc flash merupakan kejadian berbahaya yang dapat terjadi di sistem kelistrikan industri. Hal ini salah satunya dapat disebabkan oleh kesalahan sistem ataupun karena kesalahan prosedur dalam maintenance. Arc flash dapat mengakibatkan kerusakan peralatan, mengganggu proses produksi bahkan membahayakan nyawa pekerja yang berada di sekitar tempat kejadian. Pengamanan terhadap arc flash sangatlah diperlukan untuk menjaga peralatan maupun pekerja di dalam dunia industri. Tugas akhir ini akan dilakukan studi tentang arc flash pada electrical room Tonasa V PT. Semen Tonasa. Studi tersebut menghitung besar dan durasi arc flash sesuai standar NFPA 70E dan memberikan label kategori arc flash pada busbar dengan menggunakan software ETAP 12.6.0. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa semua busbar memiliki besar incident energy yang sesuai dengan standar, dimana incident energy paling besar pada busbar 582 ER 54 sebesar 19,371 cal/cm² termasuk dalam kategori 3 dan incident energy yang paling kecil pada busbar 582 ER 59 sebesar 2,388 cal/cm² termasuk dalam kategori 1. Studi ini juga memberikan rekomendasi peralatan safety yang sesuai dengan kategori incident energy saat bekerja pada area busbar untuk menghindari resiko pada pekerja.

Kata Kunci: Arc flash, standar NFPA 70E, incident energy, busbar, ETAP 12.6.0

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik perusahaan yang handal harus memiliki sistem dan koordinasi proteksi yang mampu bekerja sesuai dengan tujuan dan fungsinya yang di tentukan berdasarkan jenis gangguan yang terjadi. Apabila hal tersebut tidak terpenuhi maka akan mengakibatkan kerugian yang besar, baik dari kerusakan yang lebih luas terhadap peralatan listrik yang lain, maupun terganggunya proses produksi perusahaan bahkan bisa muncul busur api (arc flash) akibat hubung singkat pada peralatan yang dapat membahayakan keselamatan dan nyawa dari pekerja Tonasa V PT. Semen Tonasa.

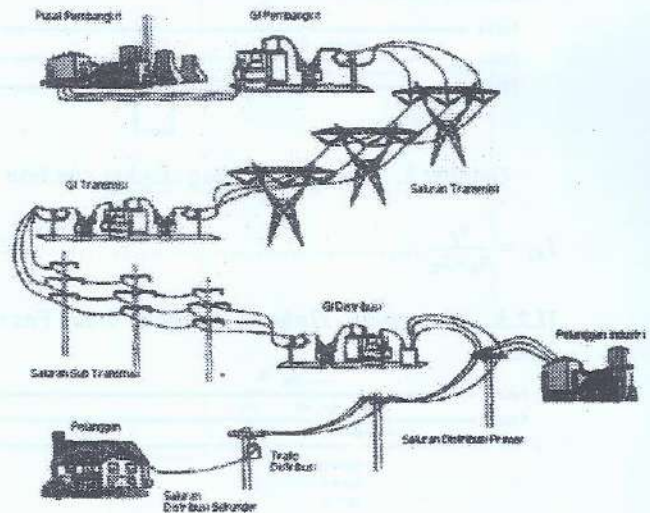
Kondisi tersebut melatarbelakangi penulis melakukan simulasi pada software ETAP 12.6.0 dengan studi hubung singkat dan studi arc flash. Untuk menyempurnakan koordinasi proteksi diperlukan setting proteksi dengan memperhitungkan bahaya busur api (arc flash). Hasil perhitungan arc flash di dapat dari perhitungan nilai fault arching current yang di peroleh melalui studi hubung singkat, clearing times dan studi koordinasi peralatan proteksi arus lebih. Tujuan dari analisis ini untuk menentukan besarnya energy (energy

accident) yang berpotensi muncul selama peristiwa arc flash dan durasi terjadinya energi arc flash menurut standar NFPA 70E.

II. LANDASAN TEORI

II.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari pusat pembangkit, jaringan transmisi, dan saluran distribusi yang terhubung satu sama lain untuk menyalurkan energi listrik menuju ke konsumen. Pusat pembangkit merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan yaitu dari energi primer dikonversi menjadi energi listrik. Saluran transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik hingga saluran distribusi listrik yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen (pabrik, industri, perumahan dan sebagainya), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 di bawah ini [1].



Gambar 1. Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

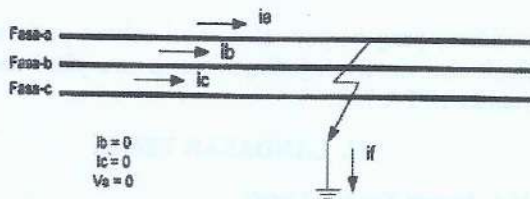
II.2. Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh adanya sambaran petir, kegagalan isolasi ataupun gangguan akibat ranting pohon dan binatang. Gangguan hubung singkat menyebabkan timbulnya aliran arus dengan nilai yang besar menuju ke titik gangguan. Akibatnya tegangan di sekitar gangguan dapat menurun secara signifikan. Aliran arus yang besar tersebut merupakan jumlah dari arus

kontribusi yang berasal dari generator serta motor induksi [2].

II.2.1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol



Gambar 2. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

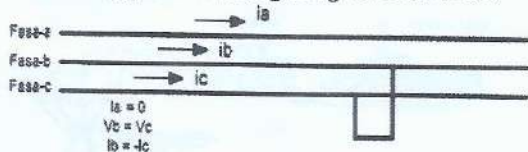
V_f = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

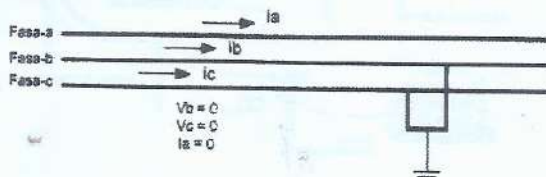
II.2.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa



Gambar 3. Gangguan hubung singkat dua fasa

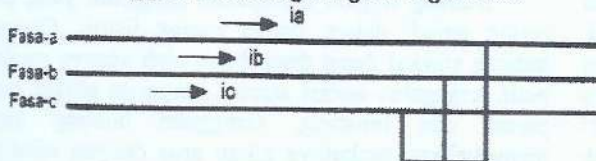
$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.2)$$

II.2.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah



Gambar 4. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

II.2.4. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa



Gambar 5. Gangguan hubung singkat tiga fasa

II.3. Arc Flash

Arc flash adalah hasil dari pelepasan energi yang cepat akibat dari *arcing fault* antara fasa dengan fasa, fasa dengan netral atau *ground* [3]. *Arc flash* atau busur api listrik adalah suatu kondisi berbahaya disertai dengan adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh arcing listrik. *Arc flash* dapat menghasilkan temperatur sampai 35.000°F. Ketika terjadi *arc flash* akan ada cahaya berintensitas tinggi yang dapat merusak mata dan juga ledakan udara yang sangat panas yang dapat menyebabkan luka bakar. Selain hal itu juga terjadi ledakan suara yang sangat keras dan lelehan besi yang sangat berbahaya bagi keselamatan.

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya *arc flash*, diantaranya:

1. Debu, pendaratan, binatang
2. *Spark discharge* dari sentuhan/ peralatan yang terjatuh
3. Kegagalan isolasi dari peralatan
4. Kegagalan kerja peralatan pengamanan

Besar energi yang dihasilkan *arc flash* dipengaruhi beberapa hal, diantaranya adalah besar level tegangan, jarak antar konduktor, dan juga waktu kerja rele untuk mengisolasi gangguan yang terjadi [4].

II.3.1. Kategori Arc Flash

PPE (*Personel Protective Equipment*) merupakan pakaian atau peralatan yang didesain untuk mengendalikan risiko terhadap kesehatan dan keselamatan ditempat kerja [4].

Ini termasuk:

1. Perlindungan mata (kaca mata pengaman)
2. Perlindungan pendengaran (sumbat telinga, penutup telinga)
3. Perlindungan pernapasan (alat pernapasan, masker muka, penyaring isian)
4. Perlindungan kaki (bot pengaman)
5. Perlindungan kepala (topi keras, helm, topi matahari)
6. Perlindungan tubuh (pakaian yang mudah dilihat, pakaian hangat, pakaian kerja, apron, celemek, harness pengaman)
7. Bahan yang digunakan untuk melindungi kesehatan (krim matahari)
8. Pakaian luar (rompi reflektif, jaket fluoro)

Untuk mengetahui perlindungan apa saja yang harus dibutuhkan, maka dibutuhkan standar yang digunakan untuk pengelompokannya. Dengan menggunakan standar NFPA 70E diharapkan meminimalisir kecelakaan kerja ketika pekerja bekerja di dekat peralatan kelistrikan dan juga konduktor. Berikut adalah tabel dari NFPA 70E:

Tabel 1. Kategori Incident Energy [5]

Incident Energy (cal/cm ²)		Hazard Risk Category	Required Minimum Arc Rating of PPE (cal/cm ²)	Class Color
From	To			
0	1.2	0	N/A	Hijau
1.2	4.0	1	4	Biru
4.0	8.0	2	8	Kuning
8.0	25.0	3	25	Jingga
25.0	40.0	4	40	Merah

Tabel 2. PPE (Personal Protection Equipment) [5]

Hazard Risk Category	Perlindungan
0	<ul style="list-style-type: none"> Kemeja Lengan Panjang Kacamata Pengaman Sarung Tangan Peralatan yang Berisolasi
1	<ul style="list-style-type: none"> Kemeja Lengan Panjang (Tahan Api) Celana Panjang (Tahan Api) Kacamata Pengaman (Tahan Api) Sarung Tangan Peralatan yang Berisolasi Pelindung Kepala (Tahan Api)
2	<ul style="list-style-type: none"> Pelindung Kategori 1 Pakaian Berlapis yang Terbuat dari Fiber Alami Sepatu Kerja
3	<ul style="list-style-type: none"> Pelindung Kategori 2 Pakaian Tahan Api Pelindung Wajah Pelindung Telinga
4	<ul style="list-style-type: none"> Pelindung Kategori 3 Flash Suit

Dengan menggunakan PPE diatas diharapkan dampak dari kecelakaan akibat Arc flash berkurang [4].

II.3.2. Rumus Dasar Pencarian Energi Arc Flash

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besaran energi yang terjadi pada saat peristiwa Arc flash adalah sebagai berikut [6] :

$$E = (4,184) C_f \cdot 10^{(K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_a) + 0,0011G) \left(\frac{t}{0,20}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^2}\right)} \dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- E = energi dalam J/cm²
- C_f = faktor kalkulasi, 1.0 untuk tegangan dibawah 1kV dan 1.5 untuk diatas 1 kV
- K₁ = -0.792 untuk konfigurasi terbuka dan -0.555 untuk konfigurasi tertutup
- K₂ = untuk tidak ditanahkan dan sistem HRG dan -0.133 untuk sistem ditanahkan

- I_a = magnitude arus busur api
- G = jarak antar konduktor (mm)
- t = durasi busur api
- x = jarak eksponen
- D = jarak busur api ke pekerja

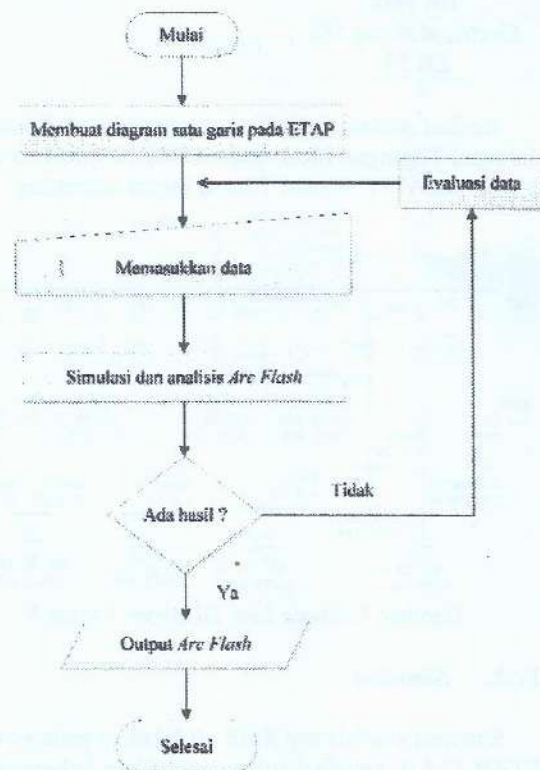
II.3.2. Rumus Dasar Pencarian Durasi Waktu Terjadinya Arc Flash

$$t = \frac{E_i(0,20)4,1667}{(4,184)C_f \cdot 10^{(K_1 + K_2 + 1,081 \cdot \log(I_a) + 0,0011G) \left(\frac{610^x}{D^2}\right)} \dots\dots (2.3)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Biro Distribusi Daya pabrik Tonasa V PT. Semen Tonasa, Kabupaten Pangkep, Makassar, Sulawesi Selatan. Dimulai pada bulan April - Juni 2016.

Penelitian ini diawali dengan perumusan masalah dan melakukan kajian studi pustaka, lalu melakukan pengumpulan data, menganalisis data, menginterpretasi hasil dan menarik kesimpulan dengan uraian yang di tunjukkan pada flowchart sebagai berikut:



Gambar 6. Flowchart metodologi penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Sistem Kelistrikan Tonasa V PT. Semen Tonasa

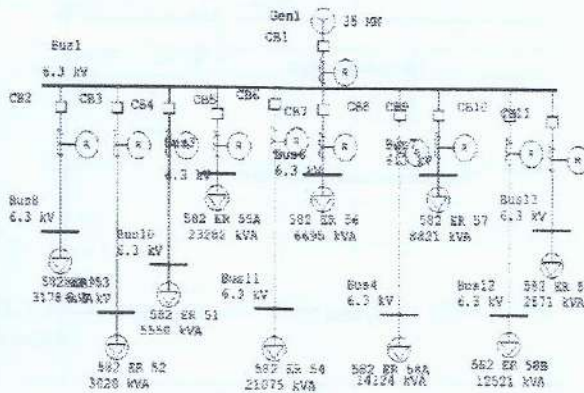
Analisis arc flash menggunakan software ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan besar insiden energi arc flash tiap-tiap busbar pada setiap electrical room 6,3 kV Tonasa V PT. Semen Tonasa, setiap electrical room memiliki fungsi masing-masing. Tabel berikut

menunjukkan fungsi dari *electrical room* yang ada pada Tonasa V.

Tabel 3. ID *electrical room* Tonasa V PT. Semen Tonasa

ID Room	Fungsi
Electrical Room 582 ER 55A	Kiln & Preheater
Electrical Room 582 ER 56	Coal Mill & Handling
Electrical Room 582 ER 57	Cooler
Electrical Room 582 ER 53	Limestone Storage & WTP Tonasa V
Electrical Room 582 ER 52	Clay & Silica, Crusher & Stone
Electrical Room 582 ER 51	Limestone Crusher
Electrical Room 582 ER 54	Raw Mill
Electrical Room 582 ER 58A	Cement Mill 1
Electrical Room 582 ER 58B	Cement Mill 2
Electrical Room 582 ER 59	Packer

Berikut adalah single line diagram sistem kelistrikan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) *electrical room* 6,3 kV Tonasa V PT. Semen Tonasa secara sederhana :



Gambar 7. Single Line Diagram Tonasa V

IV.2. Simulasi

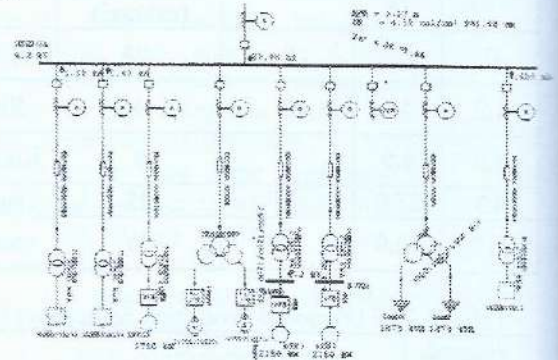
Simulasi analisis *arc flash* di lakukan pada *software* ETAP 12.6.0. simulasi ini menunjukkan beberapa data hasil analisis *arc flash* . Untuk lebih jelas, perhatikan hasil simulasi masing-masing busbar dibawah ini dengan input data busbar yang sesuai dengan tabel berikut:

Tabel 4. Data busbar

Type Bus	Gap Beetwen Conductor (mm)	Distance X Factor
Switchgear	153	0,973

IV.2.1. Busbar 582 ER 55A

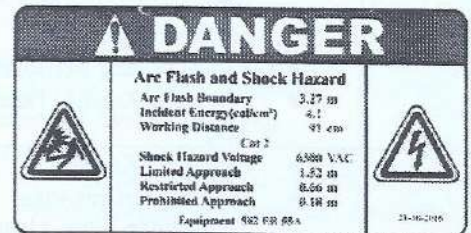
Simulasi pada busbar 582 ER 55A dengan menggunakan analisis *arc flash* menghasilkan data-data yang seperti di tunjukkan pada hasil simulasi dibawah ini:



Gambar 8. Hasil simulasi busbar 582 ER 55A

Hasil simulasi sebagai berikut :

1. Bus Fault Current : 28 kA
2. Bus Arching Current : 26,71 kA
3. Fault Clearing Time : 0.111 sec
4. Incident Energy : 4,147 cal/cm²
5. Protection Boundary : 3,270 m
6. Category : 2
7. Working Distance : 91,44 cm
8. Label :



Gambar 9. Label Busbar 582 ER 55A

Simulasi pada seluruh busbar menghasilkan besaran insiden energi dan durasi terjadinya *arc flash* yang berdasarkan dengan kategori standar NFPA 70E. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. Hasil simulasi *arc flash* setiap busbar

1.	582 ER 55A	4,147 cal/cm ²	0,111	2
2.	582 ER 56	10,037 cal/cm ²	0,283	3
3.	582 ER 57	5,825 cal/cm ²	0,166	2
4.	582 ER 53	6,999 cal/cm ²	0,164	2
5.	582 ER 52	7,206 cal/cm ²	0,154	2
6.	582 ER 51	3,947 cal/cm ²	0,088	1
7.	582 ER 54	19,371 cal/cm ²	0,352	3

8.	582 ER 58A	17,088 cal/cm ²	0,342	3
9.	582 ER 58B	7,559 cal/cm ²	0,152	2
10.	582 ER 59	5,158 cal/cm ²	0,14	2

V. PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan software *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) 12.6.0 maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada *electrical room* tonasa V PT. Semen Tonasa semua busbar menghasilkan insiden energi yang sesuai dengan standar NFPA 70E, hal tersebut ditunjukkan dengan tidak adanya busbar yang mengasilkan insiden energi yang melebihi kategori 4. Hasil insiden energi yang paling besar yaitu sebesar 19,371 cal/cm² pada busbar 582 ER 54 dan yang paling kecil yaitu sebesar 2,388 cal/cm² pada busbar 582 ER 59.
2. Busbar 582 ER 56, 582 ER 54 dan 582 ER 58A termasuk kategori 3. Busbar 582 ER 55A, 582 ER 57, 582 ER 53, 582 ER 52 dan 582 ER 58B termasuk kategori 2. Sedangkan busbar 582 ER 51 dan Busbar 582 ER 59 termasuk kategori 1. Dengan mengetahui kategori insiden energi busbar, kita bisa menggunakan perlengkapan kerja yang sesuai dengan standar NFPA 70E.
3. Durasi terjadinya arc flash yang paling lama pada busbar 582 ER 54 yaitu selama 0,352 sec dan busbar yang mengalami *arc flash* yang paling singkat yaitu busbar 582 ER 59 dengan durasi 0,14 sec.

V.2. Saran

Saran disusun berdasarkan temuan penelitian yang telah dibahas. Saran dapat mengacu pada tindakan praktis, pengembangan teori baru, dan/atau penelitian lanjutan.

1. Bagi Perusahaan
 - a) Agar pekerja menggunakan perlengkapan *safety* yang sesuai dengan standar NFPA 70E, sehingga pekerja bisa terhindar dari resiko cedera dan luka bakar.
 - b) Agar menempelkan label insiden energi untuk memberikan peringatan kepada pekerja jika ingin masuk dalam *electrical room*.
2. Bagi Universitas
 - a) Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis *arc flash* pada *electrical room* 6,3 kV Tonasa II, III, IV PT. Semen Tonasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kadir, *Transmisi Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia, 1998.
- [2] F. A. Prasongko, M. Pujiantara and O. Penangsang, "Analisis dan Reduksi Bahaya Arc Flash pada Sistem Kelistrikan," *JURNAL TEKNIK ITS*, pp. 165-168, 2012.
- [3] M. Holt, *Understanding the National Electrical Code*, Florida: Mike Holt Enterprises, 2012.
- [4] R. F. Bachtiar, *Studi Busur Api Listrik pada Sistem Kelistrikan Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java (JOB P-PEJ)*, Tuban, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2014.
- [5] NFPA 70E, *Standard for Electrical Safety in the Workplace*, Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2015.
- [6] H. W. Tinsley and M. Hodder, "A Practical Approach to Arc Flash Hazard Analysis and Reduction," in *IEEE IAS Pulp and Paper Industry Conference*, Victoria, 2004.