



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**SKRIPSI – ENERGI LISTRIK**

**ANALISIS REDUKSI *ARC FLASH ENERGY* PADA  
SISTEM KELISTRIKAN DI PT. SEMEN GRESIK  
(PERSERO)TBK**

I Made Wiryanata  
NIM 12.12.027

Dosen Pembimbing

Dr.Eng Ir. I Made Wartana, MT

Ir.Ni Putu Agustini, MT.

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
September 2019**



**ANALISIS REDUKSI ARC FLASH ENERGY PADA  
SISTEM KELISTRIKAN DI PT. SEMEN GRESIK  
(PERSERO)TBK**

**SKRIPSI**

**I Made Wiryanata**

**NIM: 1212027**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi Teknik Elektro S-1

Peminatan Energi Listrik

Institut Teknologi Nasional Malang

**Diperiksa dan Disetujui Oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr.Eng Ir. I Made Wartana. MT**

**NIP. 19610503199202001**

**Ir. Ni Putu Agustini. MT**

**NIP. Y. 1030100371**

**Mengetahui**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro S1**

**Dr. Irrine Budi Sulistiawati ST, MT**

**NIP.197706152005012002**

**Malang  
September, 2019**

# Analisis Reduksi Arc Flash Energi Pada Sistem Kelistrikan PT.Semen Gresik(Persero) Tbk.

I Made Wiryanata

I Made Wartana

Demawir23@gmail.com

## ABSTRAK

*Arc Flash* yang terjadi pada sistem kelistrikan menimbulkan kerugian yang sangat besar. Insiden energi yang dilepaskan dapat merusak peralatan dan terutama dapat membahayakan pekerja yang bekerja di lingkungan tersebut. Perlu sistem pengamanan yang mampu mengatasi gangguan tersebut. Koordinasi pengamanan yang selektif tentu akan mempertimbangkan jarak waktu antar pengamanan untuk menjaga kontinuitas serta stabilitas aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Permasalahan yang timbul adalah hal tersebut mengakibatkan pengamanan dari *Arc Flash* belum efektif dalam mengurangi bahaya *Arc Flash*. Sesuai dengan standar koordinasi proteksi, pengamanan yang semakin jauh dari beban *setting* waktunya akan diset relatif lebih lama untuk menjaga selektifitas. Hal tersebut mengakibatkan insiden energi *Arc Flash* akan besar. Namun demikian, energi yang dihasilkan oleh busur api setelah dilakukan koordinasi proteksi perlu dipertimbangkan agar tidak melampaui standar yang diizinkan. Analisa busur api dilakukan dengan menggunakan perhitungan standar IEEE 1584-2002. Setelah dilakukan beberapa analisa didapatkan bahwa beberapa daerah di PT. SEMEN GRESIK (persero) memiliki nilai insiden energi diatas kategori 4, sehingga dilakukan resetting FCT (*fault clearing time*) sebagai pengamanan utama agar nilai insiden energi busur api bisa dikategorikan sesuai standard NFPA 70E.

**Kata Kunci :** *Arc Flash*, Busur Api, IEEE 1584-2002, Insiden Energi, Koordinasi Proteksi, NFPA 70E, PT. Semen Gresik (persero)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa, sehingga penyusunan laporan skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis dalam proses penyusunan tak lepas bantuan, arahan dan masukan dari berbagai pihak yaitu kepada :

1. Tuhan yang maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, kesabaran serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Orang tua dan keluarga yang selalu mensuport moral, doa serta semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT selaku Rektor ITN Malang.
4. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT selaku ketua program studi teknik elektro S-1 ITN Malang.
5. Selaku Dosen Pembimbing 1 Bapak Dr.Eng Ir. I Made Wartana,MT dan Ibu Ir.Ni putu Agustini.MT selaku Pembimbing 2.
6. Seluruh rekan–rekan teknik Elektro S-1 ITN Malang.

Untuk itu penulis ucapkan banyak terima kasih atas segala partisipasinya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Meski demikian, penulis banyak menyadari masih banyak sekali kekurangan dan kekeliruan di penulisan skripsi ini, baik dari segi tanda baca, tata bahasa maupun isi. Sehingga penulis secara terbuka menerima segala kritik dan saran positif dari pembaca.

Demikian apa yang penulis sampaikan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk masyarakat umumnya dan penulis sendiri khususnya.

Malang,September 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal:
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	5
2.3 Arc Flash .....	6
2.3.1 Perhitungan Energi Arc Flash Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 .....	9
2.3.2 Kategori Arc Flash.....	10
2.4 Personal Protective Equipment (PPE) .....	12
2.5 Waktu Kliring atau Fault clearing time (FCT) .....	14
2.6 Gangguan pada Sistem Kelistrikan.....	16
2.7 PT. Semen Gresik.....	18
2.8 Sistem Kelistrikan .....	18
2.9 <i>Software Electrical Transient Analyzer</i> Program (ETAP).....	20
2.10 Metode Hubung Singkat <i>Short Circuit</i> pada ETAP Power Station.....	22
2.11 Hasil Penelitian Terkait.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	24

3.1 Pengumpulan Data.....	24
3.2 Teknik Pengumpulan Data .....	24
3.2.1 Observasi lapangan .....	24
3.2.2 Wawancara.....	24
3.3 Masukan Data Power Grid Pada Software Etap Powerstation .....	25
3.4 Masukan Data Transformator pada <i>Software</i> Etap Power Station.....	26
3.5 Masukan Data Beban pada <i>Software</i> Etap Power Station.....	30
3.6 Masukan data acuan standart yang di gunakan pada software ETAP power station.....	33
3.7 Algoritma Simulasi pada Software ETAP Power Station.....	34
3.8 Metode Pengolahan Data.....	35
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL .....</b>	<b>36</b>
4.1 Sistem Kelistrikan PT. Semen Gresik .....	36
4.1.1 Data Transformator.....	37
4.1.2 Data Beban.....	37
4.2 Hasil Run load flow.....	38
4.3 Hasil Run simulasi Arc Flash .....	40
4.3.1 Run Arc Flash Tipikal 1.....	41
4.4 Hasil Simulasi Insiden Energi Arc Flash menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.0 (Existing).....	42
4.5 Tipikal bus SG011.....	43
4.6 Existing BUS SG011.....	44
4.7 Resetting BUS SG011.....	45
4.8 Perhitungan Energi Busur Api (Resetting) dengan Standar IEEE 1584-2002.....	46
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Hal:
Gambar 2.1 Arc flash Insiden .....	7
Gambar 2.2 Dampak Arc Flash pada BUS.....	8
Gambar 2.3 Outfit Pelindung diri.....	8
Gambar 2.4 Arc Flash Boundary Areas .....	10
Gambar 2.5 Personal Protective equipment (PPE).....	12
Gambar 2.6 Letak setting FCT(fault clearing time) pada ETAP.....	15
Gambar 2.7 Tampilan software EtapPower Station .....	21
Gambar 2.8 Tampilan Icon running short circuit .....	22
Gambar 2.9 Tampilan Icon Study case short circuit .....	22
Gambar 3.1 Input Data Power Grid .....	25
Gambar 3.2 Input Data Transformator 1 .....	26
Gambar 3.3 Input Data Transformator 2 .....	27
Gambar 3.4 Input data Transformator 3.....	28
Gambar 3.5 Input data Transformator 4.....	29
Gambar 3.6 Input Data Beban Motor 1.....	30
Gambar 3.7 Input Data Beban 2.....	31
Gambar 3.8 Input Data Beban 3.....	32
Gambar 3.9 Input data Standart acuan .....	33
Gambar 3.10 flowchart analisis arcflash.....	35
Gambar 4.1 Single Line Diagram PT SEMEN GRESIK.....	36
Gambar 4.2 Run load flow sistem kelistrikan .....	38
Gambar 4.3 Run simulasi arc flash .....	40
Gambar 4.4 Single line diagram tipikal 1. ....	41
Gambar 4.5 Tipikal Bus SGO11 .....	43
Gambar 4.6 Existing BUS SG011 Perbandingan Sebelum Reseting.....	44
Gambar 4.7 Perbandingan Bus SG011 setelah reseting .....	45
Gambar 4.8 PPC outfit kategori 3	48



## DAFTAR TABEL

	Hal:
Tabel 2.1. Kategori Alat pelindung diri .....	13
Tabel 4.1 <i>Data Rating Transformator</i> .....	37
Tabel 4.2 Data Beban.....	37
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Insiden Energi Bus Tipikal 1. ....	42
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Insiden Energi <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> .....	47







# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Semen Gresik (persero) merupakan salah satu anggota PT. Semen Indonesia yang berlokasi di Gresik, Jawa timur. PT. Semen Gresik saat ini memiliki pabrik dengan kapasitas produksi sebesar 6,9 juta ton per tahun. Untuk menunjang proses produksi PT. Semen Gresik memiliki pabrik dengan total beban 90 MW. Dengan beban yang sangat besar tersebut, membuat tingkat bahaya sistem kelistrikkannya semakin meningkat, dalam hal ini adalah adanya bahaya *Arc Flash* (busur api). Oleh sebab itu, demi menjaga keamanan dan keselamatan pekerja dari bahaya *Arc Flash*, perlu diketahui besarnya energi yang dihasilkan. Besarnya insiden energi yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengaman akibat gangguan arus hubung singkat. Semakin cepat rele pengaman bekerja semakin kecil pula tingkat insiden energi *Arc Flash* yang ditimbulkan.[2]

Oleh karena itu, perlu dikaji atau dipelajari tingkat insiden energi *Arc Flash* yang ditimbulkan guna memberikan peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya, seperti alat pelindung diri yang harus dikenakan sebagai langkah pencegahan agar terhindar dari jatuhnya korban jiwa. Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang berkaitan tentang masalah busur api, analisa bahaya busur api harus dilakukan dengan melakukan studi terhadap hubung singkat dan koordinasi proteksi. Studi hubung singkat diperlukan untuk mendapatkan nilai arus bolted gangguan tiga fasa. [3]

Sedangkan studi koordinasi proteksi diperlukan untuk menentukan waktu pada peralatan proteksi dalam mengisolasi ketika terjadi gangguan hubung singkat. Tetapi pada standar ini, tidak dipertimbangkan berkurangnya kontribusi arus hubung singkat pada tiap satuan waktu, dan waktu pemutusan masing-masing CB (Circuit Breaker) dalam melokalisir gangguan. [3]

Melihat bahaya serta kerugian dari *Arc Flash* yang begitu besar, maka diperlukan suatu teknik atau metode untuk mengurangi energi insiden yang dilepaskan oleh *Arc Flash*. Sehingga dengan berkurangnya energi

yang dilepas maka bahaya yang ditimbulkan pun berkurang. Salah satu teknik yang mampu mengurangi insiden energi dari *Arc Flash* pada tegangan rendah adalah teknik *Arc Flash*. Teknik ini mengacu pada prinsip semakin cepat *arcing fault current* dihilangkan maka semakin kecil *incident energy* yang dilepaskan. Dari penerapan teknik *Arc Flash* ini pada PT.Semen Gresik (persero) tbk diharapkan insiden energi *Arc Flash* yang terjadi berkurang hingga mencapai kategori yang rendah dengan alat pelindung diri yang sesuai standar.[2]

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada Skripsi ini adalah

1. Bagaimana hasil analisis *arc flash* yang dihasilkan pada PT Semen Gresik?
2. Berapa besar insiden energi pada bus akibat terjadinya *Arc Flash* pada system kelistrikan PT. Semen Gresik?
3. Apakah nilai insiden energi melebihi standart IEEE-1584-2002?
4. Bagaimana melakukan reseting FCT (*fault clearing time*) untuk meningkatkan koordinasi rele sehingga dapat memperkecil insiden energi yang terjadi?
5. Apakah *outfit* pengaman untuk pekerja sudah sesuai standart NFPA 70E?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besar insiden energi pada bus akibat terjadinya *Arc Flash*
2. Mengecek nilai insiden energi berdasarkan standart IEEE 1858 – 2002
3. Melakukan reseting FCT (*fault clearing time*) untuk meningkatkan koordinasi rele agar insiden dapat diperkecil
4. Mnentukan standart *outfit* yang harus digunakan pekerja demi keamanan sesuai standart personal protection equipment (PPE) NFPA 70E- 2004

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem *arc flash* dibangun berdasarkan kelistrikan PT. Semen Gresik yang terdiri dari 10 BUS
2. Sistem yang disimulasikan berupa analisis pengujian dilakukan pada simulasi ETAP 12.6
3. Memperkecil insiden *Arc Flash* yang terjadi dengan *resetting* FCT (*fault clearing time*) untuk meningkatkan koordinasi rele

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika dari penyusunan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, sistematika pembahasan, dan relevansi dari penulisan.

**BAB II : KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini seperti konsep dasar dari *Arc Flash* dan teori lainnya

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai sistem kelistrikan *PT. Semen gresik* serta data-data kelistrikan yang mendukung studi *Arc Flash* ini.

**BAB IV : HASIL DAN ANALISIS HASIL**

Bab ini dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. bab ini menyajikan hasil koordinasi pengaman yang selektif, analisis terhadap besarnya *incident energy*, *Arc Flash* untuk kemudian diberikan kategori *personal safety outfit* bagi pekerja

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi untuk besarnya analisis insiden energi *Arc Flash*.

**DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN**



## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini seperti konsep dasar dari *Arc Flash* dan teori perhitungan insiden energinya yang berdasarkan standar IEEE 1584-2002

#### **2.2 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik**

Sistem adalah semua unsur yang secara teratur saling berhubungan dan bekerja sama sehingga menghasilkan sesuatu. Jadi yang dimaksud dengan Sistem Tenaga Listrik adalah beberapa unsur perangkat peralatan yang terdiri dari pembangkitan, penyaluran, distribusi dan pelanggan, yang satu dengan yang lainnya berhubungan dan saling bekerja sama sehingga menghasilkan tenaga listrik. Tenaga listrik dikonsumsi oleh masyarakat perorangan maupun industri. Sistem tenaga listrik terdiri dari empat unsur, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi, dan pemakaian tenaga listrik (beban). Energi listrik dibangkitkan di pusat tenaga listrik (seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTN, PLTD) dan disalurkan melalui jarak yang cukup jauh ke pusat-pusat pemakaian tenaga listrik. Dikarenakan jarak antara pusat pembangkit dengan beban jauh, maka kerugian dapat timbul pada saluran transmisi. Untuk mengurangi kerugian-kerugian dalam sistem tenaga listrik, maka tegangan yang keluar dari pembangkit dinaikkan menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi (tegangan transmisi).

Tegangan generator biasanya berupa tegangan menengah (TM). Di gardu induk (GI) penaik tegangan melalui transformator tegangan dinaikkan menjadi tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET) untuk disalurkan ke transmisi. Tegangan transmisi yang masih digunakan di Indonesia adalah 70 kV dan 150 kV. Sedangkan untuk tegangan menengah 20 kV digunakan pada jaringan distribusi.

[5] meneliti tentang *Analisis Arc Flash 6,3 KV PT HOLCIM INDONESIA TBK. BOGOR, JAWA BARAT* menyimpulkan bahwa Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada PT Holcim Indonesia Tbk. area *Finish Mill 5*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Electrical Room 7* area *Finish mill 5* yaitu 565-MD1, 545-RM1, TR-071, TR-072,565-FN2, 565-TR73 telah memenuhi kategori *Arc Flash* yang ada dalam teori *Arc Flash* dan tidak ada satupun beban yang melebihi batas toleransi kategori 4.
2. Dari hasil analisis besar energi *Arc Flash* 565-MD1 yaitu 16,92 kal/cm<sup>2</sup>, 545-RM1 yaitu 1,39 kal/cm<sup>2</sup>, 565-FN2 yaitu 1,35 kal/cm<sup>2</sup>, TR-071 yaitu 2,17 kal/cm<sup>2</sup>, TR-072 yaitu 1,41 kal/cm<sup>2</sup>, dan TR-073 yaitu 1,34 kal/cm<sup>2</sup>.
3. Besarnya energi *Arc Flash* yang diperoleh dari analisis disesuaikan dengan level *Personal Protective Equipment (PPE)* sebagai alat perlindungan diri bagi para pekerja yang sedang bekerja di daerah tersebut dan juga untuk mereduksi dari bahaya energi *Arc Flash* di daerah tersebut.

## 2.3 Arc Flash

*Arc Flash* merupakan dampak fisik dari adanya arcing fault. *Arcing fault* 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 seperti terlihat pada gambar 2.1. Busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik yang besar melalui udara yang terionisasi. *Arc Flash* merupakan hasil pelepasan energi yang berbahaya karena terciptanya plasma busur listrik antara fasa bus bar satu dengan fasa bus bar lainnya, netral atau *ground* [2]. Plasma energi yang memicu terjadinya *Arc Flash* mengakibatkan beberapa kerugian fisik berupa ledakan bola api yang terhempas ke luar, panas yang dihasilkan ledakan bola api ini jika mengenai tubuh manusia dapat menyebabkan luka bakar yang parah. Cahaya gelombang bertekanan yang dihasilkan oleh ledakan dapat merusak dan menghempaskan orang ataupun peralatan yang ada disekitarnya. Sementara itu bunyi ledakan dapat mengganggu pendengaran dan konduktor yang meleleh menjadi tetesan-tetesan logam cair panas yang berpecah ke segala penjuru. Secara fisik korban sangat mungkin menderita cedera kronis yang parah dan efek traumatik berkepanjangan berupa kecemasan, depresi, ataupun

gejala psikologis lainnya [4]. Perencanaan kerja dan kepatuhan merupakan syarat mutlak untuk mengurangi terjadinya kemungkinan kecelakaan tragis akibat *Arc Flash*. Syarat ini berupa rincian strategi untuk mengeliminasi dan menanggulangi bahaya *Arc Flash*. Tindakan penyelamatan dan pencegahan yang pertama dapat berupa eliminasi atau substitusi, yaitu pengecekan dan pengujian secara berkala terhadap peralatan dan grounding. Tindakan lainnya berupa teknik kontrol yaitu berupa tindakan *preventif* agar tidak mendekati lokasi dan mengunci serta meninggikan pagar terhadap peralatan dan lokasi bahaya *Arc Flash*. Tindakan selanjutnya adalah berupa administrasi kontrol yang mencakup pelatihan kepada para pekerja akan bahaya dan cara penyelamatan serta tindakan pencegahan *Arc Flash*. tindakan selanjutnya adalah berupa *Personal Protective Equipment* atau PPE yang merupakan peralatan pelindung pribadi yang biasanya dianggap paling efektif sebagai metode perlindungan. PPE mencakup sarung tangan, pakaian tahan api dan pelindung wajah sesuai dengan standar yang telah ditentukan [4]. Dan tindakan terakhir adalah dengan mengurangi insiden energi dari *Arc Flash* itu sendiri. Dengan pengurangan energi yang dilepaskan, akan mengurangi juga dampak bahaya dari *Arc Flash* ini. Semakin kecil insiden energi tentu lebih aman untuk pekerja dan juga baik untuk lifetime dari peralatan itu sendiri.



Gambar 2.1. Arc flash Insiden

Sumber: <https://electrical-engineering-portal.com/arc-flash-important>



Gambar 2.2. Dampak *Arc Flash* pada BUS

Sumber: [www.giuffridaengineering inc.](http://www.giuffridaengineeringinc.com)



Gambar 2.3. *Outfit* pelindung diri

Sumber: [https://oil-rings-arc flash-study1.](https://oil-rings-arc-flash-study1.com)

### 2.3.1 Perhitungan Energi Arc Flash Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 .

Rumus Dasar Pencarian Energi Arc Flash persamaan yang digunakan untuk menghitung besaran energi yang terjadi pada saat peristiwa *arc flash* adalah sebagai berikut

$$I_g E_n = K_1 + K_2 + 1081 \cdot \log(I_a) + 0.0011G \quad [1]$$

$$E = 4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \frac{610^x}{D^x} \quad [2]$$

Dimana :

E : energi dalam J/cm<sup>2</sup>

C<sub>f</sub> : faktor kalkulasi 1.0 untuk tegangan dibawah 1 kV dan 1.5 untuk diatas 1 kV

K<sub>1</sub> : -0,792 untuk konfigurasi terbuka dan -0,555 untuk konfigurasi tertutup

K<sub>2</sub> : 0 untuk tidak diketanahkan dan system HRG dan -0,133 untuk system diketanahkan

I<sub>a</sub> : magnitude arus busur api

G : jarak antar konduktor (mm)

t : durasi busur api

x : jarak eksponen

D : jarak busur api ke pekerja

*Rumus Dasar Pencarian Durasi Waktu Terjadinya Arc Flash*

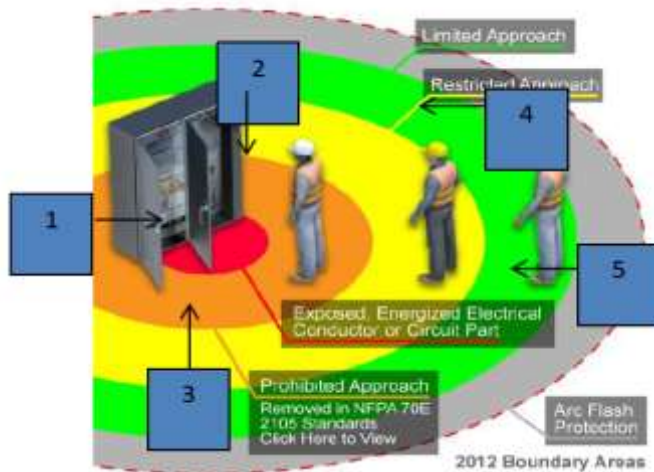
$$t = \frac{E \cdot (0.20) \cdot 41667}{(4.184) \cdot C_f \cdot 10^{(k_1+k_2+1.081 \cdot \log(I_a)+0.0011G)} \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)} \quad [3]$$

### 2.3.2 Kategori Arc Flash

Menurut standart IEEE 1584-2002 terdapat beberapa kategori yang didasarkan kepada besarnya energy dalam satuan  $\text{cal/cm}^2$  :

- Kategori 0 : besar energi dari  $0-1.2 \text{ cal/cm}^2$
- Kategori 1 : besar energi lebih dari  $1.2 \text{ cal/cm}^2$  sampai  $5 \text{ cal/cm}^2$
- Kategori 2 : besar energi lebih dari  $5 \text{ cal/cm}^2$  sampai  $8 \text{ cal/cm}^2$
- Kategori 3 : besar energi lebih dari  $8 \text{ cal/cm}^2$  sampai  $25 \text{ cal/cm}^2$
- Kategori 4 : besar energi lebih dari  $25 \text{ cal/cm}^2$  sampai  $80 \text{ cal/cm}^2$

Definisi dari busur api (*arc flash*) adalah pelepasan energi panas yang sangat tinggi akibat adanya *arching fault* ataupun *bolted fault*. *Arching fault* sendiri merupakan arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor dengan konduktor atau konduktor dengan tanah. Sedangkan *bolted fault* menggunakan perantara konduktor sebagai jalur arus gangguannya.



Gambar 2.4. Arc Flash Boundary Areas

Sumber: [msamc.org/arc\\_flash\\_overview27.html](http://msamc.org/arc_flash_overview27.html)

Berikut ini adalah keterangan dari Gambar 2.4 :

- 1) Menunjukkan lokasi kejadian *Arc Flash* pada panel *switchgear*;
- 2) Jarak aman yang disarankan bagi pekerja dengan menggunakan pakaian pelindung level tertinggi dari lokasi kejadian *Arc Flash* dengan level energi tertinggi;
- 3) Jarak aman yang disarankan bagi pekerja dengan menggunakan pakaian pelindung level menengah dari lokasi kejadian *Arc Flash* dengan level energi tertinggi;
- 4) Jarak aman yang disarankan bagi pekerja dengan menggunakan pakaian pelindung level rendah dari lokasi kejadian *Arc Flash* dengan level energi tertinggi;
- 5) Jarak yang dianjurkan bagi pekerja tanpa menggunakan pakaian pelindung.

## 2.4 Personal Protective Equipment (PPE)

Personal protective equipment merupakan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan oleh personal yang akan masuk ke area rawan Arc Flash. Perlengkapan ini telah diatur berdasarkan standar NFPA 70E-2009 [3]. PPE dapat dikategorikan berdasarkan besarnya energi yang dihasilkan oleh Arc Flash (incident energy) serta dampak yang diakibatkan oleh Arc Flash hazard terhadap anggota tubuh manusia (workers). Contoh perlengkapan keselamatan yang harus digunakan ketika masuk ke area rawan Arc Flash dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Personal Protective equipment (PPE)

Sumber: *electrical-ppe-hazard-risk-categories.jpg*



Alat pelindung diri bagi pekerja dikelompokkan berdasarkan kategori insiden energi yang dilepaskan seperti terlihat pada tabel 2.1.berikut:

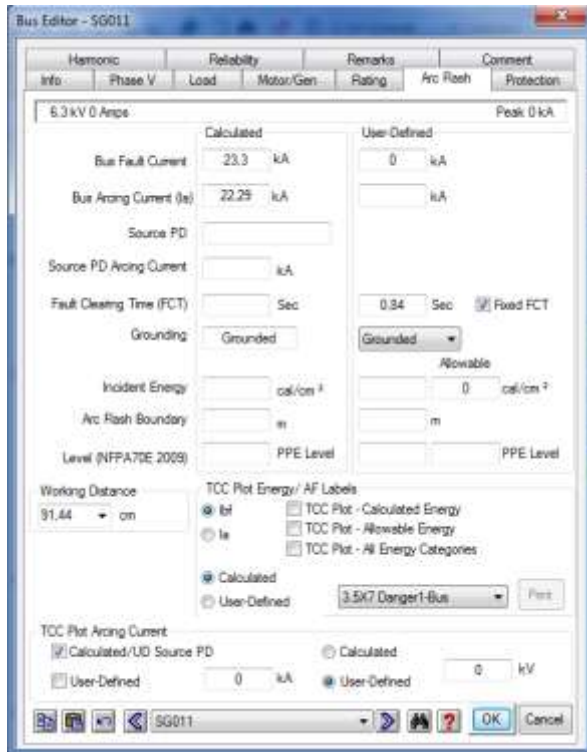
Tabel 2.1. Kategori Alat pelindung diri

<b>Category</b>	<b>Cal/cm<sup>2</sup></b>	<b>Pakaian</b>
0	1-2	Pakaian cotton Sepatu kerja
1	4	Pakaian lengan pendek Celana panjang Pelindung mata Kacamata
2	8	Pakaian lengan panjang Celana panjang Pelindung mata Kacamata
3	25	Pakaian lengan panjang Celana panjang Jaket Helm Kacamata Flash suit hood Pelindung telinga Sarung tangan kulit Sepatu kerja kulit
4	40	Pakaian lengan panjang Celana panjang Jaket Helm Kacamata Flash suit hood Pelindung telinga Sarung tangan kulit Sepatu kerja kulit

## 2.5 Waktu Kliring atau Fault clearing time (FCT)

fault clearing time (FCT) atau Waktu kliring adalah jumlah waktu yang dibutuhkan perangkat perlindungan sirkuit untuk menghapus kesalahan. Sebuah arc flash terjadi ketika terjadi hubungan pendek (gangguan) di dalam peralatan. Setelah dimulai, blitz akan terus berkembang hingga perangkat pelindung arus lebih dulu, seperti pemutus sirkuit atau sekering membuka rangkaian mematikan pasokan energi. Jika sekering yang berhembus cepat atau memiliki apa yang disebut waktu kliring pendek dipasang di sirkuit, flash busur berikutnya akan kecil karena tidak punya waktu untuk tumbuh. Jika sirkuit bergantung pada sekering yang di miliki waktu kliring yang lama, flash dapat meluas ke level yang berbahaya maka Perhitungan fault clearing time (FCT) merupakan hal yang penting karena berhubungan dengan kestabilan sistem akibat gangguan besar seperti hubung singkat. Bekerjanya pemutus daya untuk mengisolasi gangguan tidak menjamin sistem akan kembali stabil. Sistem akan kembali stabil apabila gangguan dihilangkan sebelum waktu pemutus kritisnya dan sistem tidak stabil bila gangguan dihilangkan setelah waktu pemutus kritisnya.

Durasi dari insiden arc flash bergantung pada fault clearing time dari peralatan proteksi di atasnya. Di paiton unit 7/8 terdapat dua tipe bus protection yang digunakan yaitu relay differensial dan relay arus lebih. Perhitungan arc flash menggunakan fault clearing time (FCT) berdasarkan pada typical dari relay operatio yang digunakan. Perhitungan fault clearing time (FCT) adalah sebagai berikut:  
$$FCT(\text{second}) = (\text{Protection Relay} + \text{Locout Relay} + \text{Circuit Breaker})\text{operating time}$$
 (3) Untuk menentukan fault clearing time relay proteksi pada setiap bus, arus gangguan pada setiap bus disimulasikan dengan menggunakan ETAP dan single line. sesuai ketentuan dari PLN waktu pemutus tidak melebihi 0,3 – 0,8 detik.. Analisis Hubung Singkat Dalam analisis fault clearing time, terlebih dahulu dilakukan analisis hubung singkat. Nilai arus hubung singkat menjadi dasar dalam perhitungan analisis arc flash. Dari hasil analisis arus hubung singkat pada switchgear 13.8 kV didapatkan hasil arus hubung singkat pada switchgear 13.8 Bus A, bus B maupun Bus C menggunakan software ETAP didapatkan nilai sebesar 62.91 kA. Dengan menggunakan Software ETAP besar insiden energi arc flash (cal/cm<sup>2</sup>) dapat diketahui dengan terlebih dahulu menghitung besar arus hubung singkat dan fault clearing time dari peralatan proteksi.



Gambar.2.6.Letak setting FCT(*fault clearing time*) pada ETAP.

Sumber: *Software Etap Power Station*

Besar insiden energy arc flash berbanding lurus dengan nilai fault clearing time. 5. Untuk menurunkan besar insiden energy arc flash pada switchgear 6.9 kV, resetting relay overcurrent tidak dapat dilakukan karena koordinasi timing relay sudah minimum. 6. Desain ulang relay proteksi dengan menambahkan relay differential pada switchgear 6.9 kV dapat menurunkan besar insiden energy arc flash menjadi 5.32 cal/cm2 dengan arc flash kategori 2.

Penambahan Rele jarak digunakan sebagai pengaman pada saluran transmisi karena kemampuannya dalam menghilangkan gangguan (*fault clearing time*) dengan cepat dan penyételannya yang relatif mudah.[6]

Keunggulan dari rele tersebut perlu adanya sinkronisasi yang lebih baik untuk meningkatkan kinerja pengamanan itu sendiri, mengingat ketidak stabilan sistem transmisi terhadap seberapa besar nilai gangguan yang muncul, maka strategi pengamanan harus disesuaikan dengan perubahan dinamis dalam penyetelan peralatan yang ada.[7].

Gangguan pada saluran udara biasanya yang sering terjadi adalah hubung singkat, beban lebih, petir, dan lain[7].

Hubung singkat sendiri dibagi menjadi beberapa bagian yaitu

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah,
2. Gangguan hubung singkat dua fasa,
3. Hubung singkat dua fasa ke tanah, dan gangguan hubung singkat tiga fasa.

Oleh karena itu pengamanan pada saluran transmisi perlu mendapatkan perhatian yang sangat serius dalam perencanaannya serta dalam penganalisaan gangguan yang ada. Fungsi dari analisa gangguan adalah sebagai penentuan sistem proteksi yang akan digunakan, karena bagaimanapun dalam melayani konsumen kehandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik sangatlah bergantung pada sistem proteksi yang digunakan.

## **2.6 Gangguan pada Sistem Kelistrikan**

Suatu sistem kelistrikan sangat memungkinkan mengalami suatu gangguan yang mengakibatkan keadaan tidak normal pada rangkaian sistem tersebut. Berbagai macam gangguan ini menyebabkan ketidakberlangsungan kerja sistem dan mempunyai efek merusak kontinuitas pelayanan dan peralatan. Untuk melindungi peralatan dari dampak kerusakan gangguan maka sistem proteksi tenaga listrik harus dapat mengisolasi arus gangguan (fault current) dan menjaga kontinuitas daya pada bagian sistem yang tidak mengalami gangguan. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu: 1. Gangguan yang berasal dari dalam sistem 2. Gangguan yang berasal dari luar sistem Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain [2]: 1. Tegangan dan arus abnormal 2. Pemasangan yang kurang baik 3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan 4. Beban lebih 5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya. Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain [2]: 1. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi terutama pada sistem

kelistrikan bawah tanah. 2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (breakdown). 3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia. Selain gangguan-gangguan diatas terdapat gangguan langsung pada sistem kelistrikan berupa: 1. Gangguan hubung singkat 3 fasa 2. Gangguan hubung singkat 2 fasa 3. Gangguan hubung singkat 1 fasa 4. Gangguan beban lebih (overload), dan 5. Gangguan tegangan lebih (over voltage) Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi: 1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen. 2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker (CB) oleh pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. 16 Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

## **2.7 PT. Semen Gresik**

Ruang lingkup kegiatan usaha Perseroan menurut Anggaran Dasar adalah:

- a. Menjalankan usaha dalam bidang industri, khususnya dalam bidang industry persemenan;
- b. Menjalankan usaha dalam bidang produksi, menambang dan/atau menggali dan/atau mengolah bahan-bahan mentah tertentu menjadi bahan-bahan pokok yang diperlukan dalam industri persemenan dan/atau industri lainnya. Mengolah bahan tersebut menjadi berbagai macam semen dan/atau menjadi hasil industri lainnya serta mengolah berbagai macam semen dan/atau hasil industri tersebut menjadi barang-barang jadi yang lebih bermanfaat;
- c. Menjalankan usaha dalam bidang perdagangan, pemasaran dan distribusi berbagai macam industri persemenan serta hasil barang-barang hasil produksi lainnya yang menggunakan bahan baku semen atau bahan baku lainnya baik di dalam maupun di luar negeri;
- d. Menjalankan usaha dalam bidang pemberian jasa untuk industri persemenan dan/atau industri lainnya;
- e. Memberikan jasa pengelolaan perusahaan dan jasa konsultasi manajemen kepada anak perusahaan;
- f. Menjalankan usaha di bidang energi terbarukan maupun energi tidak terbarukan, melakukan eksplorasi, produksi, konversi energi, distribusi, dan pembangkit tenaga listrik;
- g. Menjalankan pengelolaan limbah B3 (Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun) berupa rangkaian kegiatan dan/atau kegiatan-kegiatan yang mencakup reduksi, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan limbah B3, termasuk penimbunan hasil pengolahan tersebut.

## **2.8 Sistem Kelistrikan**

Sistem kelistrikan pada PT. Semen Indonesia Gresik dirancang untuk memenuhi operasional perusahaan yang memanfaatkan energi listrik. Energi listrik tersebut digunakan sebagai operasional mesin pada pabrik dan operasional lainnya. Untuk itu diperlukan sistem kelistrikan yang handal agar kontinuitas operasional perusahaan tetap beroperasi. Salah satu cara untuk menjaga kontinuitas pelayanan listrik yaitu dengan cara meminimalisir gangguan hubung singkat. Gangguan hubung

singkat tersebut dapat menimbulkan *Arc Flash*, sehingga diperlukan analisa sistem kelistrikan pada PT. Semen Indonesia pabrik Gresik.

Sistem kelistrikan di industri merupakan sistem kelistrikan yang cukup besar dan kompleks. Sistem kelistrikan hanya dipasok dari PLN yang terintegrasi dengan system Jamali, dengan tegangan suplai sebesar 150 kV melalui Gardu Induk. Distribusi kelistrikan adalah sebagai berikut :

1. Tegangan 150 kV.

Jaringan utama dari main substation menggunakan transformator step down 150/20 kV ke substation menggunakan system tegangan 20 kV

2. Tegangan 20 kV.

Jaringan pada substation menggunakan transformator menggunakan transformator step down 150/20 kV

3. Tegangan 6,3 kV

Jaringan dari substation menggunakan transformator step down 20/6,3 kV ke electrical room menggunakan tegangan 6,3 kV.

4. Tegangan 380 V

Jaringan dari *electrical room* menggunakan transformator *step down* 20/0,4 kV menuju beban LV menggunakan tegangan 380 V.

5. Tegangan 220 V dan 110 V

Jaringan beban untuk keperluan control dilayani dengan tegangan 220 V dan 110 V melalui transformator khusus.

Listrik adalah sumber energi yang sering digunakan sehari-hari. Banyak sekali manfaat yang bisa kita dapatkan dari sumber listrik, akan tetapi dibalik manfaat energi listrik tentu ada juga kerugiannya. Listrik sering disebut sebagai "*silent killer*" karena tidak bisa dicicipi, dilihat, didengar, atau dibaui. Karena telah menjadi bagian kehidupan sehari-hari yang akrab, kebanyakan orang tidak terlalu memikirkan bahaya yang akan terjadi dan terlalu mengandalkan sistem proteksi dari PLN. Hal tersebut tentu sangat fatal apalagi jika sistem listrik yang digunakan sangat kompleks. Banyak sekali gangguan listrik yang tidak dapat diprediksi dengan baik oleh PLN contohnya adalah *arc flash*. Definisi dari *arc flash* atau busur api adalah pelepasan energi panas yang sangat tinggi akibat adanya gangguan arus hubung singkat [1]. Standar NFPA 70E-2004 menetapkan fenomena *arc flash* sebagai kondisi yang berbahaya yang berhubungan dengan pelepasan energi yang disebabkan

busur api. Energi akan dilepaskan melalui udara mengalir ke fase yang lain, netral, atau mengalir ke tanah. *Arc flash* merupakan fenomena percikan api yang timbul akibat adanya arus gangguan hubung singkat [5].

## **2.9 Software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)**

ETAP merupakan *software* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. ETAP dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. ETAP didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi sistem tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC networks*), desain jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (*ground grid*), GIS, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/ DC control sistem diagram. (D.William, and Jr.Stevenson 1990)

ETAP *Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. *Software* ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misalnya generator, data beban, data saluran, dll. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektris yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan data *base* untuk keperluan itu.

ETAP *Power Station* dapat digunakan untuk menggambarkan *single line* diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor *starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *Optimal Capacitor Placement*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah: (D.William, and Jr.Stevenson 1990)



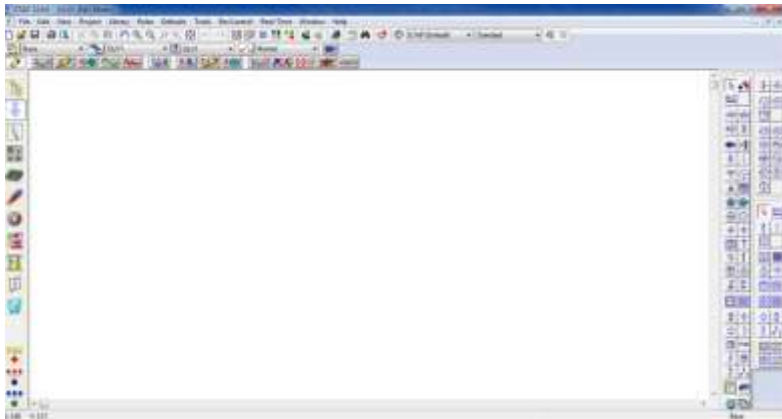
- **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.

- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisis.

- **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI*, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.

- **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisis.

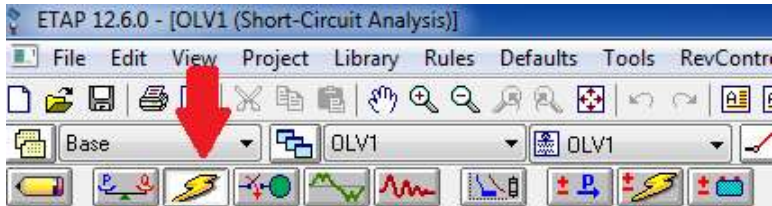
- Kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisis akan sangat membantu hasil simulasi/analisis dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.



Gambar 2.5. Tampilan software *EtapPower Station*

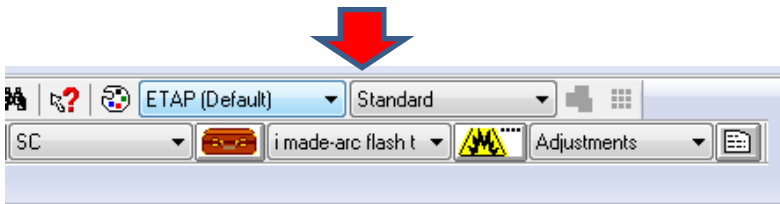
Sumber: software *Etap Power Station*

## 2.10 Metode Hubung Singkat *Short Circuit* pada ETAP Power Station.



Gambar 2.6. Tampilan *Icon running short circuit*

Sumber: *Software Etap Power Station*



Gambar 2.7. Tampilan *Icon Study case short circuit*

Sumber: *Software Etap Powes station*

Hubung singkat (*short-circuit*) adalah suatu peristiwa terjadinya hubungan bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadinya aliran arus tidak normal (sangat besar) yang biasa disebut arus hubung singkat. Adanya hubung singkat menimbulkan arus lebih yang pada umumnya jauh lebih besar daripada arus pengenal peralatan dan terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik, sehingga bila gangguan tidak segera di hilangkan dapat merusak peralatan dalam sistem tersebut.

Besarnya arus hubung singkat yang terjadi sangat di pengaruhi oleh jumlah pembangkit yang masuk sistem, dan ada 2 jenis gangguan hubung singkat berdasarkan jenis arus gangguannya yaitu gangguan simetris dan gangguan asimetris. Gangguan simetris adalah gangguan dengan arus yang seimbang dan gangguan asimetris adalah gangguan dengan arus yang tidak seimbang dan perhitungan tegangan dan arus.

## 2.11 Hasil Penelitian Terkait

Hasil penelitian yang telah dilakukan dan berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut penelitian mengenai riset ini adalah [1] meneliti tentang *Studi perencanaan koordinasi proteksi mempertimbangkan Busur Api pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002* menyimpulkan bahwa Berdasarkan hasil studi koordinasi proteksi dan busur api pada sistem kelistrikan di PT. Semen Indonesia pabrik Aceh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Resetting* dilakukan dengan menyesuaikan *grading time* rele pengaman berdasarkan koordinasi proteksi menyebabkan insiden energi yang ada semakin kecil, karena pada kondisi *existing* waktu pemutusan pada rele pertama terlalu besar sehingga menyebabkan nilai insiden energi menjadi besar.
2. *Resetting* dengan penambahan rele differensial dilakukan karena pada bus masing-masing tipikal masih terdapat nilai insiden energi yang melebihi batas yang diizinkan oleh NFPA 70E, sehingga diperlukan rele differensial untuk mempercepat waktu pemutusan gangguan sehingga nilai insiden energi menjadi kecil.
3. Rele differensial menjadi pengaman utama, sedangkan rele arus lebih menjadi pengaman *back up* dari rele differensial.

[2] meneliti tentang **Analisis dan Reduksi Bahaya Arc Flash pada Sistem Kelistrikan** menyimpulkan bahwa Analisis ini berguna untuk menentukan kategori

*electrical room* (ER) pada industri telah sesuai dengan standart yang berlaku untuk besarnya energi *Arc Flash*. Untuk perancangan sistem kelistrikan di pabrik ini perlu diperhatikan jarak antar konduktor dan x faktor yang disesuaikan dengan IEEE standart 1584-2002. Untuk mereduksi bahaya energi *Arc Flash* terhadap pekerja harus ditetapkan alat pelindung diri yang disesuaikan dengan kategori besarnya energi *Arc Flash* serta mengacu pada standart NFPA 70 E. Setiap *electrical room* (ER) pada industry perlu diberi label peringatan akan bahaya *Arc Flash* untuk menambah keamanan para pekerja di tempat tersebut. Penulisan kali ini hanya ditujukan untuk medium voltage 6,3 kV belum termasuk pada level tegangan 0,4 kV yang disarankan untuk pengembangan selanjutnya.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Dalam implementasi Gangguan Insiden energi *arc flash* ini menggunakan acuan standar IEEE 1584-2002 serta pengamanan *outfit* acuan standart NFPA 70E-2004. Dimana pengujian sistem yang ada menggunakan software ETAP *Power Station*. ETAP sendiri merupakan software yang sering digunakan untuk melakukan analisa mengenai energi listrik karena didalamnya banyak terdapat komponen-komponen yang dapat di simulasikan dalam suatu sistem. Simulasi dilakukan dengan short circuit analisis dan analisis yang ada didalam software ETAP untuk mengetahui kinerja sistem dan besar gangguan insiden yang terjadi.

#### **3.1 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan metode survey yaitu langsung ke lokasi penelitian instansi yakni seperti PT SEMEN GRESIK yang berkapasitas sebesar 90 MW untuk pengambilan data. Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang telah diarsip dan disediakan oleh masing-masing instansi dan siap diolah menjadi data penelitian.

#### **3.2 Teknik Pengumpulan Data**

##### **3.2.1 Observasi lapangan**

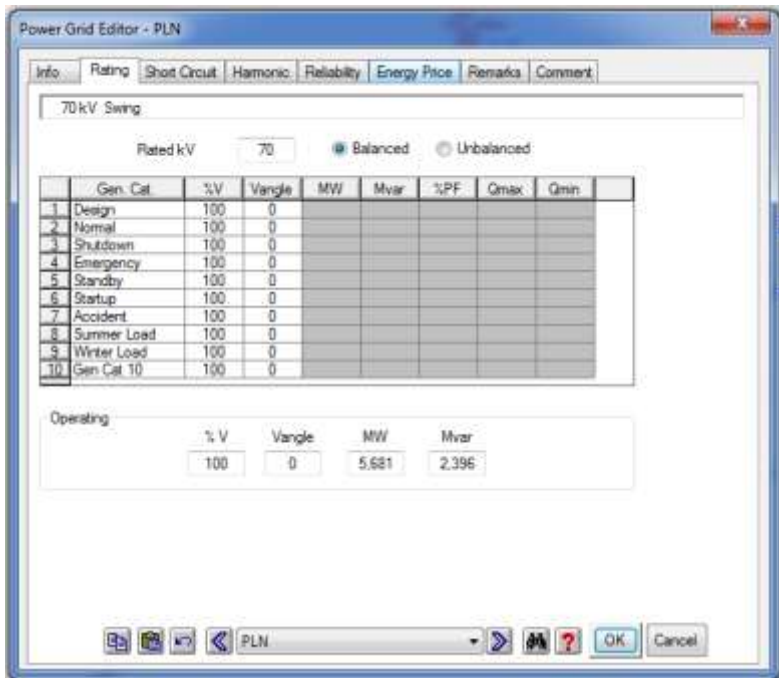
Dalam teknik ini penulis terjun langsung kelapangan guna mengetahui kondisi secara langsung seperti apa terutama mengenai topik yang akan di teliti dalam skripsi ini, yaitu mengenai insiden *arc flash* yang ada disana sebagai bahan untuk kelanjutan pengambilan data.

##### **3.2.2 Wawancara**

Wawancara terbuka dilakukan berdasarkan data observasi lapangan yang didapat mengenai permasalahan yang terjadi disana yaitu adanya insiden *Arc flash* yang terjadi. Wawancara juga diharapkan dapat membantu penyelesaian skripsi ini, baik didalam wawancara terpisah maupun didalam grup diskusi terarah.

### 3.3 Masukan Data Power Grid Pada Software Etap Powerstation

Masukan data di perlukan untuk bisa menjalankan suatu program pada *software etap power station* yang dilakukan pada PT. SEMEN GRESIK yang dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.1 Input Data Power Grid

### 3.4 Masukan Data Transformator pada *Software* Etap Power Station

Masukan data transformator juga di perlukan untuk bisa menjalankan program pada *software etap powerstation* dan data yang di peroleh dari hasil pengambilan data yang dilakukan pada PT. SEMEN GRESIK kemudian di masukan pada rating transformator yang di tunjukan pada gambar berikut :

The screenshot shows the '2-Winding Transformer Editor - SGTx00' window. The main data entry area contains the following information:

Reliability	Remarks	Comment					
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
60 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C							70 20 kV
Voltage Rating		kV	FLA	Bus kVnom		Z Base	
Prim.	70	494,9	70		MVA		60
Sec.	20	1732	20				
Other 65							
Power Rating				Alert - Max			
MVA				MVA			
Rated	60	Other 65		37,701			
Derated	37,701			<input type="radio"/> Derated MVA			
% Derating		37,2		<input checked="" type="radio"/> User-Defined			
MFR				Installation			
				Altitude			
				3300 m			
				Ambient Temp.			
				30 °C			
Type / Class							
Type	Sub Type		Class		Temp. Rise		
Liquid-Fill	Other		Other		65		

At the bottom of the window, there are navigation icons, a dropdown menu set to 'SGTx00', and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 3.2 Input Data Transformator 1

2-Winding Transformer Editor - SGTX01

Reliability			Remarks			Comment	
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
60 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						20	6.3 kV
Voltage Rating		kV	FLA	Bus kVnom		Z Base	
Prim.	20	1732	20		MVA		
Sec.	6.3	5499	6.3		60		
		Other 65					
Power Rating		MVA		Alert - Max			
Rated	60	Other 65		MVA			
Derated	37.701			37.701			
				<input type="radio"/> Derated MVA <input checked="" type="radio"/> User-Defined			
				Installation			
				Altitude			
				3300 m			
				Ambient Temp.			
				30 °C			
		MFR					
Type / Class							
Type	Sub Type		Class		Temp. Rise		
Liquid-Fill	Other		Other		65		
<input type="button" value="Print"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Back"/>		<input type="button" value="Previous"/> SGTX01 <input type="button" value="Next"/>		<input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Info"/>		<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Gambar 3.3 Input Data Transformator 2

2-Winding Transformer Editor - SGTX02

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
60 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						20	6,3 kV
Voltage Rating		kV	FLA	Bus kVnom		Z Base	
Prim.	20	1732	20		MVA		
Sec.	6,3	5499	6,3		60		
Other 65							
Power Rating					Alert - Max		
MVA					MVA		
Rated	60			37,701			
Other 65					<input type="radio"/> Derated MVA <input checked="" type="radio"/> User-Defined		
Derated	37,701			Installation			
% Derating					Altitude		
37,2					3300 m		
MFR					Ambient Temp.		
					30 °C		
Type / Class							
Type	Sub Type		Class		Temp. Rise		
Liquid-Fill	Other		Other		65		
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>							

Gambar 3.4 Input data Transformator 3



2-Winding Transformer Editor - SGTX03

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
60 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						20	6.3 kV
Voltage Rating		FLA		Bus kVnom		Z Base	
Prim.	kV: 20	1732	20		MVA		60
Sec.	6.3	5499	6.3				
		Other 65					
Power Rating		Alert - Max					
MVA		MVA					
Rated	60	0,013					
Other 65		<input type="radio"/> Derated MVA <input checked="" type="radio"/> User-Defined					
Derated	37,701						
% Derating		Installation					
37,2		Altitude					
		3300 m					
		Ambient Temp.					
		30 °C					
		MFR					
Type / Class		Sub Type		Class		Temp. Rise	
Liquid-Fill		Other		Other		65	

SGTX03

OK Cancel

Gambar 3.5 Input Data Transformator 4

### 3.5 Masukan Data Beban pada *Software* Etap Power Station

Masukan data beban juga di perlukan untuk bisa menjalankan program pada *software etap powerstation* dan data yang di peroleh dari hasil pengambilan data yang dilakukan pada PT. SEMEN GRESIK kemudian di masukan pada data beban yang di tunjukan pada gambar berikut :

The screenshot shows the 'Induction Machine Editor - Mtr1' window. It contains several sections for entering motor data:

- Header:** Cable/V/d, Cable Amp, Protection, Reliability, Remarks, Comment.
- Info:** Nameplate, Imp, Model, Inertia, Load, Start Dev, Start Cat.
- Motor Info:** 1 7100 HP 6,3 kV (Cable Info not available).
- Ratings:** Design (Other), FL (100%, 75%, 50%), NL (0%), OL (100%).
- HP:** 7100, kV: 6,3, % PF: 93,18, 93,18, 93,18, 0, 93,18.
- MVA:** 6,006, FLA: 550,4, % Eff: 94,6, 94,6, 94,6, 0, 94,6.
- %FLA:** 100, 75, 50, 0, 100.
- % Slip:** 0,05, RPM: 1499, Poles: 4, RPM: 1500, SF: 1.
- Library:** None.
- Loading Table:**

Loading Category	% Loading	Motor Load			Feeder Loss	
		HP	MW	Mvar	MW	Mvar
1 Design	100	7100	5,597	2,18	0	0
2 Normal	90	6390	5,037	1,962	0	0
3 Brake	0	0	0	0	0	0
4 Winter Load	0	0	0	0	0	0
5 Summer Load	0	0	0	0	0	0
6 FL Reject	0	0	0	0	0	0
7 Emergency	0	0	0	0	0	0
- Operating Load:** 5,597 MW +j 2,18 Mvar.

Gambar 3.6. Input Data Beban 1 Motor 1

Lumped Load Editor - Lump2

Info Nameplate Short-Circuit Dyn Model Reliability Remarks Comment

6.3 kVA 6.3 kV (80% Motor 20% Static)

Model Type  
Conventional Rated kV 6.3 Calculator...

Ratings

kVA	kW	kvar	% PF	Amp
6.3	5,355	3,319	85	0,577

Load Type  
Constant kVA 0 80% 100  
Constant Z 100 20% 0

Motor Load			Static Load			
	Loading Category	% Loading	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	4,28	2,65	1,07	0,66
2	Normal	100	4,28	2,65	1,07	0,66
3	Brake	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0

Operating 4,284 2,655 1,06 0,657 kW +j kvar

File Edit View Help Lump2 OK Cancel

Gambar 3.7. Input Data Beban 2

Lumped Load Editor - Lump3

Info Nameplate Short-Circuit Dyn Model Reliability Remarks Comment

6,3 kVA 6,3 kV (80% Motor 20% Static)

Model Type  
 Conventional Rated kV  
 6,3 Calculator...

Ratings  
 kVA kW kvar % PF Amp  
 6,3 5,355 3,319 85 0,577

Load Type  
 Constant kVA  
 0 80% 100  
 100 20% 0  
 Constant Z

			Motor Load		Static Load	
	Loading Category	% Loading	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	4,28	2,65	1,07	0,66
2	Normal	100	4,28	2,65	1,07	0,66
3	Brake	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0

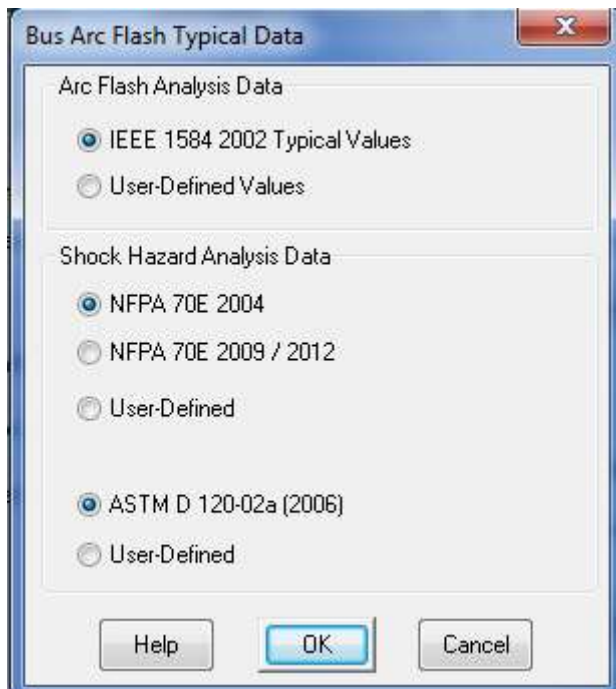
Operating 4,284 2,655 1,06 0,657 kW +j kvar

Lump3 OK Cancel

Gambar 3.8. Input Data Beban 3

### 3.6 Masukan data acuan standart yang di gunakan pada software ETAP power station

Masukan data acuan standart juga di perlukan untuk bisa menjalankan program pada *software etap powerstation* dan data yang di peroleh dari hasil pengambilan data yang dilakukan pada PT. SEMEN GRESIK kemudian di masukan pada data beban yang di tunjukan pada gambar berikut :



Gambar 3.9. Input data Standart acuan

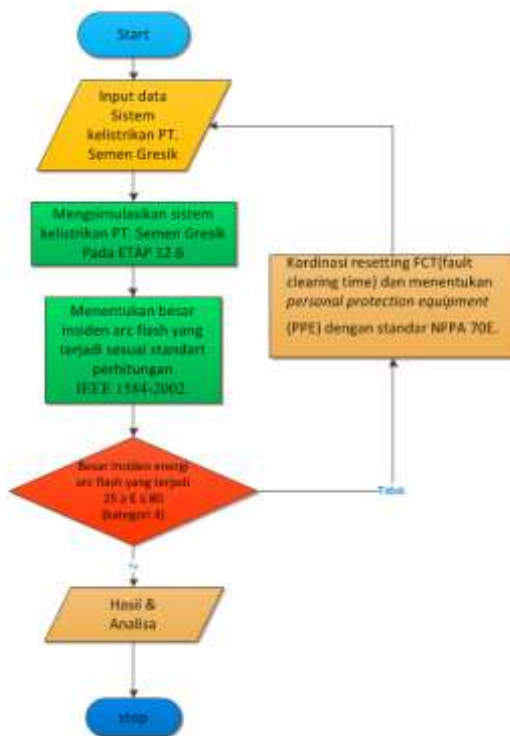
### 3.7 Algoritma Simulasi pada Software ETAP Power Station

Algoritma Analisis reduksi *Arc flash energi* :

1. Mulai.
2. Menggambar *single line diagram*.
3. Input data : Data generator, data transformator, data beban
4. Menjalankan simulasi *short circuit*.
5. Mengehitung Nilai Insiden *Arc Flash* yang terjadi pada Bus.
6. Mengecek apakah nilai insiden melebihi standart IEEE 1584-2002. Pada level 4 :  $25 \geq E \leq 80$ 
  - a. “Tidak” : Melakukan kordinasi *resetting FCT (fault clearing time)* dan menentukan *personal protection equiqment (PPE)* dengan standart NFPA 70E.
  - b. “Ya” : Cek hasil dan analisa hasil.
7. Setelah proses simulasi *short circuit* selesai dan arus gangguan dapat di reduksi dengan melakukan kordinasi *resetting FCT (fault clearing time)*. dan menentukan *personal protection equiqment (PPE)* dengan standart NFPA 70E.
8. Analisis Hasil
9. Selesai.

### 3.8 Metode Pengolahan Data

Dalam mengolah data ini dibutuhkan sebuah variabel yang digunakan sebagai *input*. Variabel yang digunakan berupa sistem kelistrikan. Berikut dijelaskan tentang integrasi analisis *Arc Flash* pada sistem kelistrikan PT. Semen Gresik. Berikut *Flow Chart* analisis *Arc Flash* disajikan dalam Gambar 3.10:

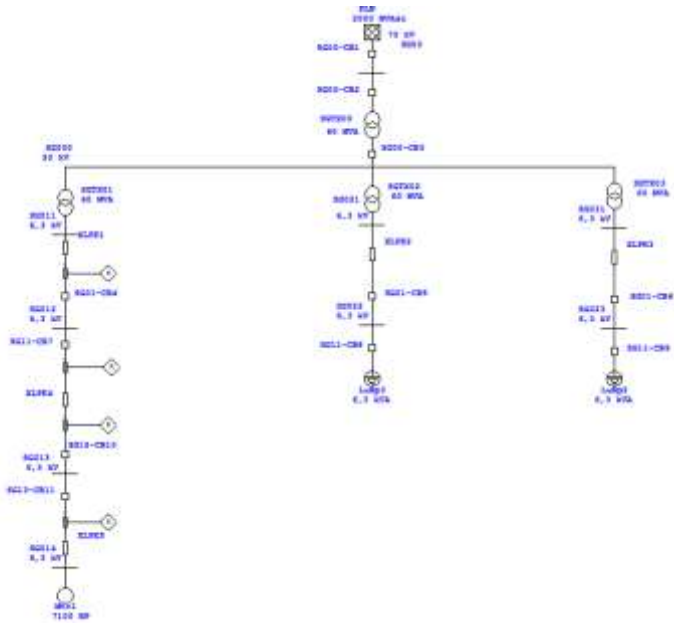


Gambar 3.10 *Flow Chart* Analisis *Arc Flash*

## BAB IV HASIL DAN ANALISIS HASIL

### 4.1 Sistem Kelistrikan PT. Semen Gresik

Dalam mengolah data ini dibutuhkan sebuah rangkaian kelistrikan sebagai bahan uji coba. Berikut dijelaskan tentang sistem kelistrikan PT. Semen Gresik. Gambar diambil disimulasikan ke 10 bus. Berikut rancangan disajikan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. *Single Line* Diagram PT SEMEN GRESIK



### 4.1.1 Data Transformator

Transformator yang ada di PT SEMEN GRESIK sebanyak 4 unit yang di tunjukan tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Data Rating Transformator**

Trafo	Kapasitas	Sisi primer	Sisi sekunder	Number of Phases	Frekuensi
SGTX00	60 MVA	70 kV	20 kV	3	50
SGTX01	60 MVA	20 kV	6,3 kV	3	50
SGTX02	60 MVA	20 kV	6,3 kV	3	50
SGTX03	60 MVA	70 kV	20 kV	3	50

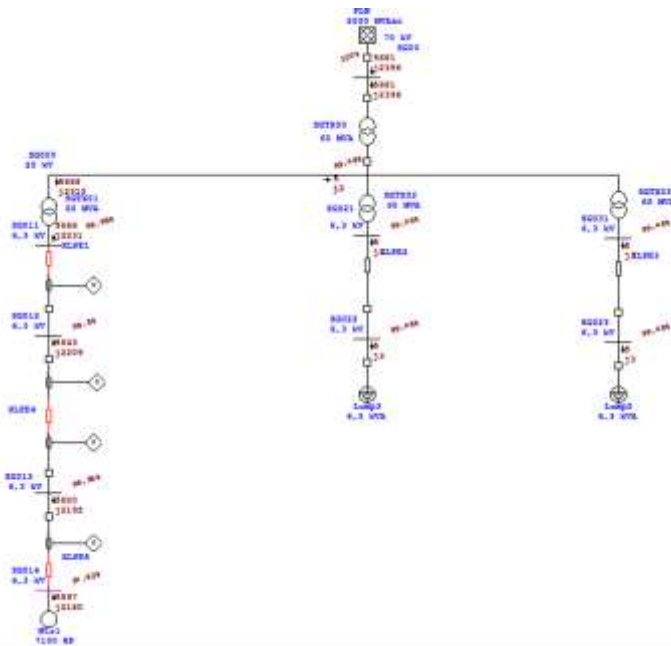
### 4.1.2 Data Beban.

Data beban yang ada di PT SEMEN GRESIK sebanyak 3 beban yang di tunjukan pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Data Beban**

Beban	(MVA)
Mtr1	2,18
Lump2	0,657
Lump3	0,657

## 4.2 Hasil Run load flow



Gambar 4.2 Run load flow sistem kelistrikan

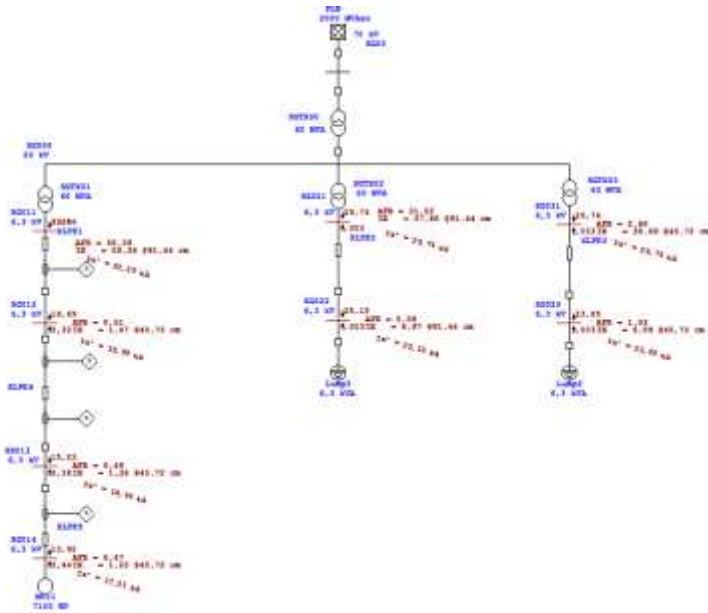
Hasil simulasi load flow menggunakan software ETAP 12.6 pada tabel 1 menunjukkan total rugi – rugi daya aktif sebesar 73,1 kW, dan total rugi – rugi daya reakti sebesar 209,0 kvar.

**Branch Losses Summary Report**

Ckt / Branch	From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	MVar	MW	MVar	kW	kVar	From	To	
SGTX00	5.881	2.396	-0.678	-2.317	1.8	79.1	100.0	99.5	0.52
SGTX01	5.888	2.310	-0.898	-2.231	1.8	78.8	99.5	99.0	0.50
SGTX02	0.025	0.003	-0.025	-0.003	0.0	0.0	99.5	99.5	0.00
SGTX03	0.025	0.003	-0.025	-0.003	0.0	0.0	99.5	99.5	0.00
XLPE1	5.888	2.331	-0.843	-2.209	13.2	22.2	99.0	98.7	0.48
XLPE4	5.842	2.209	-1.423	-2.195	13.2	14.4	98.5	98.1	0.44
XLPE3	5.820	2.195	-0.397	-2.188	13.2	14.4	98.1	97.8	0.44
XLPE2	0.025	0.003	-0.025	-0.003	0.0	0.0	99.5	99.5	0.00
XLPE5	-0.025	-0.003	0.025	0.003	0.0	0.0	99.5	99.5	0.00
Total losses keseluruhan					73.1	209.0			

Tabel 2 menunjukkan aliran daya aktif dan reaktif terbesar mengalir pada bus SG000 Sebesar 5681 MW dan 2396 Mvar. Dikarenakan daya yang masuk kedalam saluran transmisi dan daya yang terpakai oleh beban terbesar terletak pada bus SG000.

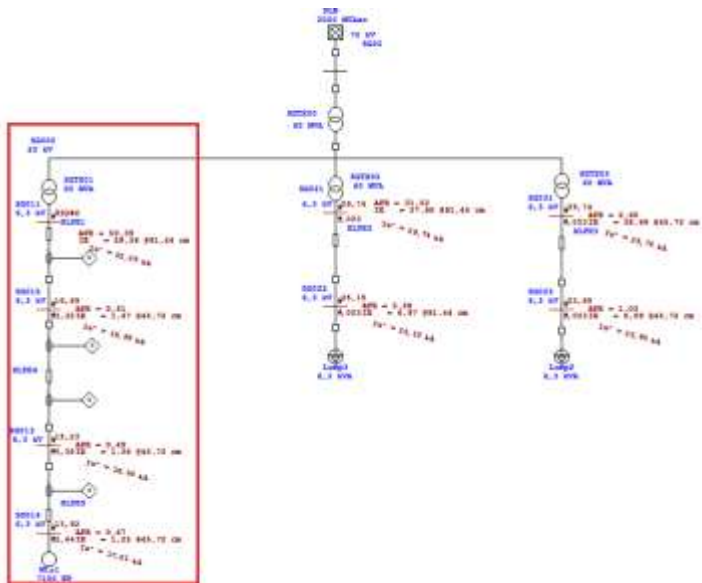
### 4.3 Hasil Run simulasi Arc Flash



Gambar. 4.3. Run simulasi *arc flash*

Gambar 4.3. menunjukkan terdapat insiden Arc Flash pada Bus SG011 yang cukup besar memasuki standart nilai insiden kategori 4. Maka di lakukan resetting FCT (*Fault Clearing Time*) untuk dapat mengurangi nilai insiden yang terjadi.

### 4.3.1 Run Arc Flash Tipikal 1.



Gambar 4.4. single line diagram tipikal 1

Gambar 4.4 pada tipikal 1 menunjukkan terdapat insiden energi Arc Flash pada bus SG011 yang cukup besar memasuki standart insiden kategori 4. Maka akan di lakukan resetting FCT (*Fault Clearing Time*)

#### 4.4 Hasil Simulasi Insiden Energi Arc Flash menggunakan Perangkat Lunak ETAP 12.6.0 (Existing)

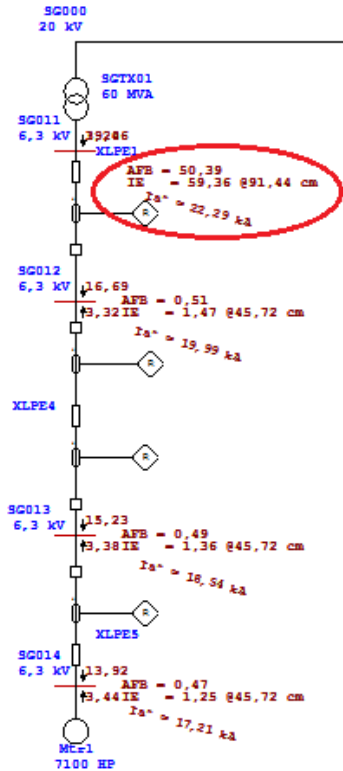
Simulasi insiden energi busur api *arc flash* menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dengan perhitungan berdasarkan standar IEEE 1584-2002. Simulasi dilakukan pada level tegangan menengah 6.3 kV di PT.Semen Gresik. Pada bagian ini akan ditampilkan kondisi koordinasi proteksi *existing*. Data yang diambil contoh yaitu pada tipikal 1. Hasil nilai insiden energi pada tipikal 1 dapat dilihat pada tabel 1.

Table 4.3. Hasil Simulasi Insiden Energi Bus Tipikal 1.

Bus ID	Arus Arcing (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (m)	Kategori Bahaya Busur Api
BUS SG011	22.29	1.94	59,44	50,39	>Level 4
BUS SG012	19.99	0.1	1.47	0.51	Level 1
BUS SG013	18.54	0.1	1.36	0.49	Level 1
BUS SG014	17.21	0.1	1.25	0.47	Level 1

Besar insiden energi berkaitan dengan koordinasi proteksi dan waktu pemutusan CB yang terkordinasi oleh FCT (*Fault Clearing Time*) untuk melokalisir gangguan. Untuk itu akan dilihat koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur dengan beban motor terbesar. Jalur ini melalui 4 rele, yaitu: rele BUS SG011-SG01-CB4, rele BUS SG012-SG11-CB7, rele BUS SG013-SG12-CB10, rele BUS SG014-SG13-CB11 Single line diagram untuk tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.5.

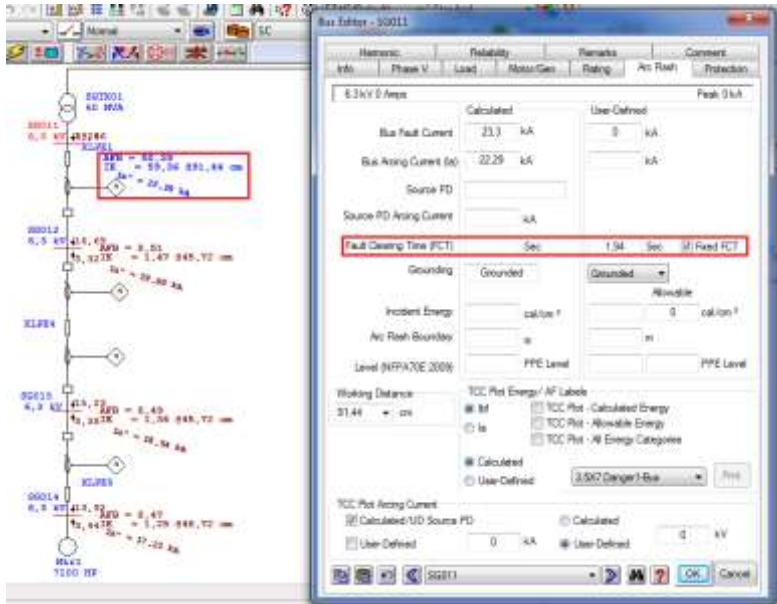
## 4.5 Tipikal bus SG011.



Gambar. 4.5. Tipikal Bus SG011.

Pada gambar 4.5. Terdapat Bus SG011 sebagai pembanding hasil apakah dapat mengurangi insiden *Arc Flash* sebelum di lakukan *resetting FCT (fault Clearing Time)*. Di ambil pembanding pada bus SG011 karena insiden dengan nilai terbesar terletak pada bus tersebut.

## 4.6 Existing BUS SG011.

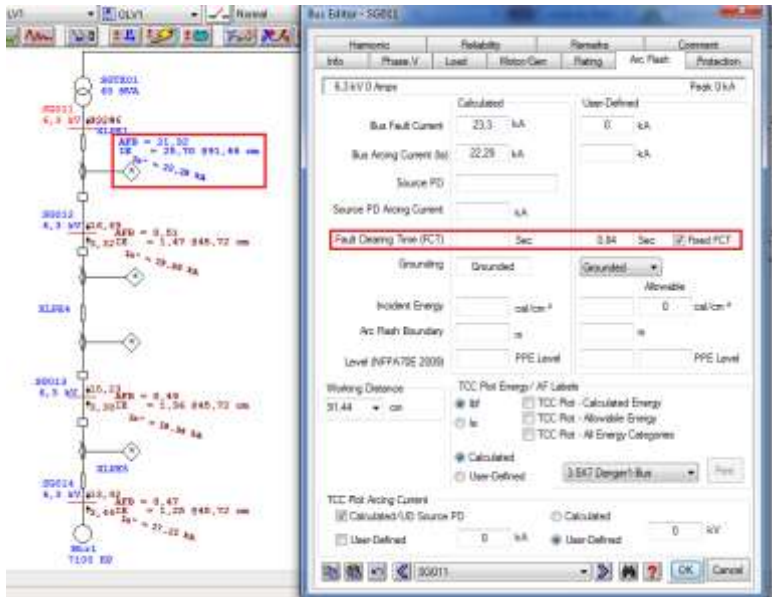


Gambar 4.6. Existing BUS SG011 Perbandingan Sebelum Reseting.

Pada gambar 4.6. yang bertanda merah menunjukkan Bus SG011 dengan nilai insiden sebesar  $59,39 \text{ cal/cm}^2$  memasuki standart nilai insiden kategori 4 pada setting FCT (*Fault Clearing Time*) 1,94 sec.



## 4.7 Resetting BUS SG011.



Gambar.4.7. Perbandingan Bus SG011 setelah resetting.

Pada gambar 4.7. yang bertanda merah dengan melakukan resetting FCT (*fault Clearing Time*) menjadi 0,84 sec. Nilai insiden pada Bus SG011 dapat mengurangi insiden *Arc Flash* menjadi 25,70 cal/cm<sup>2</sup>.

## 4.8 Perhitungan Energi Busur Api (Resetting) dengan Standar IEEE 1584-2002

Untuk perhitungan menggunakan standar IEEE 1584-2002, dengan tegangan system 6,3 kV untuk *switchgear ungrounded system* pada system kelistrikan PT. Semen Gresik ( $C_f = 1,0$ ;  $K_1 = -0,555$ ;  $K_2 = 0$ ;  $G = 153$  mm;  $x = 0,973$ ). Dengan menggunakan persamaan Rumus yang tercantum pada Kajian Pustaka maka, dapat ditentukan besarnya nilai insiden energi sebagai berikut:

- Perhitungan Insiden Energi Bus SG011 pada saat sebelum dilakukan reseting:

Kemudian dengan menggunakan rumus [1]

$$I_g E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot I_g(22,29) + 0,0011 \cdot 153$$

$$I_g E_n = -0,555 + 24,095 + 0,1683$$

$$E_n = 24,818$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 24,818 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \cdot 1,24,818 \cdot \left(\frac{0,8}{0,2}\right) \cdot \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}$$

$$E = 59,19 \text{ cal/cm}^2$$

- Perhitungan Insiden Energi Bus SG011: setelah setting.

Kemudian dengan menggunakan rumus [1]

$$I_g E_n = -0,555 + 0 + 1,081 \cdot I_g(22,29) + 0,0011 \cdot 153$$

$$E_n = 7,44$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 7,44 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \cdot 1,7,44 \cdot \left(\frac{0,84}{0,2}\right) \cdot \frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}$$

$$E = 25,70 \text{ cal/cm}^2$$

Dari hasil perhitungan manual didapatkan hasil yang hampir sama dengan hasil simulasi. Hasil ini menunjukkan bahwa besaran energi yang didapat telah sesuai. *Perbandingan Energi Busur Api (Existing) dan (Resetting) dengan Standar IEEE 1584-2002*

Dari table 4.2 ditampilkan data besar insiden energi dan kategori level pada waktu *existing* dan setelah *resetting* untuk perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002. Tabel tersebut menunjukkan nilai insiden energi pada kondisi *resetting* lebih kecil dibandingkan pada waktu *existing*. Pada waktu *existing* koordinasi proteksi dari beban menuju sumber untuk Melakukan reseting FCT (*fault clearing time*) untuk meningkatkan koordinasi rele agar insiden dapat diperkecil untuk melokalisir gangguan dengan tujuan untuk mengurangi terjadinya insiden *arc flash*

Perbandingan Besar Energi arc flash setelah *resetting* FCT salah satu yang mempengaruhi besar insiden busur api adalah waktu yang diperlukan untuk melokalisir gangguan. Dalam hal ini, rele differensial mempunyai waktu kerja yang sangat cepat.

Table 4.4. Hasil Simulasi Insiden Energi *Existing* dan *Resetting*

<b>Bus ID</b>	<b>Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kategori</b>	<b>Insiden Energi <i>Existing</i> (cal/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Kategori</b>
BUS SG011	25,70	Level 3	59.39	>Level 4

Berdasarkan Table 4.4 dengan melakukan reseting FCT (*fault clearing time*) pada tipikal 1 Bus SG011 maka dapat mengurangi insiden arc flash dari 59,39 cal/cm<sup>2</sup> menjadi 25,70 cal/cm<sup>2</sup>. Total penyusutan insiden *arc flash* sebesar 33,69 cal/cm<sup>2</sup>

Dari hasil analisis energi arcflash setelah di lakukan resetting FCT (fault clearing time) di dapat Standart nilai yang digunakan untuk insiden energi adalah kategori 3 dimana PPC *outfit* yang dibutuhkan meliputi pakaian dalam katun ditambah baju dan celana tahan api ditambah mantel dan celana tahan api double layer.terdapat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. PPC Outfit kategori 3

Sumber:[https://the construction specifier](https://theconstructionspecifier.com).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi pada sistem kelistrikan di PT. Semen Gresik dengan reduksi *arc flash*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai insiden energi *Arc Flash* Pada PT. Semen Gresik cukup besar dengan memasuki standart nilai insiden kategori 4 sehingga perlu di lakukan *Resetting FCT (fault clearing time)*.
2. Insiden Energi *Arc Flash* yang terjadi pada salah satu Bus memasuki standart nilai kategori 4 yaitu  $59.39 \text{ cal/cm}^2$
3. *Resetting* dilakukan pada rangkaian tipikal 1 yang dilakukan dengan membandingkan dari sebelum *resetting FCT (fault clearing time)* awal sebesar 1,94 sec. ke sesudah *resetting* sebesar 0,84 sec
4. Penambahan *resetting* tipikal 1 maka dapat mengurangi insiden *arc flash* dari  $59.39 \text{ cal/cm}^2$  menjadi  $25,70 \text{ cal/cm}^2$ . Total penyusutan insiden *arc flash* sebesar  $33,69 \text{ cal/cm}^2$
5. Standart nilai yang digunakan untuk insiden energi adalah kategori 3 dimana PPC *outfit* yang dibutuhkan meliputi pakaian dalam katun ditambah baju dan celana tahan api ditambah mantel dan celana tahan api *double layer*.

#### **5.2 Saran**

Dari hasil analisis yang dilakukan pada penelitian tersebut, penulis menyarankan untuk mengembangkan penelitian ini disarankan untuk lebih meningkatkan koordinasi waktu kliring agar insiden dapat diperkecil dengan mempercepat waktu FCT (*fault clearing time*) untuk mengatasi gangguan.

## **BAB VI**

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Andryana dkk (2017) meneliti tentang *Studi perencanaan koordinasi proteksi mempertimbangkan Busur Api pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Standar IEEE 1584-2002.*
- [2] Prasongko dkk (2012) meneliti tentang *Analisis dan Reduksi Bahaya Arc Flash pada Sistem Kelistrikan*
- [3] NFPA 70E-2004 *Electrical safety requirements for Employee Workplaces.*
- [4] *IEEE 1584-2002 Guide for performing arc-flash Hazard Calculation.*
- [5] Sugiharto dan Abduh (2018) meneliti tentang *Analisis ARC Flash 6,3 KV PT HOLCIM INDONESIA TBK. BOGOR, JAWA BARAT.*
- [6] Syafar A.muhammad (2010). *Study keandalan distance rele jaringan 150 Kv Gi Tello-Gi Pare-Pare.* Jurusan teknik elektro. Universitas makasar. Makasar Indonesia
- [7] Banndri, Sepanur (2016). *Study settingan distance rele pada saluran 150 Kv di Gi payakumbuh menggunakan sodtware matlab.* Fakultas teknologi industry, Institut teknologi padang. Indonesia.



