



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA PT HEINZ
ABC INDONESIA, JAKARTA**

Frans Michael Simanjuntak
NRP 07111440000153

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Danar Fahmi ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA PT HEINZ
ABC INDONESIA, JAKARTA**

Frans Michael Simanjuntak
NRP 07111440000153

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Daniar Fahmi ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**PROTECTION COORDINATION STUDY BY
CONSIDERING ARC FLASH ON PT HEINZ ABC
INDONESIA, JAKARTA**

Frans Michael Simanjuntak
NRP 0711144000153

Supervisors
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Daniar Fahmi ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA PT HEINZ ABC INDONESIA, JAKARTA”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2019



Frans Michael Simanjuntak
07111440000153

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA PT
HEINZ ABC INDONESIA, JAKARTA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP 19730927 199803 1004

Daniar Fahmi ST., MT.
NIP 19890925 201404 1002



Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA PT HEINZ ABC INDONESIA, JAKARTA

Nama mahasiswa : Frans Michael Simanjuntak
Dosen Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dosen Pembimbing II : Daniar Fahmi ST., MT.

ABSTRAK

PT Heinz ABC Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang makanan di Indonesia dan berbasis di Jakarta serta memproduksi saus, bumbu dan sirup. Sebagai salah satu produsen makanan PT Heinz ABC harus dapat menjaga kontinuitas daya listrik dari gangguan sehingga proses produksi dapat berjalan dengan maksimal. Untuk meminimalisir dampak yang timbul ketika terjadi gangguan diperlukan koordinasi proteksi yang terkoordinasi dengan baik. Selain mengganggu sistem kelistrikan, gangguan tersebut dapat menimbulkan busur api (*arc flash*) yang berbahaya. Energi yang dihasilkan busur api perlu dipertimbangkan agar sesuai dengan standar yang diizinkan. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan energi busur api yang dapat terjadi pada sistem kelistrikan. Analisis energi busur api dilakukan sesuai standar IEEE 1584-2002. Dari analisis tersebut didapatkan besar level energi yang sesuai dengan NFPA-70E sehingga dapat digunakan untuk rekomendasi peralatan perlindungan bagi pekerja.

Kata Kunci: insiden energi, koordinasi proteksi, busur api, NFPA-70E.

Halaman ini sengaja dikosongkan

PROTECTION COORDINATION STUDY BY CONSIDERING ARC FLASH ON PT HEINZ ABC INDONESIA, JAKARTA

Student Name : Frans Michael Simanjuntak
Supervisor I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Supervisor II : Daniar Fahmi ST., MT.

ABSTRACT

PT Heinz ABC Indonesia is a company engaged in food in Indonesia and based in Jakarta as well as producing sauces, spices and syrup. As one of PT Heinz ABC's food producers, it must be able to maintain the continuity of electrical power from interference so that the production process can run optimally. To minimize the impact that arises when a disturbance is needed, well-coordinated protection coordination is needed. Apart from disturbing the electrical system, the interference can cause a dangerous arc flash. The energy produced by arcs of fire needs to be considered in accordance with the standards permitted. In this final project analysis of protection coordination is carried out by considering the arcing energy that can occur in the electrical system. Arc arc energy analysis is carried out according to the IEEE 1584-2002 standard. From the analysis, it was found that the level of energy is in accordance with NFPA-70E so that it can be used for recommendations on protection equipment for workers.

Keywords: *energy incidents, protection coordination, arc flash, NFPA-70E*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan atas segala berkat dan karunia yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API PADA PT HEINZ ABC INDONESIA, JAKARTA**”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan atas segala hikmat dan berkat yang Dia berikan sehingga dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini
2. Ibu Penulis yang senantiasa mendoakan dan menjadi motivasi penulis, adik dan kakak penulis yang selalu memberi dukungan
3. Bapak Dr. Ardyono Priyadi S.T., M. Eng. dan Daniar Fahmi, S.T., MT. selaku Dosen Pembimbing dari penulis yang selalu membimbing dari awal pengerjaan data dan buku tugas akhir ini
4. *Keluarga ABISS* yang selalu memberi dukungan dan semangat
5. *Bang Windy, Bang Harpy, Bang Velix, Bang Hendrik, dan Rhapsody* yang selalu memberi semangat dalam keseharian penulis
6. Teman - teman e-54 yang selalu menemani kehidupan penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
7. *Arek Kontrakan Ganteng ABISS* yang menjadi teman berkeluh kesah
8. Bastian anak *tulang ASKOS* yang memberi semangat sejak awal perkuliahan
9. Semua pihak yang membantu penyusunan buku Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan dikemudian hari.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN DAN BUSUR API	5
2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat	5
2.2 <i>Low Voltage Circuit Breaker</i>	8
2.3 Rele Arus Lebih (<i>Overcurrent Relay</i>).....	9
2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (<i>Instantaneous Overcurrent Relay</i>).....	9
2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (<i>Definite Time Overcurrent Relay</i>).....	10
2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (<i>Inverse Time Overcurrent Relay</i>).....	11
2.3.4 Pengaturan Rele Arus Lebih	11
2.3.5 Koordinasi Rele Berdasarkan Interval Waktu	12
2.4 Busur Api (<i>Arc Flash</i>).....	13

2.4.1	Perhitungan Energi Busur Api Sesuai Standar IEEE-1548-2002 [5].....	13
2.4.2	Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i>	15
2.4.3	Pengelompokan Tingkatan Energi busur Api Sesuai dengan <i>Personal Protective Equipment (PPE)</i> [6].....	16
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT HEINZ, ABC INDONESIA, JAKARTA		21
3.1	Sistem Kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia	21
3.2	Kapasitas Pembangkitan	22
3.3	Kapasitas Transformator.....	22
3.4	Sistem Distribusi.....	22
3.5	Kapasitas Beban.....	24
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API DI PT. Heinz ABC Indonesia.....		27
4.1	Nilai Energi Busur Api (<i>Arc Flash</i>) Kondisi <i>Existing</i>	27
4.2	Analisa Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa	30
4.2.1	Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 1	31
4.2.2	Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 2	38
4.3	Nilai Energi Busur Api (<i>Arc Flash</i>) Kondisi <i>Resetting</i>	44
4.3.1	Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> ...	45
4.3.2	Perhitungan Energi busur Api Kondisi <i>Resetting</i> dengan Standar IEEE 1584-2002.....	47
4.4	Perbandingan Besar Nilai Energi Busur Api	57
4.5	Perbandingan <i>Flash Protection Boundary</i>	61
4.6	Pengelompokan <i>Personal Protective Equipment</i>	64
BAB 5 KESIMPULAN.....		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		71

A.	<i>Single Line Diagram</i> Kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia	71
B.	Tipikal Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa	72
	BIODATA PENULIS	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang Arus Kontribusi Peralatan.....	6
Gambar 2.2 Reaktansi Untuk Menghitung Arus Hubung Singkat....	7
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik <i>Low Voltage Circuit Breaker</i>	8
Gambar 2.4 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika...	10
Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu..	10
Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik...	11
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> Kelistrikan PT Heinz ABC.....	19
Gambar 4.1 Tipikal Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa....	30
Gambar 4.2 <i>Single Line Diagram</i> Koordinasi Tipikal 1.....	31
Gambar 4.3 Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 1.....	32
Gambar 4.4 Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 1.....	37
Gambar 4.5 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal.....	38
Gambar 4.6 Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal 2.....	39
Gambar 4.7 Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 2.....	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipikal Jarak Kerja	14
Tabel 2.2 Tipikal Gap Antar Bus.....	15
Tabel 2.3 Faktor Peralatan dan Kelas Tegangan	15
Tabel 2.4 Kategori <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE).....	17
Tabel 3.1. Data Kapasitas Pembangkit di PT Heinz ABC.....	22
Tabel 3.2. Data Transformator pada PT Heinz ABC.....	22
Tabel 3.3. Data Spesifikasi Kabel PT Heinz ABC.....	23
Tabel 3.4. Data Kapasitas Beban.....	24
Tabel 4.1. Hasil Simulasi Energi Busur Api <i>Existing</i>	27
Tabel 4.2. Hasil Simulasi energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i>	45
Tabel 4.3. Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api.....	48
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i>	55
Tabel 4.5. Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi <i>Existing</i> , <i>Resetting</i> dan Hitungan.....	58
Tabel 4.6. Perbandingan <i>Flash Protection Boundary</i>	61
Tabel 4.7. Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api...	64

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Heinz ABC Indonesia sebagai perusahaan produsen divisi makanan harus dapat menjaga kontinuitas aliran daya dan kehandalan sistem kelistrikan dari gangguan-gangguan yang mungkin timbul agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan maksimal. Gangguan tersebut ialah gangguan beban lebih, gangguan hubung singkat dan gangguan tegangan lebih. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik. Selain dapat mengganggu sistem kelistrikan, gangguan yang terjadi juga dapat menimbulkan insiden busur api (*arc flash*) yang berbahaya bagi pekerja, dalam hal ini ialah gangguan hubung singkat.

Agar sistem kelistrikan pada PT. Heinz ABC Indonesia aman dan proses produksi tidak terganggu, maka diperlukan koordinasi sistem proteksi yang baik dan tepat. Dengan setting rele yang tepat, rele dapat mengamankan bagian sistem yang mengalami gangguan saja dan menjaga bagian sistem lainnya tetap beroperasi. Selain itu dengan koordinasi proteksi merupakan syarat dalam analisa energi busur api, sehingga diperlukan koordinasi yang baik dan tepat. Koordinasi proteksi yang baik dapat mengurangi energi dari busur api yang mungkin timbul akibat gangguan. Dari analisa dan perhitungan energi busur api maka akan didapatkan besar nilai insiden energi busur api berdasarkan standar IEEE 1584-2002 dan rekomendasi Personal Protective Equipment (PPE) bagi para pekerja sesuai level energi berdasarkan standar NFPA 70E.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan sistem kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dan mengetahui besar arus gangguan pada sistem.
2. Meminimalkan besar bahaya busur api yang timbul dengan melakukan *setting* baru pada koordinasi proteksi rele-rele arus lebih fasa.
3. Menentukan besar level insiden energi busur api yang timbul saat terjadi gangguan sesuai standar IEEE 1584-2002.

4. Mengantisipasi bahaya insiden busur api yang mungkin terjadi sehingga diperoleh peralatan yang aman bagi pekerja sesuai standar NFPA 70E.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan studi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT Heinz ABC untuk mendapatkan setting rele arus lebih gangguan fasa yang tepat sehingga bahaya busur api yang sewaktu-waktu terjadi dapat diminimalkan.
2. Mengetahui besar level insiden energi busur api yang timbul saat gangguan dan menentukan jarak yang aman bagi pekerja untuk mengurangi dampak luka bakar akibat busur api.
3. Menentukan kategori resiko yang terjadi akibat pengaruh energi busur api sehingga diperoleh peralatan yang aman dan sesuai untuk digunakan pekerja.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Analisis dilakukan di PT Heinz ABC Indonesia, Jakarta.
2. Analisis difokuskan pada koordinasi proteksi rele arus lebih fasa dan perhitungan nilai energi *arc flash*.
3. Perhitungan *arc flash* menggunakan standar IEEE 1584-2002.
4. Pententuan kategori peralatan yang aman bagi pekerja sesuai standar NFPA 70E-2015.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur
Persiapan awal yang dilakukan adalah mengumpulkan dan mempelajari literatur yang telah ada untuk mendukung penelitian. Literatur yang berkaitan dengan penelitian sebelumnya akan di lakukan kajian untuk mengetahui bagian-bagian yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Studi yang dilakukan yakni studi analisis aliran daya, analisis hubung singkat, pengamanan sistem tenaga listrik dan perhitungan *arc flash*.
2. Pengambilan Data

Melakukan pengambilan data-data yang diperlukan. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT Heinz ABC Indonesia Jakarta. Data yang dikumpulkan meliputi data single line diagram, data peralatan, data beban, data *setting* rele kondisi *existing* serta data yang relevan dengan penelitian ini.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Setelah data terkumpul, maka sistem dimodelkan dan disimulasikan menggunakan software ETAP. Setelah dilakukan pemodelan selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan.

4. Analisa

Data-data dari hasil simulasi yang didapatkan, seperti data aliran daya dan hubung singkat, digunakan untuk analisa sistem kelistrikan dan digunakan untuk *setting* dan koordinasi rele-rele pengamanan pada sistem. Setelah rele-rele pengamanan dikoordinasikan, dilakukan pemodelan skema dengan berbagai macam gangguan dan letaknya untuk mengetahui apakah koordinasi proteksi telah tepat. Selanjutnya dapat dilakukan analisa terhadap besarnya insiden energi busur api yang timbul pada sistem.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Hasil yang di peroleh dari serangkaian simulasi dikumpulkan dan akan dilakukan penyusunan laporan sebagai kesimpulan. Kesimpulan dari penelitian ini merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain kesimpulan juga terdapat saran yang dapat digunakan sebagai masukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab sebagai berikut ini :

BAB I : Pendahuluan

Pada bab I ini berisikan latar belakang tugas akhir, rumusan dan batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai, metodologi, sistematika pembahasan.

BAB II : Dasar Teori

Pada bab ini membahas tentang teori - teori penunjang yang diperlukan dan dipergunakan sebagai penunjang pengerjaan tugas akhir.

BAB III : Perancangan Pengujian

Pada bab ini membahas tentang sistem kelistrikan di PT Heinz ABC Indonesia meliputi, konfigurasi sistem, data sistem pembangkitan, sistem distribusi, dan data peralatan listrik yang terpasang pada PT Heinz ABC Indonesia.

BAB IV : Hasil Analisis Data

Pada bab ini membahas mengenai analisa koordinasi proteksi dan analisa perhitungan energi busur api sesuai standar IEEE 1584-2002 pada PT. Heinz ABC Indonesia serta rekomendasi untuk jarak aman dan perlindungan diri untuk pekerja berdasarkan standar NFPA 70E.

BAB V : Penutup

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dari seluruh hasil penelitian dan pembahasan serta saran.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi referensi bagi PT Heinz ABC Indonesia dalam menentukan koordinasi proteksi yang tepat pada sistem kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia.
2. Dapat mengetahui besar energi busur api pada PT Heinz ABC Indonesia sehingga menjadi rekomendasi jarak kerja yang aman bagi pekerja.

BAB 2

PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN DAN BUSUR API

Pada sebuah industri, keandalan dari sistem kelistrikan merupakan suatu hal yang penting. Faktanya, suatu sistem kelistrikan sangatlah rentan terhadap gangguan. Gangguan kelistrikan yang terjadi pada sebuah industri dapat berasal dari dalam ataupun dari luar sistem. Gangguan pada sistem kelistrikan di industri akan menyebabkan kerugian yang begitu besar, baik dari segi *lifetime* peralatan listrik yang dipergunakan, maupun dari segi produksinya. Oleh karena itu perlu adanya sistem proteksi yang handal untuk meminimalisir terjadinya gangguan dan juga mengisolasi gangguan secara tepat dan cepat sehingga sistem tidak mengalami *blackout* dan busur api yang timbul dapat diminimalisir.

2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah suatu keadaan abnormal dari sistem yang menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Baik dikarenakan adanya arus lebih ataupun arus yang tidak seimbang pada sistem tersebut. Gangguan terdiri dari dua jenis, yaitu gangguan yang bersifat sementara/temporer dan permanen. Sedangkan berdasarkan asal gangguan, gangguan terdiri dari dua jenis, yaitu gangguan yang berasal dari dalam sistem dan gangguan yang berasal dari luar sistem[1].

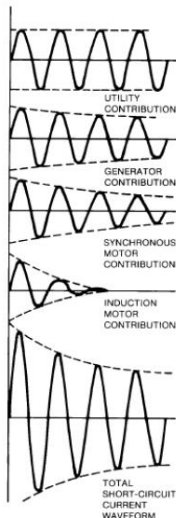
Gangguan dari dalam sistem biasanya disebabkan oleh fluktuasi tegangan dan arus dan kondisi bebab lebih (*overload*). Selain itu gangguan ini dapat dikarenakan kesalahan mekanis yang menyebabkan kondisi peralatan kurang baik/rusak dan penuaan. Sedangkan gangguan yang berasal dari luar sistem biasanya dikarenakan faktor cuaca seperti angin, hujan dan petir. Kondisi lingkungan juga dapat menyebabkan gangguan seperti hewan, pohon tumbang dan lainnya. Gangguan yang berasal dari luar sistem ini tidak dapat diprediksi terjadi oleh manusia.

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang paling sering timbul pada sistem tenaga listrik adalah gangguan yang disebabkan oleh hubung singkat. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, arus yang sangat besar mengalir menuju titik gangguan melebihi arus nominalnya sehingga menyebabkan tegangan di sekitar titik gangguan akan turun secara signifikan serta terputusnya aliran

daya. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua jenis, yaitu gangguan hubung singkat simetri (seimbang) dan asimetri (tidak seimbang). Gangguan hubung singkat simetri, yaitu tiga fasa (L-L-L) dan tiga fasa ke tanah (L-L-L-G). Sedangkan yang termasuk gangguan hubung singkat asimetri, yaitu satu fasa ke tanah (1L-G), antar fasa (L-L), dan antar fasa (dua fasa) ke tanah (2L-G) [1]

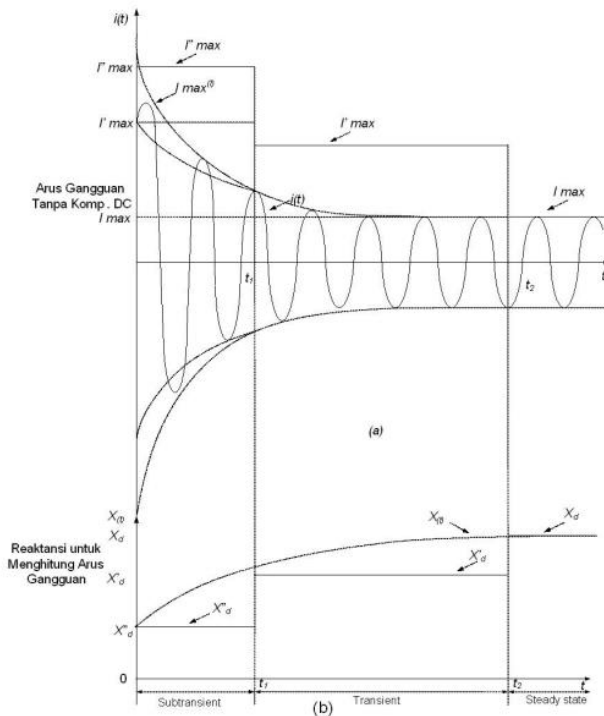
Ketika terjadi hubung singkat pada titik gangguan, arus pada sistem akan menuju titik tersebut dan menyebabkan arus di titik gangguan akan semakin besar. Sumber arus gangguan yang mempunyai kontribusi pada arus hubung singkat ialah generator sinkron, *utility*, motor sinkron dan motor induksi. Sumber arus hubung singkat yang berasal dari motor induksi biasanya diabaikan. Hal ini dikarenakan arus kontribusi dari motor induksi hanya bertahan sampai 4 cycle sedangkan hingga saat kondisi *steady state* (30 cycle) motor induksi sudah tidak memberikan arus kontribusi. Gelombang arus kontribusi pada tiap peralatan ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gelombang Arus Kontribusi Peralatan[1]

Saat terjadi hubung singkat terdapat 3 fase peralihan, yaitu subtransien, transien dan *steady state*. Pada setiap fase tersebut reaktansi peralatan dapat mempengaruhi besarnya nilai arus hubung singkat. Fase

subtransien terjadi pada *cycle* pertama (0-0,02 s) dan pada fase ini dinyatakan reaktansi subtransien (X_d''). Fase transien terjadi pada *cycle* selanjutnya (0,02-0,2) dan pada fase ini reaktansi subtransien sebelumnya akan bertambah besar menjadi reaktansi transien (X_d'). Fase selanjutnya terjadi saat mencapai *steady state* ($>0,2$ s) dan pada fase ini reaktansi transien sebelumnya akan bertambah besar menjadi reaktansi sinkron (X_d). Reaktansi untuk menghitung arus hubung singkat sesuai dengan fasenya ditunjukkan pada Gambar 2.2.



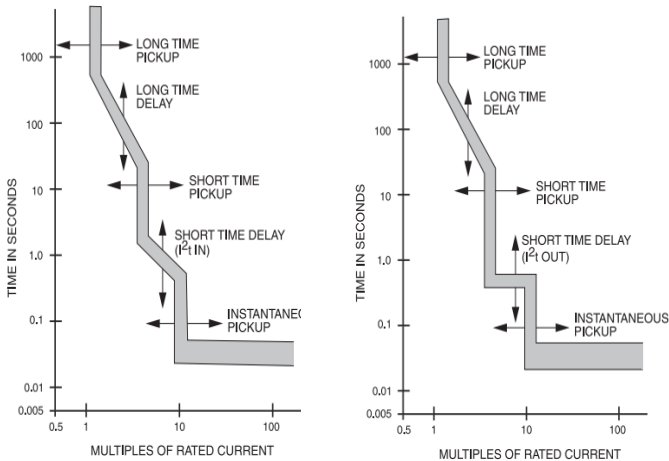
Gambar 2.2 Reaktansi Untuk Menghitung Arus Hubung Singkat[1]

Arus hubung singkat maksimum terjadi saat periode subtransien sedangkan arus hubung singkat minimum terjadi saat periode *steady state*. Arus hubung singkat maksimum digunakan untuk menentukan kapasitas

peralatan sedangkan arus hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan koordinasi proteksi.

2.2 Low Voltage Circuit Breaker

Circuit breaker (CB) atau sakelar pemutus tenaga (PMT) adalah peralatan pemutus rangkaian listrik yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian pada kondisi normal maupun saat terjadi arus hubung singkat pada sistem tenaga listrik. *Low voltage circuit breaker* (LVCB) bekerja pada level tegangan dibawah 1000 volt. Kurva karakteristik *low voltage circuit breaker* ditunjukkan pada Gambar 2.3. [4]



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik *Low Voltage Circuit Breaker*

- Long Time Pickup**
Pengaturan arus yang digunakan untuk menentukan *setting long time* kerja LVCB dan biasa digunakan untuk pengaman pada kondisi *overload* peralatan.
- Long Time Delay**
Pengaturan waktu yang digunakan untuk mengatur waktu kerja *long time pickup* LVCB sesuai dengan waktu yang diperlukan saat terjadi kondisi *overload*.

- ***Short Time Pickup***
Pengaturan arus yang digunakan untuk menentukan *setting short time* kerja LVCB dan biasa digunakan untuk pengaman pada kondisi hubung singkat.
- ***Short Time Delay***
Pengaturan waktu yang digunakan untuk menentukan waktu kerja *short time pickup* LVCB sesuai dengan waktu yang diperlukan saat terjadi kondisi hubung singkat.
- ***Instantaneous Pickup***
Pengaturan arus yang digunakan untuk menentukan kerja LVCB seketika. Pengaturan ini mungkin tidak tersedia di beberapa LVCB atau dapat digunakan sesuai kebutuhan untuk memaksimalkan koordinasi proteksi.

2.3 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih adalah rele pengaman yang beroperasi atau bekerja apabila terdapat arus yang melebihi dari nilai yang ditetapkan baik karena arus beban berlebih (*overload*) maupun arus gangguan hubung singkat. Prinsip kerja dari rele arus lebih yakni jika [3]. :

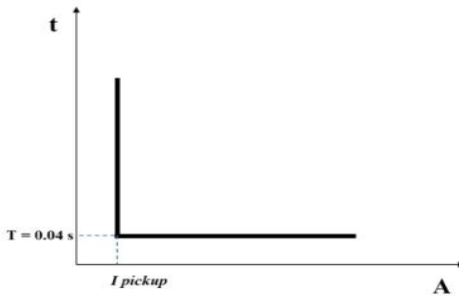
If $>$ Iset maka rele akan bekerja (trip)

If $<$ Iset maka rele tidak bekerja (blok)

If adalah arus gangguan dan Iset adalah arus kerja/*setting* pada rele. Berdasarkan karakteristik waktunya, rele arus lebih diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu rele arus lebih waktu seketika (*instantaneous*), rele arus lebih waktu tertentu (*definite*), dan rele arus lebih waktu terbalik (*inverse*).

2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Overcurrent Relay*)

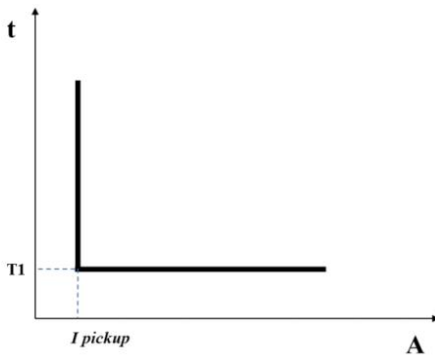
Prinsip kerja rele jenis ini adalah beroperasi tanpa ada waktu tunda yang dapat diatur atau bekerja seketika saat ada gangguan yang melebihi batas arus yang diinginkan. Rele ini dapat beroperasi dengan waktu cepat, yaitu bekisar 0,5-2 *cycle* atau 0,01-0,04 detik [2]. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu seketika ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva Karateristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Overcurrent Relay*)

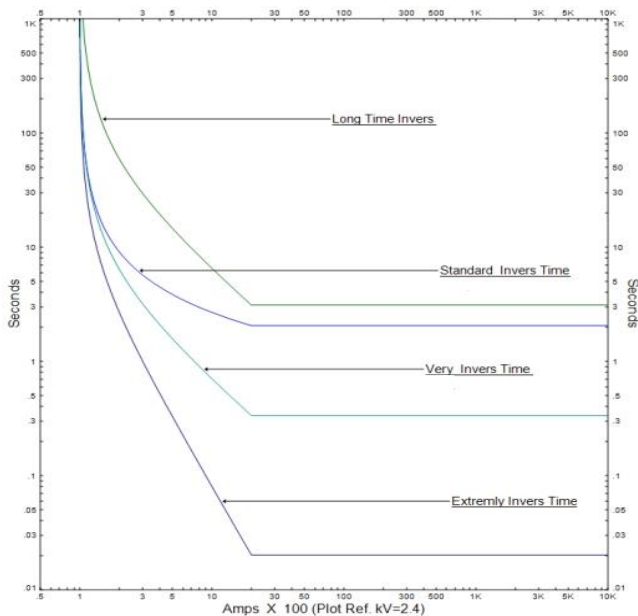
Prinsip kerja rele ini dengan mengatur waktu operasi berdasarkan level arus. Rele arus lebih waktu tertentu ini akan bekerja jika arus yang mengalir melebihi arus pickup minimum pada waktu delay yang telah ditentukan. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Karateristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time Overcurrent Relay*)

Rele ini mempunyai prinsip kerja dimana ketika arus yang mengalir melebihi arus *pickup*-nya. Karakteristik rele *inverse* adalah waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besar arus. Semakin besar arus gangguan, maka semakin cepat waktu rele untuk bekerja, dan sebaliknya. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

2.3.4 Pengaturan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih dapat mengamankan gangguan yang disebabkan oleh beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Kedua gangguan ini dapat menimbulkan arus lebih. Sehingga penyetelan arus pada rele memiliki batasan besarnya arus. Batas penyetelan rele arus lebih ialah ketika beban maksimum (walaupun arus sangat besar), rele tidak boleh bekerja. Oleh karena itu, arus *setting* pada

rele harus lebih besar dari arus beban maksimum. Untuk *setting* rele arus lebih waktu terbalik (*inverse*), menggunakan *setting pick up* dan *time dial*. *Setting pick up* ini untuk membatasi nilai arus beban maksimum. Dimana batas penyetelan ialah sebagai berikut [3]:

$$1,05 IFLA < Iset < 1,4 IFLA \dots\dots\dots (2.1)$$

Cara penyetelan *setting pick up* dengan menggunakan tap pada rele.

Untuk menentukan setelan tap pada rele digunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{Iset}{Rasio CT} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- Iset : Arus *setting pick up*
- IFLA : Arus *full load* (beban maksimum)
- Rasio CT : Rasio primer dan sekunder CT

Selain itu penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan kondisi *instantaneous*. Untuk penyetelannya menggunakan *setting pick up* instan. Untuk penyetelan *pick up* instan ini menggunakan nilai arus *short circuit* minimum dan karakteristik peralatan. Batas penyetelan rele kondisi *instantaneous* sebagai berikut:

$$1,6 IFLA \leq Iset \leq 0,8 I_{sc} \text{ min bus} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- Iset : Arus *setting pick up*
- IFLA : Arus *full load* (beban maksimum)
- Isc : Arus *short circuit* bus

2.3.5 Koordinasi Rele Berdasarkan Interval Waktu

Peralatan pengaman tenaga listrik harus saling terkoordinasi dengan baik agar sistem kelistrikan yang akan diproteksi menjadi aman. Tujuan dari koordinasi rele adalah adanya ketepatan CB dalam bekerja, antara CB utama dengan CB yang berada di atasnya sebagai *backupnya*. Saat terjadi gangguan di suatu bus atau suatu beban, CB tidak boleh beroperasi secara bersamaan. Untuk itu maka diperlukan adanya waktu tunda atau *time delay* dalam pengaturan setiap CB yang dipergunakan.

Koordinasi rele pengaman dilakukan dengan melihat kurva karakteristik arus-waktu (TCC). Interval waktu setiap rele tidak boleh terlalu lama. Waktu kerja antara rele utama dan rele back up harus memiliki interval 0,2-0,4 detik dengan syarat waktu CB terbuka antara 0,04 – 0,1 detik (2 – 5 cycle).

2.4 Busur Api (*Arc Flash*)

Busur api dapat didefinisikan pelepasan energi panas yang sangat tinggi akibat adanya *arcing fault* atau *bolted fault*. *Arc fault* merupakan arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor dengan konduktor atau konduktor dengan tanah (*arcing fault current*). Sedangkan *bolted fault* menggunakan perantara konduktor sebagai jalur arus gangguannya. [3]

Besar energi yang dihasilkan *arc flash* dipengaruhi oleh arus hubung singkat maksimum, level tegangan pada titik gangguan, waktu yang dibutuhkan peralatan pengaman untuk menghilangkan gangguan, jarak antar konduktor, dan jarak pekerja dengan titik *arcing*.

2.4.1 Perhitungan Energi Busur Api Sesuai Standar IEEE-1548-2002 [5]

Berdasarkan standar IEEE 1548-2002 untuk menghitung *arc flash* pertama yang dilakukan adalah mencari nilai *arcing current*. Nilai *arcing current* diperoleh berdasarkan arus hubung singkat tiga fasa. Berikut persamaan untuk menghitung *arcing current* pada level tegangan bus kurang dari atau sama dengan 1kV.

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \dots\dots\dots(2.4)$$

- Keterangan :
- lg : log10
 - Ia : arus *arcing* (kA)
 - V : tegangan sistem (kV)
 - G : jarak antar konduktor (mm)
 - K : -0,153 untuk konfigurasi terbuka dan -0,097 untuk konfigurasi box
 - Ibf : *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA)

Setelah diperoleh nilai *arcing current* maka nilai insiden energi *arc flash* dapat dihitung. Dalam perhitungan besar energi yang normal, menggunakan referensi waktu arcing dengan durasi 0,2 detik dan jarak dari titik arcing ke pekerja yaitu 610 mm. Berikut persamaan yang digunakan.

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- En : insiden energi *normalized* untuk waktu dan jarak (J/cm)
- K1 : -0.792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan -0.555 untuk konfigurasi *box (enclosure equipment)*
- K2 : 0 untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded* dan -0,113 untuk sistem *grounded*
- G : jarak/celah antar konduktor (mm)

Adanya variabel waktu, eksopen jarak (x) dan jarak antara peralatan dan pekerja akan menghasilkan jumlah energi yang dilepaskan ke udara. Besar insiden energi E dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$E = 4.184 Cf En \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \dots\dots\dots (2.6)$$

- Keterangan :
- E : insiden energi (J/cm²)
- Cf : faktor perhitungan bernilai 1.0 untuk tegangan diatas 1kV dan 1.5 untuk tegangan dibawah 1kV
- En : *incident energy normalized*
- t : waktu *arcing* (detik)
- D : jarak dari titik *arc flash* ke pekerja (mm)
- x : jarak *ekponent*

Perhitungan nilai arus *arcing fault* dan *incident energy* juga harus memperhatikan mengenai tipikal jarak kerja, gap antar bus, faktor peralatan pada setiap level tegangan sesuai standar IEEE 1584-2002. Standar tersebut sesuai dengan kelas peralatan dan dapat dilihat pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.1 Tipikal Jarak Kerja

Kelas Peralatan	Tipikal Jarak Kerja
15 kV <i>Switchgear</i>	910
5 kV <i>Switchgear</i>	910
<i>Low-voltage Switchgear</i>	610
<i>Low-voltage MCC dan Panelboards</i>	455
Kabel	455
Lainnya	Ditentukan di Tempat

Tabel 2.2 Tipikal Gap Antar Bus

Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus
15 kV <i>Switchgear</i>	152
5 kV <i>Switchgear</i>	104
<i>Low-voltage Switchgear</i>	32
<i>Low-voltage MCC dan Panelboards</i>	25
Kabel	13
Lainnya	Tidak Tersedia

Tabel 2.3 Faktor Peralatan dan Kelas Tegangan

Tegangan Sistem (kV)	Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus	Jarak Faktor X
	<i>Open Air</i>	10-40	2,000
	<i>Switchgear</i>	32	1,473
	MCC dan Panel	25	1,641
	Kabel	13	2,000
	<i>Open Air</i>	13-102	2,000
	<i>Switchgear</i>	13-102	0,973
	Kabel	13	2,000
	<i>Open Air</i>	13-153	2,000
	<i>Switchgear</i>	153	0,973
	Kabel	13	2,000

2.4.2 Perhitungan *Flash Protection Boundary*

Flash protection boundary merupakan batas jarak perlindungan untuk orang terhadap titik *arc flash*. *Flash protection boundary* adalah jarak tertentu konduktor aktif yang memungkinkan manusia terkena ledakan busur api listrik. Nilai jarak ini dapat dikategorikan setelah insiden energi *arc flash* diketahui.

Untuk menentukan batas pendekatan jarak *flash protection boundary* dapat diketahui dari persamaan sesuai standar IEEE 1584-2002. Persamaan untuk level tegangan dibawah 15kV sebagai berikut :

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

Keterangan :

D_B	: Jarak batas dari titik <i>arcing</i> (mm)
C_f	: faktor pengali 1,0 untuk tegangan diatas 1kV fan 1,5 untuk tegangan dibawah 1kV
E_n	: <i>incident energy normalized</i>
t	: waktu <i>arcing</i> (detik)
x	: jarak <i>exponent</i>
E_B	: insiden energi dalam J/cm^2 pada jarak batasan. Dapat diset pada nilai $5,0 J/cm^2$




2.4.3 Pengelompokan Tingkatan Energi busur Api Sesuai dengan *Personal Protective Equipment (PPE)* [6]

Berdasarkan standar NFPA 70E dengan memperhatikan nilai energi busur api dapat dilakukan pengelompokan kategori energi busur api. Pengelompokan kategori bahaya busur api bertujuan untuk menentukan alat pelindung diri bagi pekerja yang tepat berdasarkan standar NFPA 70E.


PPE yang dibutuhkan diklasifikasikan berdasarkan kategori bahaya busur api dari level 1 hingga level 4. Untuk bahaya busur api level 0 tidak lagi dicantumkan pada NFPA 70E tahun 2015 karena level 0 dianggap tidak memiliki bahaya busur api dan PPE terbaru hanya diperuntukkan jika pekerja berada pada jarak batas aman busur api. Pada NFPA 70E tahun 2015, perlengkapan perlindungan diharuskan memenuhi syarat tahan busur api, tidak lagi memakai syarat tahan api.

Untuk menentukan kategori PPE sesuai dengan tingkat bahaya yang ada dapat dilihat pada Tabel 2. 4.

Tabel 2.4 Kategori *Personal Protective Equipment* (

Kategori Bahaya	Nilai Ketahanan Insiden Energi (E) minimal PPE (Cal/cm ²)	PPE	Bentuk PPE
1	4	<p>Pakaian tahan busur api (lihat catatan 1)</p> <p>Perlengkapan perlindungan (lihat catatan 2)</p>	
2	8	<p>Pakaian tahan busur api (lihat catatan 1) dilengkapi dengan <i>balaclava</i> (topeng ski)</p> <p>Perlengkapan perlindungan (lihat catatan 2)</p>	
3	25	<p>Memakai semua pakaian tahan busur api (lihat catatan 1) dilengkapi dengan jas (jaket dan celana) tahan busur api</p> <p>Perlengkapan perlindungan (lihat catatan 2)</p>	

Tabel 2.4 Kategori *Personal Protective Equipment* (Lanjutan)

Kategori Bahaya	Nilai Ketahanan Insiden Energi (E) minimal PPE (Cal/cm ²)	PPE	Bentuk PPE
4	40	<p>Memakai semua pakaian tahan busur api (lihat catatan 1) dilengkapi dengan jas (jaket dan celana) tahan busur api</p> <p>Perlengkapan perlindungan (lihat catatan 2)</p>	
Kategori bahaya dengan energi insiden dibawah 1,2 cal/cm ²	-	<p>Memakai pakaian pelindung yang tidak mudah meleleh serta berserat alami (baju lengan Panjang, celana Panjang atau baju coverall)</p> <p>Perlengkapan perlindungan (lihat catatan2)</p>	

Catatan 1:

1. Baju lengan panjang dan celana panjang atau menggunakan baju *coverall* (memakai salah satu, kecuali untuk kategori 3 dan 4)
2. Pelindung muka atau tudung tahan busur api

3. Jaket, parka, jas hujan atau pelindung dalam helm

Catatan 2:

1. Pelindung kepala seperti helm pelindung atau topi keras
2. Pelindung pendengaran seperti sumbatan pendengaran (*ear plug*) atau penutup telinga (*earmuff*)
3. Sarung tangan lapangan atau *heavy duty*
4. Sepatu pelindung berbahan kulit

Halaman ini sengaja dikosongkan

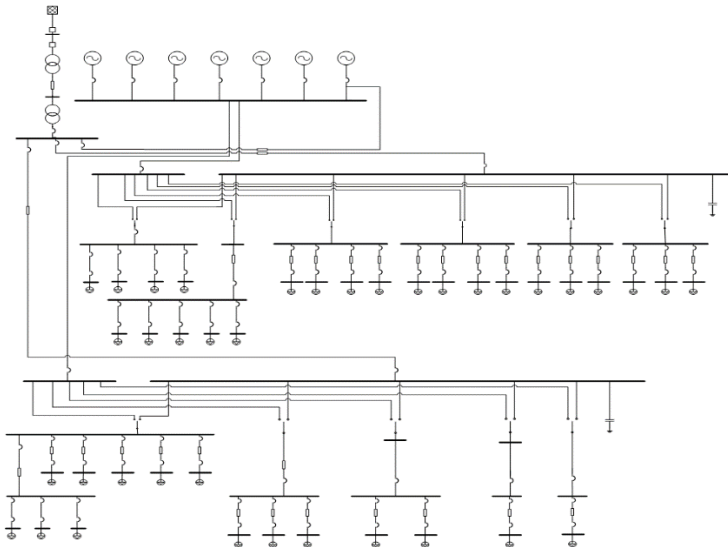
BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT HEINZ, ABC INDONESIA, JAKARTA

PT Heinz ABC Indonesia adalah anak perusahaan dari Kraft Heinz Company. PT Kraft Heinz Company adalah perusahaan makanan dan minuman terbesar kelima di dunia. Produsen makanan lezat yang dipercaya secara global dan menghasilkan produksi yang tinggi kualitas, rasa dan nutrisi yang lezat untuk makanan disemua acara. Salah satu pabriknya berlokasi di Daan Mogot, Cengkareng, Jakarta Barat.

3.1 Sistem Kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia

Sistem kelistrikan pada PT Heinz ABC Indonesia disuplai dari 2 buah sumber, yaitu PLN dan generator. Sistem kelistrikan yang digunakan pada industri ini adalah sistem radial dengan level tegangan rendah 0,4 kV. Saat ini sistem kelistrikan PT Heinz ABC disuplai oleh *utility* dari PLN dan 7 buah generator sebagai cadangan atau *back up*. *Single line diagram* sederhana PT Heinz ABC Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* Kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia

3.2 Kapasitas Pembangkitan

Selain disuplai oleh PLN, PT Heinz ABC juga memiliki 7 pembangkit sebagai cadangan atau *back up*. Kapasitas Pembangkit dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit di PT Heinz ABC

ID Generator	kW	kVA	kV	%PF
Gas Engine	1021	1276	0,4	0,80
Generator 1	210	263	0,4	0,85
Generator 2	210	263	0,4	0,85
Generator 3	315	394	0,4	0,85
Generator 4	588	735	0,4	0,85
Generator 5	472	590	0,4	0,85
Generator 6	472,8	591	0,4	0,85

3.3 Kapasitas Transformator

Dengan sistem distribusi dengan level tegangan 0,4kV diperlukan penurunan tegangan dari suplai PLN 20 kV menuju ke beban. Suplai dari *grid* diturunkan dengan transformator *step down*. Pada beban sendiri diperlukan tegangan 0,4 kV untuk proses produksi. Kapasitas Trafo dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Transformator pada PT Heinz ABC

Transformator	kVA	Tegangan (kV)		Impedance (%)
		Primer	Sekunder	
B&D 3 phase, Dyn5	2500	20	0,4	7

3.4 Sistem Distribusi

Pada PT Heinz ABC Indonesia, sistem distribusi yang digunakan adalah tegangan rendah 0,4 kV dengan sistem radial. Pada sistem ini aliran daya disalurkan dari dua buah *feeder* dengan tegangan sama, yakni *feeder* dari suplai PLN dan *feeder* dari generator sebagai cadangan. Pada sistem distribusi, untuk dapat mengalirkan arus listrik ke beban maka digunakan kabel. Spesifikasi kabel yang digunakan berbeda-beda sesuai jenis peralatannya, Berikut ini data spesifikasi kabel yang digunakan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Kabel pada PT Heinz ABC

No	From Bus	To Bus	Cable	
			Length Estimation (m)	Cross Sectional Area (mm)
1	PLN 2 OS 5	KANTOR LT.3	150	70
2	ASSEMBLING	Assembling Bawah	150	185
3	BUS COJI ROOM	CHILLER COJI ROOM	90	70
4	BUS COJI ROOM	COJI ROOM BLK	90	70
5	PLN 2 OS 2	BENGKEL KONTRUKSI	70	70
6	PLN 2 OS 2	TU	25	25
7	PLN 2 OS 2	BENGKEL DEPAN	25	25
8	PLN 2 OS 1	TEKNIK	100	70
9	PLN 2 OS 1	LABORAT	100	70
10	PLN 2 OS 1	FERMENTASI	80	70
11	PLN 2 OS 1	PAB	80	70
12	PLN 2 OS 1	COMPRESSOR II	25	120
13	BUS PLN II	PLN 2 OS 2	150	70
14	PLN 2 OS 1	RTD PLN 2	35	185
15	PLN 1 OS 6	GUDANG.GARAM	40	300
16	PLN 1 OS 6	STEREDIAL II T/P	95	95
17	PLN 1 OS 6	CHILLER RTD	90	300
18	PLN 1 OS 5	CHILLER COJI ROOM	90	70
19	PLN 1 OS 5	KANTOR DEPAN Lt 1&2	160	70
20	PLN 1 OS 4	EX SBL STEAK	100	123
21	PLN 1 OS 4	PEMADAM-API	60	35
22	PLN 1 OS 4	Blower 1&5	80	70
23	PLN 1 OS 3	PROSES KECAP	200	120
24	PLN 1 OS 4	BLOWER CR 6&7	70	35

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Kabel pada PT Heinz ABC (Lanjutan)

No	From Bus	To Bus	Cable	
			Length Estimation (m)	Cross Sectional Area (mm)
25	PLN 1 OS 3	COOL ROM MPC	70	35
26	PLN 1 OS 3	KECAP INGGRIS	190	35
27	PLN 1 OS 3	AMB BAWAH	150	50
28	Power Room	UTILITY/POWER ROOM	20	185
29	LVMDP	PLN I	45	300
30	PLN II	LVMDP	45	300
31	LVMDP	BUS 1	45	300
32	BUS-PLN	TRAFO PLN	3000	70
33	PLN 1 OS 5	PAL	160	70

3.5 Kapasitas Beban

Kapasitas Beban pada PT Heinz ABC Indonesia dimodelkan dalam beban *lump load*. Berikut ini data kapasitas beban pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Data Kapasitas Beban

No	Beban ID	Rating (kVA)	kV	TYPE
1	AB3 FILLING	10,9 kVA	0,4	Lump Load
2	AB 9 FILLING	11,9 kVA	0,4	Lump Load
3	AMB_BAWAH	6,2 kVA	0,4	Lump Load
4	Assembling Bawah	6,2 kVA	0,4	Lump Load
5	BENGKEL DEPAN.	19,7 kVA	0,4	Lump Load
6	BENGKEL KONTRUKSI.	8,5 kVA	0,4	Lump Load
7	BLOWER_1 -5	62,1 kVA	0,4	Lump Load
8	BLOWER 6 & 7	33.4 kVA	0,4	Lump Load
9	BOILER I	9,6 kVA	0,4	Lump Load
10	BOILER II	8,8 kVA	0,4	Lump Load
11	CHILLER COJI ROOM	61,6 kVA	0,4	Lump Load
12	CHILLER COJI ROOM	65,5 kVA	0,4	Lump Load
13	CHILLER_RTD	62 kVA	0,4	Lump Load

Tabel 3.4 Data Kapasitas Beban (Lanjutan)

No	Beban ID	Rating (kVA)	kV	TYPE
14	COJI ROOM BLK.	12,7 kVA	0,4	Lump Load
15	COMPRESSOR III	59,4 kVA	0,4	Lump Load
16	COMPRESSOR II	66 kVA	0,4	Lump Load
17	COOL ROOM MPC	29,4 kVA	0,4	Lump Load
18	COOL ROOM	31,4 kVA	0,4	Lump Load
19	EX SBL STEAK	11,5 kVA	0,4	Lump Load
20	FERMENTASI	12,2 kVA	0,4	Lump Load
21	GDG GARAM	55,9 kVA	0,4	Lump Load
22	Head Office Lt 1 & 2	39,9 kVA	0,4	Lump Load
23	Kantor Depan	27,9 kVA	0,4	Lump Load
24	KECAP INGGRIS	17,3 kVA	0,4	Lump Load
25	Laboratorium	31,7 kVA	0,4	Lump Load
26	P. BBM RESIDU	2,9 KVA	0,4	Lump Load
27	P. Kecap	29,9 kVA	0,4	Lump Load
28	PAB	66 kVA	0,4	Lump Load
29	PAL	59,2 kVA	0,4	Lump Load
30	PEMADAM API	22,6 kVA	0,4	Lump Load
31	Penerangan	12,9 kVA	0,4	Lump Load
32	PROSES	33,9 kVA	0,4	Lump Load
33	STERIDIAL III T/P	19,8 kVA	0,4	Lump Load
34	STEREDIAL_I	5,8 kVA	0,4	Lump Load
35	STERIDIAL_II	7,8 kVA	0,4	Lump Load
36	SYRUP	7,8 kVA	0,4	Lump Load
37	TEKNIK	31,7 kVA	0,4	Lump Load
38	TU	10,2 kVA	0,4	Lump Load

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISA BUSUR API DI PT. Heinz ABC Indonesia

4.1 Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) Kondisi *Existing*

Untuk dapat mengetahui nilai energi busur api (*arc flash*) di PT Heinz Indonesia pada kondisi *existing* dengan simulasi menggunakan software ETAP. Simulasi ini untuk mengetahui energi busur api dilakukan pada semua bus yang ada sistem sehingga pada setiap bus dapat diketahui nilai arus *boltd fault* (*I_{bf}*), arus *arcing* (*I_a*), *fault clearing time* (*FCT*), insiden energi, dan kategori level energi. Simulasi ini dilakukan pada kondisi sistem disuplai dari PLN. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api *Existing*

BUS ID	I _{bf} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
BLOWER 1-5	7,655	4,521	0,02	0,186	-
BLOWER CR 6&7	4.850	2,682	5,69	28,937	4
AB 3(FILLING)	35,706	15,220	0,02	0,763	-
AB 9(FILLING)	35,706	15,220	0,02	0,763	-
AMB BAWAH	3,081	1,876	10,77	37,193	4
ASSEMBLING	35,092	15,013	0,24	7,849	2
ASSEMBLING BAWAH	8,579	4,946	0,02	0,213	-
BENGKEL DEPAN	3,146	2,243	0,02	0,087	-
BENGKEL KONSTRUKSI	3,051	1,861	10,99	37,651	4
BOILER I	26,046	11,869	0,02	0,508	-
BOILER II	26,046	11,869	0,02	0,508	-
CHILLER COJI ROM	6,938	4,184	31,74	218,845	>4
CHILLER COJI ROOM	6,932	3,554	0,02	0,190	-

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api *Existing* (Lanjutan)

BUS ID	I_{bf} (kA)	I_a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm²)	Level
CHILLER RTD	15,125	6,573	8,15	109,242	>4
COJI ROOM	35,092	15,013	0,24	7,849	2
COJI ROOM BLK	6,738	4,088	0,03	0,267	-
COMPRESSOR II	21,673	10,268	0,02	0,434	-
COMPRESSOR III	26,046	11,869	0,02	0,508	-
COOL ROOM MPC	4,837	3,149	0,02	0,121	-
FERMENTASI	7,445	4,423	0,02	0,177	-
GUDANG GARAM	22,316	10,508	0,02	0,452	-
KANTOR DEPAN Lt 1&2	4,145	2,369	82,44	366,366	>4
LABORAT	6,220	3,263	2,71	17,058	3
P. BBM RESIDU	26,046	11,869	0,02	0,508	-
P. COOL ROOM	21,155	8,563	0,03	0,493	-
P. PROSES	21,155	8,563	0,03	0,493	-
P. SYRUP	21,155	8,563	0,03	0,493	-
PAB	7,644	4,516	0,02	0,193	-
PAL	4,215	2,401	83,3	375,493	>4
PENERANGAN	26,046	11,869	0,02	0,508	-
PLN I	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN II	35,092	15,013	0,24	7,849	2
PROSES KECAP	5,256	2,857	19,88	108,160	>4
STEREDIAL I	35,706	15,220	0,02	0,763	-
STEREDIAL II	35,706	15,220	0,02	0,763	-
STEREDIAL III T/P	8,920	4,092	22,09	177,290	>4
T.U	3,133	2,236	0,02	0,087	-

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api *Existing* (Lanjutan)

BUS ID	I _{bf} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
KANTOR LT.3	4,340	2,457	10,15	46,946	>4
KECAP INGGRIS	1,889	1,275	8,76	19,938	3
LVMDP	48,796	19,468	9,6	350,201	>4
TEKNIK	6,220	3,839	0,02	0,155	-
UTILITY/POWER ROOM	26,046	11,869	9,87	210,125	>4
EX SBL STEAK	9,253	5.250	0,02	0,221	-
PEMADAM- API	5,635	3,018	2,7	15,622	1
PLN 1 OS 3	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 1 OS 4	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 1 OS 5	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 1 OS 6	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 2 OS 1	35,092	15,013	0,24	7,849	2
PLN 2 OS 2	4,378	2,474	141,3	658,053	>4
PLN 2 OS 3	35,092	15,013	0,24	7,849	2
PLN 2 OS 4	35,092	15,013	0,24	7,849	2
PLN 2 OS 5	35,092	15,013	0,24	7,849	2
POWER ROOM	35,706	15,220	0,24	7,965	2
RTD PLN 1	35,706	15.220	0,02	0,763	-
RTD PLN 2	21,155	8,563	0,03	0,493	-

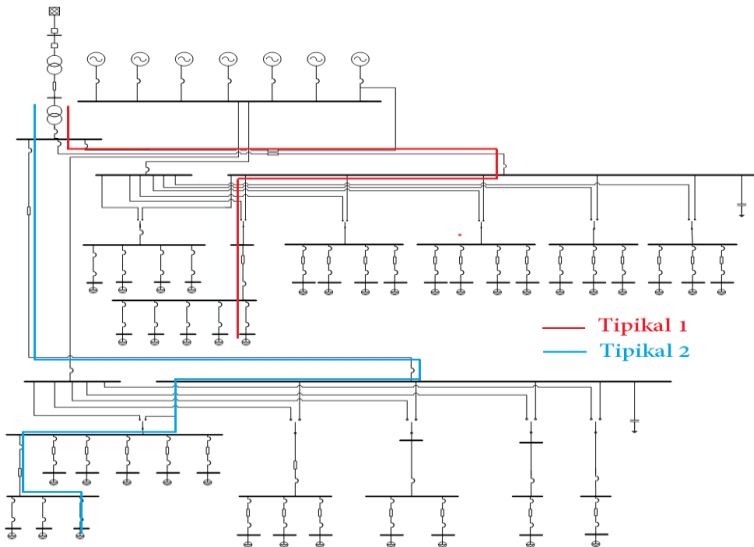
Dari hasil simulasi energi busur api pada kondisi *existing* di atas, dapat diketahui bahwa terdapat bus dengan nilai energi busur api yang kecil dan ada yang mencapai kategori level maksimum atau lebih besar dari level 4. Menurut standar NFPA 70E, energi busur api dengan level maksimum tidak terdapat rekomendasi untuk *personal protective equipment* (PPE) bagi pekerja sehingga nilai besar energi busur api tersebut harus dapat diturunkan. Dari hasil simulasi tersebut juga dapat diketahui bahwa terdapat bus dengan *fault clearing time* (FCT) dengan

waktu yang sangat cepat. Nilai energi busur api yang kecil dan waktu *fault clearing time* (FCT) yang cepat ini dikarenakan rele pengaman yang terpasang belum terkoordinasi dengan benar.

4.2 Analisa Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa

Nilai energi busur api yang timbul dipengaruhi oleh koordinasi proteksi dan waktu bekerjanya *circuit breaker* terhadap gangguan. Hasil yang diperoleh dari koordinasi rele pengaman pada kondisi *Existing* menunjukkan bahwa ada energi busur api yang timbul masih bernilai besar. Oleh karena itu perlu dilakukan *resetting* koordinasi proteksi rele pengaman agar energi busur api yang timbul dapat diminimalkan.

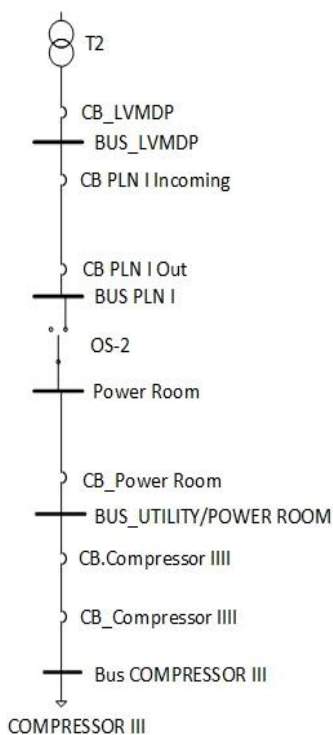
Pemilihan tipikal dilakukan sebelum melakukan *resetting* koordinasi proteksi rele pengaman. Pemilihan tipikal ini mewakili koordinasi sistem secara keseluruhan. Pada *resetting* rele pengaman pada sistem PT Heinz ABC Indonesia digunakan dua tipikal. Pemilihan tipikal ini ditentukan berdasarkan saluran terpanjang dari suplai menuju ke beban serta memiliki beban terbesar. Pada sistem ini dipilih 2 tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Pemilihan tipikal dapat dilihat melalui Gambar 4.1



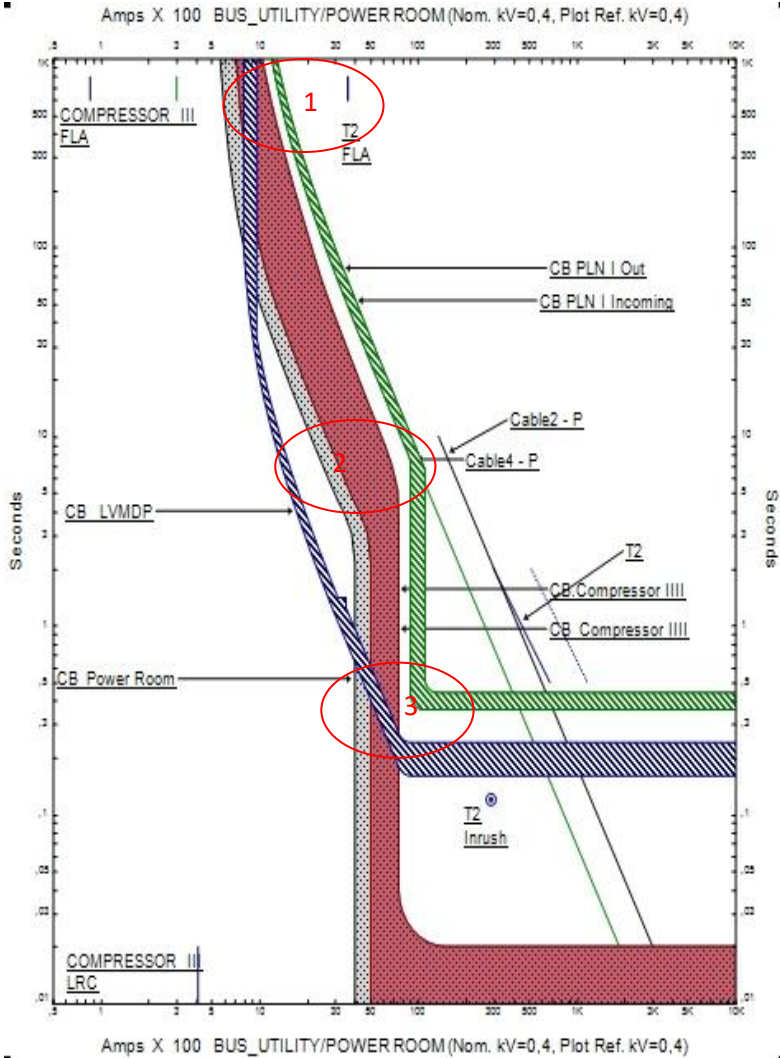
Gambar 4.1 Tipikal Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa

4.2.1 Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 1

Tipikal ini dimulai dari sumber *grid* PT Heinz ABC menuju ke beban *lump* COMPRESOR III. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dari sumber dalam hal ini *grid* PT Heinz ABC menuju beban ke beban *lump* COMPRESOR III. Rele-rele yang ada pada tipikal ini antara lain LVCB CB Compressor III, LVCB CB Power Room, ACB CB PLN I Out, dan ACB CB LVMDP. *Single Line Diagram* tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Untuk plot kurva TCC rele tipikal 1A kondisi *existing* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2. *Single Line Diagram* Koordinasi Tipikal 1



Gambar 4.3 Kurva TCC *Existing* Tipikal 1

Dari kurva TCC pada Gambar 4.3 diketahui bahwa rele pengaman arus lebih kondisi *existing* tipikal 1 belum terkoordinasi dengan baik. Seperti yang ditunjukkan oleh nomor 1 bahwa kurva rele CB LVMDP berada dibawah FLA trafo T2 yang seharusnya dilindungi oleh rele tersebut. Kemudian yang ditunjukkan oleh nomor dua, kurva rele CB LVMDP berada dibawah kurva rele CB PLN I out dan CB PLN I incoming. Selanjutnya pada nomor 3 diketahui bahwa rele CB Power berada dibawah CB Compressor IIII dan CB. Compressor IIII.

Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC *existing* tipikal 1 diatas, perlu dilakukan *resetting* terhadap kordinasi rele tipikal 1. Berikut ini adalah perhitungan untuk *resetting* dari masing-masiing rele tersebut.

a. CB Compressor IIII

<i>Manufacture</i>	: Mitsubishi
<i>Model</i>	: NF630-CS
<i>Size</i>	: 630
<i>Rate Amps</i>	: 630
<i>Making</i>	: 105
<i>Ultimate Breaking</i>	: 35
<i>Service Breaking</i>	: 35

b. CB.Compressor III

<i>Manufacture</i>	: Mitsubishi
<i>Model</i>	: NF630-CS
<i>Size</i>	: 630
<i>Rate Amps</i>	: 630
<i>Making</i>	: 105
<i>Ultimate Breaking</i>	: 35
<i>Service Breaking</i>	: 35

c. CB Power Room

<i>Manufacture</i>	: Mitsubishi
<i>Model</i>	: NF630-CW
<i>Size</i>	: 500
<i>Rate Amps</i>	: 500
<i>Making</i>	: 75,6
<i>Ultimate Breaking</i>	: 36
<i>Service Breaking</i>	: 18

d. CB PLN I Out

Manufacture : Metasol LSIS
Model : AN-10D4-10H
FLA Total : 936,3 A
Sensor ID : 1000 A
Rating Plug : 1 multiple

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 936,3 < \text{Iset} < 1,4 \times 936,3$$

$$983,01 < \text{Iset} < 1310,68$$

$$983,01 < \text{Tap} < \frac{1310,68}{1000}$$

$$\frac{983,01}{1000} < \text{Tap} < \frac{1310,68}{1000}$$

$$0,983 < \text{Tap} < 1,31$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,93 ; 0,98 ; 1)

Dipilih Tap : 1

Iset : 1000

Dipilih LT Band : 20

Short Time

Isc Min Bus PLN I : 27106 A

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus PLN I}$$

$$1,6 \times 936,3 < \text{Iset} < 0,8 \times 27106$$

$$1497,9 < \text{Iset} < 21684,8$$

$$1497,9 < \text{Tap} < \frac{21684,8}{1000}$$

$$\frac{1497,9}{1000} < \text{Tap} < \frac{21684,8}{1000}$$

$$1,498 < \text{Tap} < 21,68$$

(Range : 1.5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

Dipilih Tap : 8

Iset : 8000

Dipilih ST Band : 0.2

e. CB PLN I Incoming

Manufacture : Metasol LSIS
Model : AN-10D4-10H
FLA Total : 936,3 A

Sensor ID : 1000 A
Rating Plug : 1 multiple

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 936,3 < \text{Iset} < 1,4 \times 936,3$$

$$983,01 < \text{Iset} < 1310,68$$

$$\frac{983,01}{1000} < \text{Tap} < \frac{1310,68}{1000}$$

$$0,983 < \text{Tap} < 1,31$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,93 ; 0,98 ; 1)

Dipilih Tap : 1

Iset : 1000

Dipilih LT Band : 20

Short Time

Isc Min Bus PLN I : 27106 A

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus PLN I}$$

$$1,6 \times 936,3 < \text{Iset} < 0,8 \times 27106$$

$$1497,9 < \text{Iset} < 21684,8$$

$$\frac{1497,9}{1000} < \text{Tap} < \frac{21684,8}{1000}$$

$$1,498 < \text{Tap} < 21,68$$

(Range : 1.5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

Dipilih Tap : 8

Iset : 8000

Dipilih ST Band : 0.2

f. CB LVMDP

Manufacture : Metasol LSIS

Model : AN-16D4-16H

FLA Sekunder T2 : 3608 A

Sensor ID : 1600 A

Rating Plug : 1 multiple

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Sekunder T2} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Sekunder T2}$$

$$1,05 \times 3608 < \text{Iset} < 1,4 \times 3608$$

$$3788,4 < \text{Iset} < 5051,2$$

$$\frac{3788,4}{1600} < \text{Tap} < \frac{5051,2}{1600}$$

$$2,37 < \text{Tap} < 3,16$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,93 ; 0,98 ; 1)

Dipilih Tap : 1

Iset : 1600 A hal ini dikarenakan kapasitas CB

LVMDP sebesar 1600 A

Dipilih LT Band : 20

Short Time

Isc Min Bus LVMDP : 37612 A

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder T2} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus LVMDP}$$

$$1,6 \times 3608 < \text{Iset} < 0,8 \times 27106$$

$$5772,8 < \text{Iset} < 30089,6$$

$$\frac{5772,8}{1600} < \text{Tap} < \frac{30089,6}{1600}$$

$$3,608 < \text{Tap} < 18,806$$

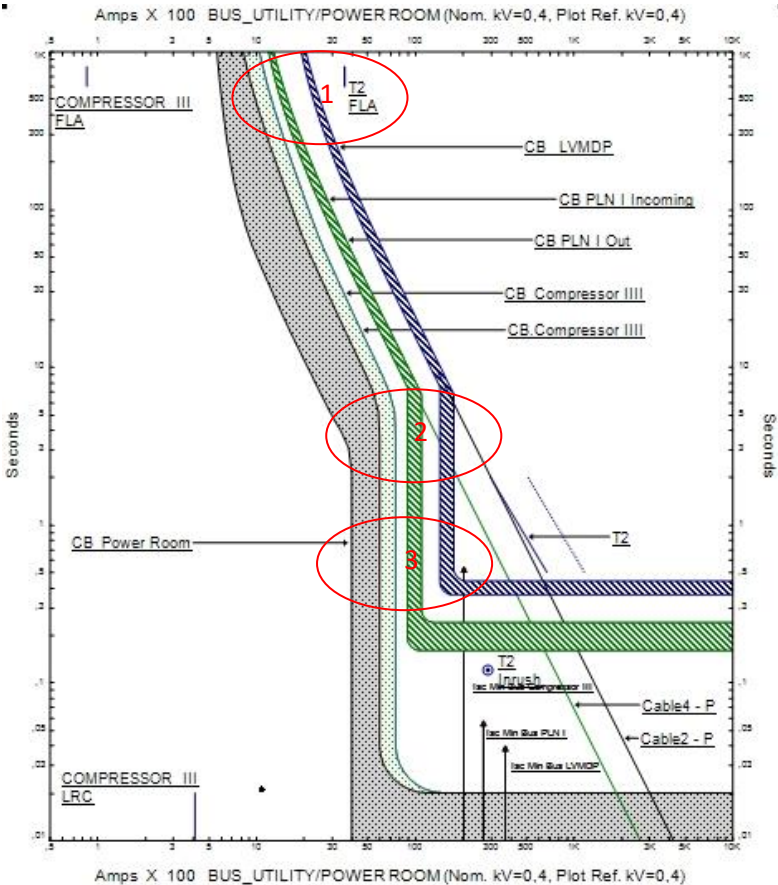
(Range : 1.5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

Dipilih Tap : 10

Iset : 16000 A

Dipilih ST Band : 0.4

Setelah dilakukan *resetting* pada rele arus lebih tipikal 1A sesuai dengan perhitungan diatas, maka dapat dilihat plot kurva TCC hasil *resetting* pada Gambar 4.4.



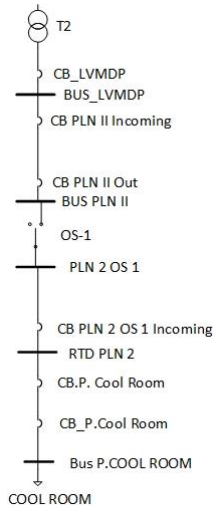
Gambar 4.4 Kurva TCC *Resetting* Tipikal 1

Dari kurva TCC *resetting* tipikal 1 diatas dapat dilihat bahwa beberapa rele sudah berada pada kondisi yang baik. Rele CB Compressor III dan CB.Compressor III akan bekerja secara *instantaneous* ketika terjadi arus gangguan hubung singkat. Kemudian rele CB LVMDP waktu operasinya disesuaikan dari 0,005 detik menjadi 0,4 detik sesuai waktu kerja rele. Namun, ada rele yang belum berada pada kondisi yang sesuai. Hal ini terlihat pada nomor satu rele CB LVMDP masih berada dibawah

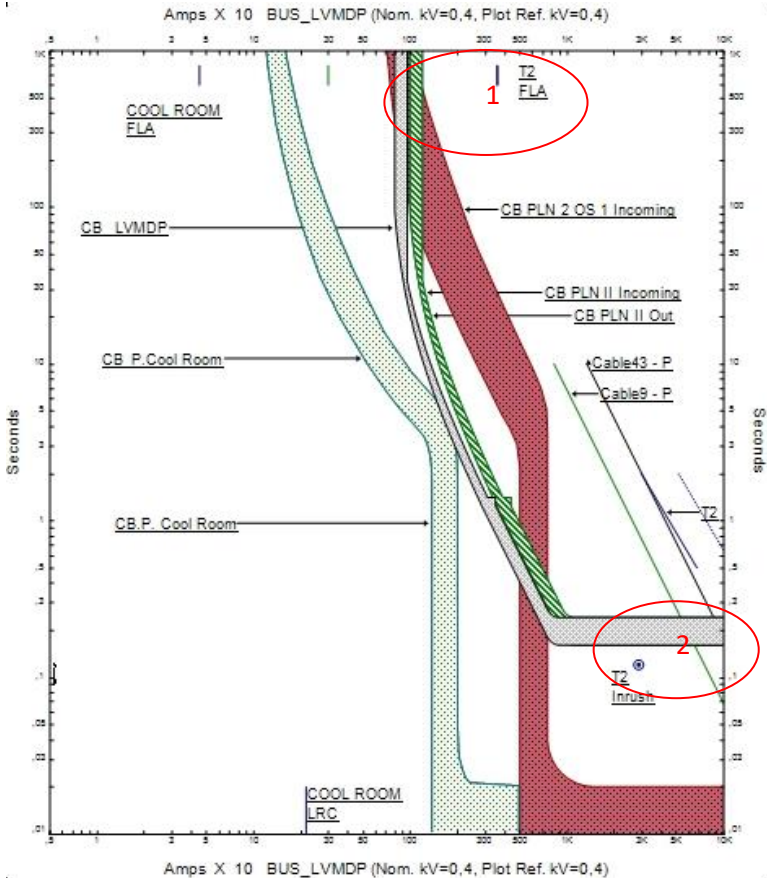
FLA trafo T2. Hal ini dikarenakan kapasitas rele LVMDP yang tidak sesuai untuk melindungi trafo T2. Selanjutnya pada nomor 3 CB Power Room masih berada dibawah CB Compressor IIII dan CB.Compressor IIII karena jenis CB Power Room merupakan CB Thermal sehingga tidak dapat dilakukan *resetting* dan direkomendasikan pergantian CB. Dari kurva TCC diatas juga dapat dilihat bahwa masing-masing rele dapat langsung mengamankan bus saat terjadi gangguan hubung singkat minimum di masing-masing bus tersebut.

4.2.2 Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 2

Tipikal ini dimulai dari sumber *grid* PT Heinz ABC menuju ke beban *lump* COOL ROOM. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dari sumber dalam hal ini *grid* PT Heinz ABC menuju beban ke beban *lump* COOL ROOM. Rele-rele yang ada pada tipikal ini antara lain LVCB CB P. Cool Room, LVCB CB.P.Cool Room, LCVB CB PLN 2 OS 1 Incoming, ACB CB PLN II Out, ACB CB PLN II Incoming, dan ACB CB LVMDP. *Single Line Diagram* tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 Untuk plot kurva TCC rele tipikal 2 kondisi *existing* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Single Line Diagram Tipikal 2



Gambar 4.6 Kurva TCC *Existing* Tipikal 2

Dari kurva TCC pada Gambar 4.6 diketahui bahwa rele pengaman arus lebih kondisi *existing* tipikal 2 belum terkoordinasi dengan baik. Hal ini dapat dilihat dari nomor satu bahwa rele LVMDP berada di bawah FLA Trafo T2. Selanjutnya pada nomor 2 dapat dilihat bahwa rele LVMDP dan rele PLN II out serta PLN II incoming memiliki grading time yang sama, dan akan beroperasi bersamaan. Hal ini dikarenakan kedua rele itu memiliki nilai arus hubung singkat minimum yang sama dan *setting* FLA yang sama.

a. CB P.Cool Room

Manufacture : Mitsubishi
Model : NF125-CW
Size : 100
Rate Amps : 100
Making : 40
Ultimate Breaking : 10
Service Breaking : 5

b. CB.P. Cool Room

Manufacture : Mitsubishi
Model : NF125-CW
Size : 100
Rate Amps : 100
Making : 40
Ultimate Breaking : 10
Service Breaking : 5

c. CB PLN 2 OS 1 Incoming

Manufacture : Mitsubishi
Model : NF630-CP
Size : 630
Rate Amps : 630
Making : 75,6
Ultimate Breaking : 36
Service Breaking : 18

d. CB PLN II Out

Manufacture : Metasol LSIS
Model : AN-10D4-10H
FLA Total : 629 A
Sensor ID : 1000 A
Rating Plug : 1 multiple

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$
$$1,05 \times 629 < \text{Iset} < 1,4 \times 629$$
$$660,45 < \text{Iset} < 880,6$$

$$\frac{660,45}{1000} < \text{Tap} < \frac{880,6}{1000}$$

$$0,66 < \text{Tap} < 0,88$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,93 ; 0,98 ; 1)

Dipilih Tap : 0,88
 Iset : 800
 Dipilih LT Band : 20

Short Time

Isc Min Bus PLN II : 27106 A

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus PLN I}$$

$$1,6 \times 629 < \text{Iset} < 0,8 \times 27106$$

$$1006,4 < \text{Iset} < 21684,8$$

$$\frac{1006,4}{1000} < \text{Tap} < \frac{21684,8}{1000}$$

$$1,01 < \text{Tap} < 21,68$$

(Range : 1.5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

Dipilih Tap : 8
 Iset : 8000
 Dipilih ST Band : 0.2

e. CB PLN II Incoming

Manufacture : Metasol LSIS

Model : AN-10D4-10H

FLA Total : 629 A

Sensor ID : 1000 A

Rating Plug : 1 multiple

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 629 < \text{Iset} < 1,4 \times 629$$

$$660,45 < \text{Iset} < 880,6$$

$$\frac{660,45}{1000} < \text{Tap} < \frac{880,6}{1000}$$

$$0,66 < \text{Tap} < 0,88$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,93 ; 0,98 ; 1)

Dipilih Tap : 0,88

Iset : 800
 Dipilih LT Band : 20

Short Time

Isc Min Bus PLN II : 27106 A
 ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus PLN I}$$

$$1,6 \times 629 < \text{Iset} < 0,8 \times 27106$$

$$1006,4 < \text{Iset} < 21684,8$$

$$\frac{1006,4}{1000} < \text{Tap} < \frac{21684,8}{1000}$$

$$1,01 < \text{Tap} < 21,68$$

(Range : 1.5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

Dipilih Tap : 8
 Iset : 8000
 Dipilih ST Band : 0.2

f. CB LVMDP

Manufacture : Metasol LSIS
 Model : AN-16D4-16H
 FLA Sekunder T2 : 3608 A
 Sensor ID : 1600 A
 Rating Plug : 1 multiple

Long Time

LT Pickup :
 1,05 x FLA Sekunder T2 < Iset < 1,4 x FLA Sekunder T2

$$1,05 \times 3608 < \text{Iset} < 1,4 \times 3608$$

$$3788,4 < \text{Iset} < 5051,2$$

$$\frac{3788,4}{1600} < \text{Tap} < \frac{5051,2}{1600}$$

$$2,37 < \text{Tap} < 3,16$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,93 ; 0,98 ; 1)

Dipilih Tap : 1
 Iset : 1600 A
 Dipilih LT Band : 20

Short Time

Isc Min Bus LVMDP: 37612 A

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder T2} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus LVMDP}$$

$$1,6 \times 3608 < \text{Iset} < 0,8 \times 27106$$

$$5772,8 < \text{Iset} < 30089,6$$

$$\frac{5772,8}{1600} < \text{Tap} < \frac{30089,6}{1600}$$

$$3,608 < \text{Tap} < 18,806$$

(Range : 1.5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

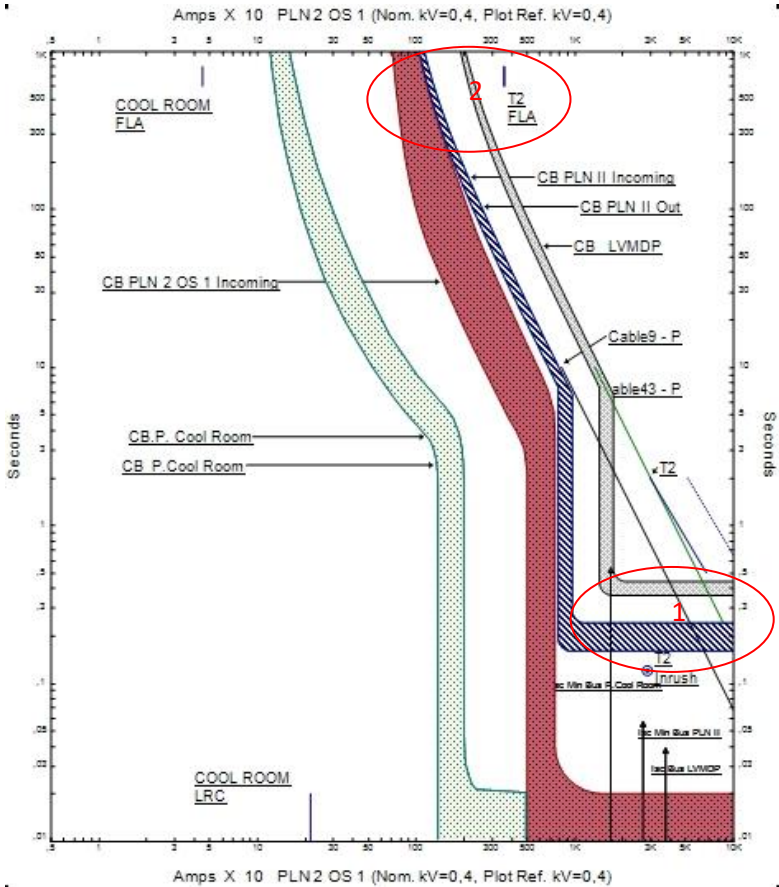
Dipilih Tap : 10

Iset : 16000 A

Dipilih ST Band : 0.4

Setelah dilakukan *resetting* pada rele arus lebih tipikal 1A sesuai dengan perhitungan diatas, maka dapat dilihat plot kurva TCC hasil *resetting* pada Gambar 4.7.

Dari Gambar 4.7 kurva TCC diperoleh bahwa pada nomor satu rele LVMDP dan rele PLN II Incoming sudah memiliki waktu operasi yang berbeda sehingga rele LVMDP menjadi back up rele PLN II Incoming. Pada tipikal ini rele PLN II Incoming dan PLN II out memiliki nilai setting yang sama. Hal ini dikarenakan rele tersebut memiliki setting FLA yang sama dan nilai arus hubung singkat minimum yang sama. Pada nomor dua dapat dilihat bahwa rele LVMDP belum mampu melindungi FLA Trafo T2 karena kapasitas rele tersebut lebih kecil dari FLA Trafo T2.



Gambar 4.7. Kurva TCC *resetting* Tipikal 2

4.3 Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) Kondisi *Resetting*

Setelah dilakukan *resetting* pada koordinasi rele arus lebih pada PT. Heinz ABC Indonesia, maka dapat diperoleh nilai dari energi busur api yang terjadi. Untuk mengetahui nilai dari energi busur api dapat dilakukan dengan *software* ETAP dan perhitungan sesuai standar IEEE 1584-2002.

4.3.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting*

Hasil simulasi pada kondisi *resetting* dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data yang diperoleh dari setiap bus yakni nilai arus *boltd fault* (Ibf), *arcng currrent* (Ia), *fault clearing time* (FCT), insiden energi, dan kategori level energi.

Tabel 4.2. Hasil simulasi energi busur api kondisi *Resetting*

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm2)	Level
BLOWER 1-5	7,655	4,521	0,02	0,18	-
BLOWER CR 6&7	4,850	2,682	2,79	14,190	3
AB 3(FILLING)	35,706	15,220	0,02	0,765	-
AB 9(FILLING)	35,706	15,220	0,02	0,765	-
AMB BAWAH	3,081	1,876	6,3	21,754	3
ASSEMBLING	35,092	15,013	0,05	1,635	1
ASSEMBLING BAWAH	8,579	4,946	0,02	0,203	-
BENGKEL DEPAN	3,146	2,243	0,02	0,087	-
BENGKEL KONSTRUKSI	3,051	1,861	10	34,246	4
BOILER I	26,046	11,869	0,02	0,508	-
BOILER II	26,046	11,869	0,02	0,508	-
CHILLER COJI ROM	6,938	4,184	1,4	11,547	3
CHILLER COJI ROOM	6,932	3,554	0,03	0,190	-
CHILLER RTD	15,125	6,573	0,49	6,551	2
COJI ROOM	35,092	15,013	0,05	1,635	1
COJI ROOM BLK	6,738	4,088	0,03	0,267	-
COMPRESSOR II	21,673	10,268	0,02	4,434	2

Tabel 4.2. Hasil simulasi energi busur api kondisi *Resetting* (Lanjutan)

BUS ID	I_{bf} (kA)	I_a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm²)	Level
COMPRESSOR III	26,046	11,869	0,02	0,508	-
COOL ROOM MPC	4,837	3,149	0,02	0,121	-
FERMENTASI	7,445	4,423	0,02	0,177	-
GUDANG GARAM	22,316	10,508	0,02	0,452	-
KANTOR DEPAN Lt 1&2	4,145	2.369	3,79	16,882	3
LABORAT	6,220	3.263	1,77	11,100	3
P. BBM RESIDU	26,046	11.869	0,02	0,508	-
P. COOL ROOM	21,155	8,563	0,02	0,565	-
P. PROSES	21,155	8,563	0,02	0,565	-
P. SYRUP	21,155	8,563	0,02	0,565	-
PAB	7,644	4,516	0,02	0,193	-
PAL	4,215	2,401	3,8	17,167	3
PENERANGAN	26,046	11,869	0,02	0,508	-
PLN I	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN II	35,092	15,013	0,05	1,635	1
PROSES KECAP	5,256	2,857	2,44	13,255	3
STEREDIAL I	35,706	15,220	0,02	0,93	-
STEREDIAL II	35,706	15,220	0,02	0,93	-
STEREDIAL III T/P	8,920	4,092	1,4	11,273	3
T.U	3,133	2,236	0,02	0,087	-
KANTOR LT.3	4,340	2,457	3,34	15,426	3
KECAP INGGRIS	1,889	1,275	8,76	19,938	3
LVMDP	48,796	19,468	0,24	10,394	3
TEKNIK	6,220	3,839	0,02	0,155	-

Tabel 4.2. Hasil simulasi energi busur api kondisi *Resetting* (Lanjutan)

BUS ID	I _{bf} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
UTILITY/POWER ROOM	26,046	11,869	0,24	6,088	2
EX SBL STEAK	9,253	5,250	0,02	0,221	-
PEMADAM-API	5,635	3,018	2,12	12.234	3
PLN 1 OS 3	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 1 OS 4	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 1 OS 5	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 1 OS 6	35,706	15,220	0,24	7,965	2
PLN 2 OS 1	35,092	15,013	0,05	1.635	1
PLN 2 OS 2	4,378	2,474	3,34	15,557	3
PLN 2 OS 3	35,092	15,013	0,05	1,635	1
PLN 2 OS 4	35,092	15,013	0,05	1,635	1
PLN 2 OS 5	35,092	15,013	0,05	1,635	1
POWER ROOM	35,706	15.,220	0,24	7,965	2
RTD PLN 1	35,706	15,220	0,02	0,765	-
RTD PLN 2	21,155	8,563	0,02	0,493	-

4.3.2 Perhitungan Energi busur Api Kondisi *Resetting* dengan Standar IEEE 1584-2002

Selain dari hasil simulasi nilai energi busur api juga dapat diperoleh dari perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002. Nilai yang dicari ialah *arcing fault* (I_a) dan energi insiden busur api (E). Sedangkan data jarak/gap antar bus, jarak kerja/*working distance*, dan *X factor* digunakan standar IEEE 1584-2002 yang disesuaikan dengan level tegangan pada tiap bus. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Untuk Perhitungan Energi busur Api

BUS ID	kV	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
BLOWER 1-5	0,4	32	610	1473	0,02	7,655
BLOWER CR 6&7	0,4	32	610	1473	2,79	4,850
AB 3 (FILLING)	0,4	32	610	1473	0,02	35,7
AB 9 (FILLING)	0,4	32	610	1473	0,02	35,7
AMB BAWAH	0,4	32	610	1473	6,3	3,081
ASSEMBLING	0,4	32	610	1473	0,05	35,09
ASSEMBLING BAWAH	0,4	32	610	1473	0,02	8,579
BENGKEL DEPAN	0,4	32	610	1473	0,02	3,146
BENGKEL KONSTRUKSI	0,4	32	610	1473	10	3,051
BOILER I	0,4	32	610	1473	0,02	26,04
BOILER II	0,4	32	610	1473	0,02	26,04
CHILLER COJI ROM	0,4	32	610	1473	1,4	6,938
CHILLER COJI ROOM	0,4	32	610	1473	0,03	6,932
CHILLER RTD	0,4	32	610	1473	0,49	15,12
COJI ROOM	0,4	32	610	1473	0,05	35,09

Tabel 4.3. Data Untuk Perhitungan Energi busur Api (Lanjutan)

BUS ID	kV	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
COJI ROOM BLK	0,4	32	610	1473	0,03	6,738
COMPRESSOR II	0,4	32	610	1473	0,02	21,67
COMPRESSOR III	0,4	32	610	1473	0,02	26,04
COOL ROOM MPC	0,4	32	610	1473	0,02	4,837
FERMENTASI	0,4	32	610	1473	0,02	7,445
GUDANG GARAM	0,4	32	610	1473	0,02	22,31
KANTOR DEPAN LT 1&2	0,4	32	610	1473	3,79	4,145
LABORAT	0,4	32	610	1473	1,77	6,220
P. BBM RESIDU	0,4	32	610	1473	0,02	26,04
P. COOL ROOM	0,4	32	610	1473	0,02	21,15
P. PROSES	0,4	32	610	1473	0,02	21,15
P. SYRUP	0,4	32	610	1473	0,02	21,15 5
PAB	0,4	32	610	1473	0,02	7,644
PAL	0,4	32	610	1473	3,8	4,215
PENERANGAN	0,4	32	610	1473	0,02	26,04 6
PLN I	0,4	32	610	1473	0,24	35,7
PLN II	0,4	32	610	1473	0,05	35,09
PROSES KECAP	0,4	32	610	1473	2,44	5,256

Tabel 4.3. Data Untuk Perhitungan Energi busur Api (Lanjutan)

BUS ID	kV	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
STEREDIA L I	0,4	32	610	1473	0,02	35,7
STEREDIA L II	0,4	32	610	1473	0,02	35,7
STEREDIA L III T/P	0,4	32	610	1473	1,4	8,920
T.U	0,4	32	610	1473	0,02	3,133
KANTOR LT.3	0,4	32	610	1473	3,34	4,340
KECAP INGGRIS	0,4	32	610	1473	8,76	1,889
LVMDP	0,4	32	610	1473	0,24	48,79
TEKNIK	0,4	32	610	1473	0,02	6,220
UTILITY/POWER ROOM	0,4	32	610	1473	0,24	26,04
EX SBL STEAK	0,4	32	610	1473	0,02	9,253
PEMADAM -API	0,4	32	610	1473	2,12	5,635
PLN 1 OS 3	0,4	32	610	1473	0,24	35,7
PLN 1 OS 4	0,4	32	610	1473	0,24	35,7
PLN 1 OS 5	0,4	32	610	1473	0,24	35,7
PLN 1 OS 6	0,4	32	610	1473	0,24	35,7
PLN 2 OS 1	0,4	32	610	1473	0,05	35,09
PLN 2 OS 2	0,4	32	610	1473	3,34	4,378
PLN 2 OS 3	0,4	32	610	1473	0,05	35,09
PLN 2 OS 4	0,4	32	610	1473	0,05	35,09
PLN 2 OS 5	0,4	32	610	1473	0,05	35,09
POWER ROOM	0,4	32	610	1473	0,24	35,7
RTD PLN 1	0,4	32	610	1473	0,02	35,7
RTD PLN 2	0,4	32	610	1473	0,02	21,1

Perhitungan energi busur api untuk beberapa bus pada PT ABC Heinz sebagai berikut :

a. Bus PLN I

Perhitungan *arcng current* (Ia) :

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

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 35,076) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + 0,5588(0,4)(\lg 35,076) - 0,00304(32) (\lg 35,076)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,545) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + 0,5588(0,4)(1,545) - 0,00304(32) (1,545)$$

$$I_a = 15,2 \text{ kA}$$

Perhitungan *incident energy* (E) :

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

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 15,2) + 0,0011 \times 32$$

$$\lg E_n = 0,64219$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 4,387228 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \times 0,2388$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,387228 \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1473}}{610^{1473}}\right) \times 0,2388$$

$$E = 7,95 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan *flash protection boundary* (D) :

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

$$D_B = \sqrt[1,473]{4,184 \times 1,5 \times 4,387228 \times \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right)}$$

$$D_B = 2209,221841 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,2 \text{ m}$$

b. Bus CHILLER RTD

Perhitungan *arcng current* (Ia) :

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

$$\begin{aligned} \lg I_a &= -0,097 + 0,662(\lg 15.125) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) \\ &\quad + 0,5588(0,4)(\lg 15.125) - 0,00304(32) (\lg 15.125) \\ \lg I_a &= -0,097 + 0,662(2,7163) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + \\ &\quad 0,5588(0,4)(2,7163) - 0,00304(32) (2,7163) \\ I_a &= 7,73 \text{ kA} \end{aligned}$$

Perhitungan *incident energy* (E) :

$$\begin{aligned} \lg E_n &= K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \\ \lg E_n &= -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 6,7) + 0,0011 \times 32 \\ \lg E_n &= 0,24993 \\ E_n &= 10^{\lg E_n} \\ E_n &= 1,777981 \text{ J/cm}^2 \\ E &= 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \times 0,2388 \\ E &= 4,184 \times 1,5 \times 1,777981 \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,473}}{610^{1,473}}\right) \times 0,2388 \\ E &= 7,81 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan *flash protection boundary* (D) :

$$\begin{aligned} D_B &= \sqrt[1,473]{4,184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{E_B}\right)} \\ D_B &= \sqrt[1,473]{4,184 \times 1,5 \times 1,777981 \times \left(\frac{0,49}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right)} \\ D_B &= 2182,166021 \text{ mm} \\ D_B &= 2,1 \text{ m} \end{aligned}$$

c. **Bus Utility/Power Room**

Perhitungan *arcing current* (Ia) :

$$\begin{aligned} \lg I_a &= K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg \\ &\quad I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \\ \lg I_a &= -0,097 + 0,662(\lg 26,046) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) \\ &\quad + 0,5588(0,4)(\lg 26,046) - 0,00304(32) (\lg 26,046) \\ \lg I_a &= -0,097 + 0,662(1,4157) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + \\ &\quad 0,5588(0,4)(1,4157) - 0,00304(32) (1,4157) \\ I_a &= 11,87 \text{ kA} \end{aligned}$$

Perhitungan *incident energy* (E) :

$$\begin{aligned} \lg E_n &= K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \\ \lg E_n &= -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 11,9) + 0,0011 \times 32 \\ \lg E_n &= 0,52666 \\ E_n &= 10^{\lg E_n} \\ E_n &= 3,362531 \text{ J/cm}^2 \\ E &= 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \times 0,2388 \\ E &= 4,184 \times 1,5 \times 43,362531 \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,473}}{610^{1,473}}\right) \times 0,2388 \\ E &= 6,07 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan *flash protection boundary* (D) :

$$\begin{aligned} D_B &= \sqrt[3]{4,184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{E_B}\right)} \\ D_B &= \sqrt[1,473]{4,184 \times 1,5 \times 3,362531 \times \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right)} \\ D_B &= 1840,724267 \text{ mm} \\ D_B &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Bus PEMADAM API

Perhitungan *arcing current* (I_a) :

$$\begin{aligned} \lg I_a &= K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \\ \lg I_a &= -0,097 + 0,662(\lg 5,635) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + 0,5588(0,4)(\lg 5,635) - 0,00304(32) (\lg 5,635) \\ \lg I_a &= -0,097 + 0,662(0,7508) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + 0,5588(0,4)(0,7508) - 0,00304(32) (0,7508) \\ I_a &= 3,55 \text{ kA} \end{aligned}$$

Perhitungan *incident energy* (E) :

$$\begin{aligned} \lg E_n &= K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \\ \lg E_n &= -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 3,01) + 0,0011 \times 32 \\ \lg E_n &= -0,11867 \\ E_n &= 10^{\lg E_n} \\ E_n &= 0,760905 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \times 0,2388$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 0,7060905 \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1473}}{610^{1473}}\right) \times 0,2388$$

$$E = 14,56 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan *flash protection boundary* (D) :

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

$$D_B = \sqrt[1,473]{4,184 \times 1,5 \times 0,7060905 \times \left(\frac{2,12}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right)}$$

$$D_B = 3332,00364 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,3 \text{ m}$$

e. **BUS BOILER I**

Perhitungan *arcing current* (Ia) :

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

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 26,046) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + 0,5588(0,4)(\lg 26,046) - 0,00304(32) (\lg 26,046)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,4157) + 0,0966(0,4) + 0,000526(32) + 0,5588(0,4)(1,4157) - 0,00304(32) (1,4157)$$

$$I_a = 11,87 \text{ kA}$$

Perhitungan *incident energy* (E) :

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

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 11,9) + 0,0011 \times 32$$

$$\lg E_n = 0,52666$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 3,362531 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \times 0,2388$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 3,362531 \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1473}}{610^{1473}}\right) \times 0,2388$$

$$E = 0,51 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan *flash protection boundary* (D) :

$$D_B = \sqrt[3]{4,184 \times Cf \times En \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{E_B}\right)}$$

$$D_B = \sqrt[3]{4,184 \times 1,5 \times 3,362531 \times \left(\frac{0,24}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right)}$$

$$D_B = 340,6803015 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,3 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan standar IEEE 1584-2002 pada seluruh bus, maka hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting*

BUS ID	I _{bf} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
BLOWER 1-5	7,655	4,521	0,02	0,178	-
BLOWER CR 6&7	4,850	2,682	2,79	16,86	3
AB 3(FILLING)	35,706	15,220	0,02	0,66	-
AB 9(FILLING)	35,706	15,220	0,02	0,66	-
AMB BAWAH	3,081	1,876	6,3	21,79	3
ASSEMBLING	35,092	15,013	0,05	1,63	1
ASSEMBLING BAWAH	8,579	4,946	0,02	0,2	-
BENGKEL DEPAN	3,146	2,243	0,02	0,83	-
BENGKEL KONSTRUKSI	3,051	1,861	10	34,35	4
BOILER I	26,046	11,869	0,02	0,51	-
BOILER II	26,046	11,869	0,02	0,51	-
CHILLER COJI ROM	6,938	4,184	1,4	11,5	3
CHILLER COJI ROOM	6,932	3,554	0,03	0,25	-
CHILLER RTD	15,125	6,573	0,49	7,81	2
COJI ROOM	35,092	15,013	0,05	1,63	1

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* (Lanjutan)

BUS ID	I_{bf} (kA)	I_a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm²)	Level
COJI ROOM BLK	6,738	4,088	0,03	0,24	-
COMPRESSOR II	21,673	10,268	0,02	4,43	2
COMPRESSOR III	26,046	11,869	0,02	0,51	-
COOL ROOM MPC	4,837	3,149	0,02	0,12	-
FERMENTASI	7,445	4,423	0,02	0,17	-
GUDANG GARAM	22,316	10,508	0,02	0,44	-
KANTOR DEPAN Lt 1&2	4,145	2,369	3,79	20,04	3
LABORAT	6,220	3,263	1,77	13,22	3
P. BBM RESIDU	26,046	11.869	0,02	0,51	-
P. COOL ROOM	21,155	8,563	0,02	0,42	-
P. PROSES	21,155	8,563	0,02	0,42	-
P. SYRUP	21,155	8,563	0,02	0,42	-
PAB	7,644	4,516	0,02	0,17	-
PAL	4,215	2,401	3,8	20,38	3
PENERANGAN	26,046	11,869	0,02	0,51	-
PLN I	35,706	15,220	0,24	7,95	2
PLN II	35,092	15,013	0,05	1,63	1
PROSES KECAP	5,256	2,857	2,44	15,79	3
STEREDIAL I	35,706	15,220	0,02	0,66	-
STEREDIAL II	35,706	15,220	0,02	0,66	-
STEREDIAL III T/P	8,920	4,092	1,4	14,22	3
T.U	3,133	2,236	0,02	0,083	-
KANTOR LT.3	4,340	2,457	3,34	18,36	3

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* (Lanjutan)

BUS ID	I _{bf} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
KECAP INGGRIS	1,889	1,275	8,76	23,71	3
LVMDP	48,796	19,468	0,24	10,37	3
TEKNIK	6,220	3,839	0,02	0,15	-
UTILITY/POWER ROOM	26,046	11,869	0,24	6,07	2
EX SBL STEAK	9,253	5,250	0,02	0,21	-
PEMADAM- API	5,635	3,018	2,12	14,56	3
PLN 1 OS 3	35,706	15,220	0,24	7,95	2
PLN 1 OS 4	35,706	15,220	0,24	7,95	2
PLN 1 OS 5	35,706	15,220	0,24	7,95	2
PLN 1 OS 6	35,706	15,220	0,24	7,95	2
PLN 2 OS 1	35,092	15,013	0,05	1,63	1
PLN 2 OS 2	4,378	2,474	3,34	18,5	3
PLN 2 OS 3	35,092	15,013	0,05	1,63	1
PLN 2 OS 4	35,092	15,013	0,05	1,63	1
PLN 2 OS 5	35,092	15,013	0,05	1,63	1
POWER ROOM	35,706	15,220	0,24	7,95	2
RTD PLN 1	35,706	15,220	0,02	0,66	-
RTD PLN 2	21,155	8,563	0,02	0,42	-

4.4 Perbandingan Besar Nilai Energi Busur Api

Setelah dilakukan simulasi terhadap energi busur api pada kondisi *existing* dan *resetting*, serta perhitungan energi busur api sesuai standar IEEE 1584-2002, maka dapat dilakukan perbandingan dari hasil simulasi dan hasil perhitungan tersebut. Perbandingan tersebut dapat dilihat di Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level	Simulasi Energi (cal/cm ²)	Hitungan Energi (cal/cm ²)	Level
BLOWER 1-5	0,186	-	0,186	0,178	-
BLOWER CR 6&7	28,937	4	14,190	16,86	3
AB 3(FILLING)	0,763	-	0,765	0,66	-
AB 9(FILLING)	0,763	-	0,765	0,66	-
AMB BAWAH	37,193	4	21,754	21,79	3
ASSEMBLING	7,849	2	1,635	1,63	1
ASSEMBLING BAWAH	0,213	-	0,203	0,2	-
BENGKEL DEPAN	0,087	-	0,087	0,83	-
BENGKEL KONSTRUKSI	37,651	4	34,246	34,35	4
BOILER I	0,508	-	0,508	0,51	-
BOILER II	0,508	-	0,508	0,51	-
CHILLER COJI ROM	218,845	>4	11,547	11,5	3
CHILLER COJI ROOM	0,190	-	0,190	0,25	-
CHILLER RTD	109,242	>4	6,551	7,81	2
COJI ROOM	7,849	2	1,635	1,63	1
COJI ROOM BLK	0,267	-	0,267	0,24	-
COMPRESSOR II	0,434	-	4,434	4,43	2
COMPRESSOR III	0,508	-	0,508	0,51	-
COOL ROOM MPC	0,121	-	0,121	0,12	-
FERMENTASI	0,177	-	0,177	0,17	-

Tabel 4.5. Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan (Lanjutan)

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level	Simulasi Energi (cal/cm ²)	Hitungan Energi (cal/cm ²)	Level
GUDANG GARAM	0,452	-	0,452	0,44	-
KANTOR DEPAN Lt 1&2	366,366	>4	16,882	20,04	3
LABORAT	17,058	3	11,100	13,22	3
P. BBM RESIDU	0,508	-	0,508	0,51	-
P. COOL ROOM	0,493	-	0,565	0,42	-
P. PROSES	0,493	-	0,565	0,42	-
P. SYRUP	0,493	-	0,565	0,42	-
PAB	0,193	-	0,193	0,17	-
PAL	375,493	>4	17,167	20,38	3
PENERANGAN	0,508	-	0,508	0,51	-
PLN I	7,965	2	7,965	7,95	2
PLN II	7,849	2	1,635	1,63	1
PROSES KECAP	108,160	>4	13,255	15,79	3
STEREDIAL I	0,763	-	0,93	0,66	-
STEREDIAL II	0,763	-	0,93	0,66	-
STEREDIAL III T/P	177,290	>4	11,273	14,22	3
T.U	0,087	-	0,087	0,083	-
KANTOR LT.3	46,946	>4	15,426	18,36	3
KECAP INGGRIS	19,938	3	19,938	23,71	3
LVM DP	350,201	>4	10,394	10,37	3
TEKNIK	0,155	-	0,155	0,15	-
UTILITY/POWER ROOM	210,125	>4	6,088	6,07	2
EX SBL STEAK	0,221	-	0,221	0,21	-

Tabel 4.5. Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan (Lanjutan)

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level		Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
PEMADAM API	15,622	1	12.234	14,56	3
PLN 1 OS 3	7,965	2	7,965	7,95	2
PLN 1 OS 4	7,965	2	7,965	7,95	2
PLN 1 OS 5	7,965	2	7,965	7,95	2
PLN 1 OS 6	7,965	2	7,965	7,95	2
PLN 2 OS 1	7,849	2	1.635	1,63	1
PLN 2 OS 2	658,053	>4	15,557	18,5	3
PLN 2 OS 3	7,849	2	1,635	1,63	1
PLN 2 OS 4	7,849	2	1,635	1,63	1
PLN 2 OS 5	7,849	2	1,635	1,63	1
POWER ROOM	7,965	2	7,965	7,95	2
RTD PLN 1	0,763	-	0,765	0,66	-
RTD PLN 2	0,493	-	0,493	0,42	-

Dari perbandingan nilai insiden energi dan kategori level busur api di atas, terdapat bus yang mengalami penurunan dan ada yang mengalami peningkatan insiden energi setelah dilakukan *resetting*. Hal ini dipengaruhi oleh waktu operasi rele dalam mengamankan gangguan atau *fault clearing time* (FCT). Dimana semakin lama waktu operasi pada rele, maka semakin besar insiden energi yang timbul. Untuk bus yang mengalami peningkatan setelah *resetting*, hal ini dikarenakan rele pada kondisi *existing* memiliki waktu operasi yang belum terkoordinasikan dengan baik. Masih terdapat rele dengan waktu operasi yang terlalu cepat dari waktu yang seharusnya, dan terdapat rele yang masih belum bekerja secara berurutan dari beban menuju ke generator. Setelah dilakukan koordinasi rele, maka rele mengalami peningkatan waktu operasi, sehingga mengakibatkan bus mengalami peningkatan nilai insiden busur api, contohnya seperti pada bus Steredial I dan Steredial II yang mengalami peningkatan nilai insiden energi. Tetapi hal ini tetap diperbolehkan karena dengan begitu dapat diketahui nilai insiden energi

yang sebenarnya, sehingga dapat direkomendasikan PPE yang tepat untuk pekerja.

Sedangkan untuk bus yang mengalami penurunan nilai insiden energi setelah *resetting*, ini karena koordinasi proteksi yang benar pada sistem kelistrikan dan dapat mengurangi besar nilai insiden energi busur api. FCT pada rele lebih cepat dari kondisi *existing*. Seperti pada bus PAL dan bus LVMDP yang mengalami penurunan nilai energi. Bus yang mengalami penurunan level tersebut sudah sesuai dengan level pada standar NFPA 70E. Dari tabel diatas juga dapat dilihat perbandingan nilai insiden energi hasil simulasi dengan ETAP dan hasil perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002 pada kondisi *resetting*. Dari hasil yang didapatkan dapat dilihat bahwa nilai insiden energi dari perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002 tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi dengan menggunakan ETAP.

4.5 Perbandingan Flash Protection Boundary

Setelah dilakukan simulasi pada kondisi *existing* dan *resetting*, serta perhitungan *flash protection boundary* pada PT Heinz ABC Indonesia, maka dapat dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Perbandingan dapat dilihat di Tabel 4.6

Tabel 4.6 Perbandingan *Flash Protection Boundary*

BUS ID	<i>Existing</i> FPB (m)	<i>Resetting</i> Simulasi FPB (m)	<i>Resetting</i> Hitungan FPB (m)
BLOWER 1-5	0,17	0,1	0,1
BLOWER CR 6&7	5,28	3,2	3,2
AB 3(FILLING)	0,44	0,4	0,4
AB 9(FILLING)	0,44	0,4	0,4
AMB BAWAH	6,27	4,3	4,3
ASSEMBLING	2,18	0,7	0,7
ASSEMBLING BAWAH	0,18	0,1	0,1
BENGKEL DEPAN	0,10	0,1	0,1
BENGKEL KONSTRUKSI	6,32	5,9	5,9
BOILER I	0,34	0,3	0,3

Tabel 4.6 Perbandingan *Flash Protection Boundary* (Lanjutan)

BUS ID	Existing FPB (m)	Resetting Simulasi FPB (m)	Resetting Hitungan FPB (m)
BOILER II	0,34	0,3	0,3
CHILLER COJI ROM	20,88	2,8	2,8
CHILLER COJI ROOM	0,17	0,1	0,1
CHILLER RTD	13,03	1,9	1,9
COJI ROOM	2,18	0,7	0,7
COJI ROOM BLK	0,21	0,2	0,2
COMPRESSOR II	0,30	0,3	0,3
COMPRESSOR III	0,34	0,3	0,3
COOL ROOM MPC	0,12	0,1	0,1
FERMENTASI	0,16	0,1	0,1
GUDANG GARAM	0,31	0,3	0,3
KANTOR DEPAN Lt1&2	29,63	3,6	3,6
LABORAT	3,69	2,7	2,7
P. BBM RESIDU	0,34	0,3	0,3
P. COOL ROOM	0,33	0,3	0,3
P. PROSES	0,33	0,3	0,3
P. SYRUP	0,33	0,3	0,3
PAB	0,17	0,1	0,1
PAL	30,13	3,7	3,7
PENERANGAN	0,34	0,3	0,3
PLN I	2,20	2,2	2,2
PLN II	2,18	0,7	0,7
PROSES KECAP	12,94	3,1	3,1
STEREDIAL I	0,44	0,4	0,4
STEREDIAL II	0,44	0,4	0,4
STEREDIAL III T/P	18,10	2,7	2,7
T.U	0,10	0,1	0,1
KANTOR LT.3	7,3	3,4	3,4
KECAP INGGRIS	4,10	4,1	4,1
LVMDP	28,73	2,6	2,6
TEKNIK	0,15	0,1	0,1

Tabel 4.6 Perbandingan *Flash Protection Boundary* (Lanjutan)

BUS ID	Existing FPB (m)	Resetting Simulasi FPB (m)	Resetting Hitungan FPB (m)
UTILITY/POWER ROOM	20,31	1,8	1,8
EX SBL STEAK	0,19	0,1	0,1
PEMADAM-API	3,48	2,9	2,9
PLN 1 OS 3	2,20	2,2	2,2
PLN 1 OS 4	2,20	2,2	2,2
PLN 1 OS 5	2,20	2,2	2,2
PLN 1 OS 6	2,20	2,2	2,2
PLN 2 OS 1	2,18	0,7	0,7
PLN 2 OS 2	44,10	3,4	3,4
PLN 2 OS 3	2,18	0,7	0,7
PLN 2 OS 4	2,18	0,7	0,7
PLN 2 OS 5	2,18	0,7	0,7
POWER ROOM	2,18	2,2	2,2
RTD PLN 1	0,44	0,4	0,4
RTD PLN 2	0,33	0,3	0,3

Dari tabel perbandingan di atas dapat dilihat bahwa pada kondisi *resetting* jarak *flash protection boundary* ada yang menjadi lebih jauh dan lebih dekat. Hal ini dikarenakan *flash protection boundary* dipengaruhi oleh besar insiden energi. Semakin besar insiden energi maka semakin jauh jarak aman untuk pekerja, dan semakin kecil insiden energi maka semakin dekat jarak aman untuk pekerja. Untuk hasil simulasi dan perhitungan *flash protection boundary*, jarak yang didapatkan tidak terlalu berbeda, hampir mendekati dan bahkan bernilai sama. Dari hasil *flash protection boundary* tersebut maka dapat diketahui batas jarak aman bagi pekerja yang tidak memakai PPE, jika melebihi batas tersebut maka pekerja wajib memakai PPE yang sesuai dengan level insiden energi.

4.6 Pengelompokan *Personal Protective Equipment*

Personal Protective Equipment (PPE) adalah alat pelindung diri untuk digunakan pekerja pada daerah yang berpotensi terjadi resiko busur api. Berdasarkan analisa busur api pada PT Heinz Indonesia setelah dilakukan *resetting* diperoleh nilai insiden busur api sesuai dengan insiden level energi standar NFPA 70E. *Personal Protective Equipment* (PPE) pada setiap daerah kerja berbeda-beda sesuai dengan level insiden energi yang mungkin timbul pada daerah tersebut. Penentuan kategori PPE sesuai dengan level insiden energy dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api

No	Bus ID	Kategori PPE	Daftar PPE
1	ASSEMBLING		
2	COJI ROOM		
3	PLN II		
4	PLN 2 OS 1		
5	PLN 2 OS 3		
6	PLN 2 OS 4		
7	PLN 2 OS 5		
8	CHILLER RTD		
9	COMPRESSOR II		
10	PLN I		
11	UTILITY/POWER ROOM		
12	PLN 1 OS 3		
13	PLN 1 OS 4		
14	PLN 1 OS 5		
15	PLN 1 OS 6		
16	POWER ROOM		
17	BLOWER CR 6&7		
18	AMB BAWAH		
19	CHILLER COJI ROM		
20	KANTOR DEPAN Lt 1&2		
21	LABORAT		
22	PAL		
23	PROSES KECAP		
24	STEREDIAL III T/P		

Tabel 4.7 Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api (Lanjutan)

No	Bus ID	Kategori PPE	Daftar PPE
25	KANTOR LT.3		
26	KECAP INGGRIS		
27	LVMDP		
28	PEMADAM-API		
29	PLN 2 OS 2		
30	BENGKEL KONSTRUKSI	4	Memakai semua pakaian tahan busur api (lihat catatan 1) dilengkapi dengan jas (jaket dan celana) tahan busur api Perlengkapan perlindungan (lihat catatan 2)

Catatan 1:

1. Baju lengan panjang dan celana panjang atau menggunakan baju *coverall* (memakai salah satu, kecuali untuk kategori 3 dan 4)
2. Pelindung muka atau tudung tahan busur api
3. Jaket, parka, jas hujan atau pelindung dalam helm

Catatan 2:

1. Pelindung kepala seperti helm pelindung atau topi keras
2. Pelindung pendengaran seperti sumbatan pendengaran (*ear plug*) atau penutup telinga (*earmuff*)
3. Sarung tangan lapangan atau *heavy duty*
4. Sepatu pelindung berbahan kulit

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan busur api (*arc flash*) pada sistem kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia, Jakarta, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kondisi *existing* seting koordinasi rele pengaman arus lebih pada PT Heinz ABC masih terdapat kesalahan. Hal ini dapat dilihat pada hasil plot kurva TCC.
2. Pada kondisi *existing*, terdapat nilai insiden energi busur api (*arc flash*) yang menunjukkan level maksimum atau melebihi kategori level menurut NFPA 70E, contohnya pada bus PAL dan bus LVMDP. Hal ini dikarenakan koordinasi rele pengaman belum sesuai dengan standar IEEE-242, sehingga FCT terlalu lama dan mengakibatkan nilai insiden energi menjadi sangat besar.
3. Setelah dilakukan *resetting* koordinasi pada rele pengaman, terjadi penurunan level insiden energi busur api dari level maksimal menjadi level rendah. Contohnya pada bus PAL dan bus LVMDP. Hal ini dikarenakan waktu operasi rele dalam mengamankan gangguan (FCT) semakin cepat.
4. Setelah dilakukan *resetting* koordinasi pada rele pengaman terdapat kenaikan nilai insiden energi busur api seperti pada bus Steredial I dan bus Steredial II.

5.2 Saran

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Dari *resetting* rele pengaman dengan mempertimbangkan energi busur api dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman pada PT. Heinz ABC Indonesia.
2. Setelah diketahui nilai energi pada setiap daerah kerja, maka diharapkan para pekerja dapat menggunakan PPE sesuai dengan kategori level insiden energi pada daerah kerja tersebut

Halaman ini sengaja dikosongkan

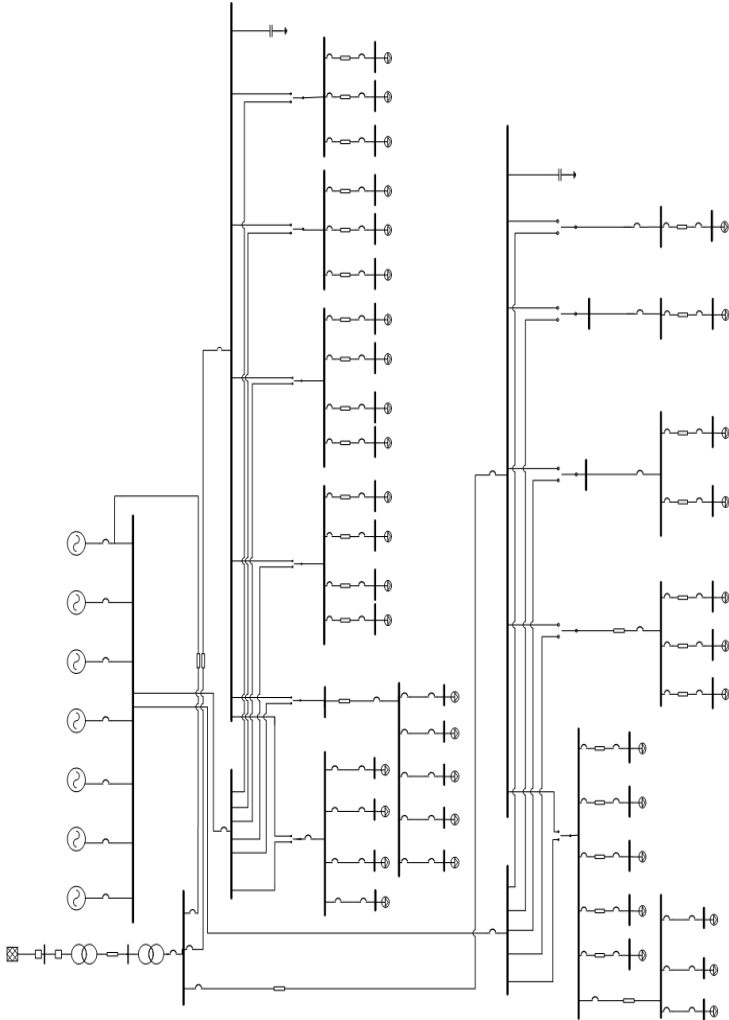
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Penangsang Ontoseno, “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilid 2” Teknik Elektro Surabaya, 2006.
- [2] Wisnu Candra Listyawan, Bagus, “*Studi Koordinasi Proteksi pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Ajinomoto Mojokerto dengan Mempertimbangkan Busur Api Menggunakan Metode Perhitungan yang dimodifikasi*” Teknik Elektro ITS, Surabaya . 2015
- [3] Rosyadi, Ilham, “*Analisis Koordinasi Proteksi Dengan Mempertimbangkan Arc Flash pada PT. Vico Indonesia, Kalimantan Timur*” Teknik Elektro ITS, Surabaya. 2017
- [4] IEEE Std 242-2001 “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*” The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [5] IEEE Std 1584-2002 “*IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations*”, pp. 1–113, 2002
- [6] NFPA 70E, “*Standard for Electrical Safety in the Workplace*,” ©*National Fire Prot. Assoc.*, 2015.
- [7] Hurst, Randolph W., “*Electrical Safety and Arc Flash Handbook, volume 5*” National Safety, Inc., 2009
- [8] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. Overbye, *Power System Analysis and Design, Fifth Edition*, 5th ed. CENCAGE Learning, 2012
- [9] Pfeiffer, John C., “*Arc Flash Article*”, Pfeiffer Engineering Co., Inc., 2008
- [10] *Datasheet* Schneider Electric Compact
- [11] *Datasheet* Metasol

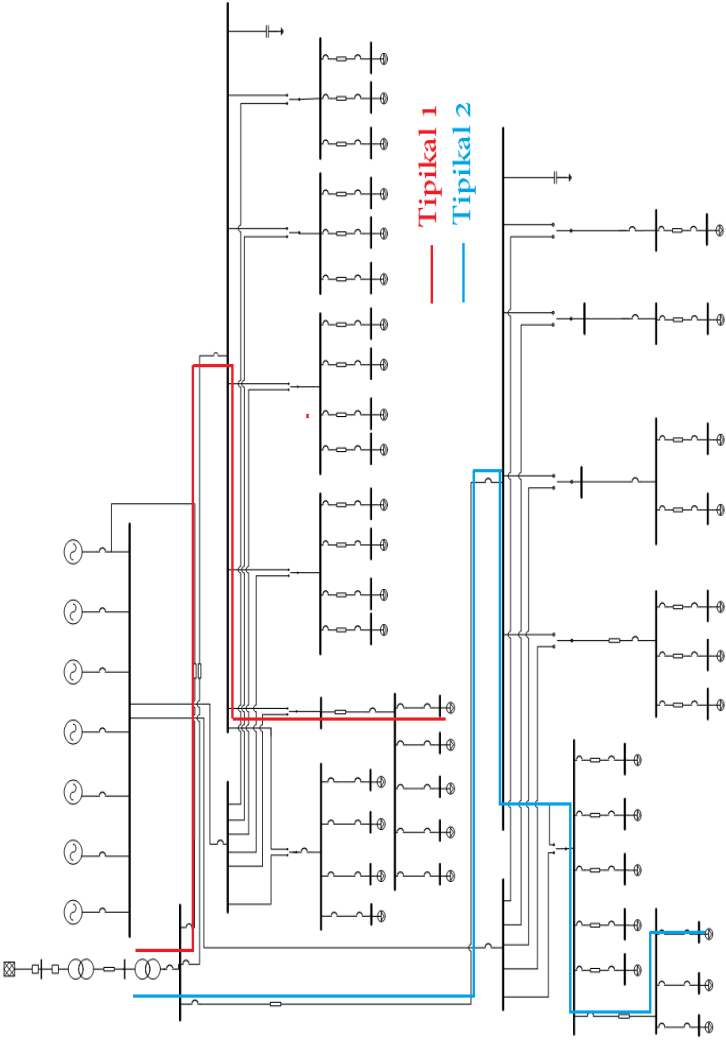
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. *Single Line Diagram* Kelistrikan PT Heinz ABC Indonesia



B. Tipikal Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa



BIODATA PENULIS



Frans Michael Simanjuntak adalah anak kedua dari tiga bersaudara dan lahir di Dumai, 9 Mei 1996. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Santo Tarcisius Dumai pada tahun 2002 – 2008. Kemudian melanjutkan pendidikannya di SMP Santo Tarcisius Dumai yang telah diselesaikan pada tahun 2008 – 2011. Penulis juga menyelesaikan jenjang SMA di SMA Budi Mulia Pematangsinarar pada tahun 2011 – 2014. Saat ini penulis tengah menjalani pendidikan

Program Sarjana di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.