



**ANALISIS REDUKSI *ARC FLASH* DAN PENENTUAN *PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT (PPE)* PADA PT. INDOCEMENT TUNGGAL
PRAKARSA TBK. BANYUWANGI**

SKRIPSI

Oleh :

Akbar Nugraha

181910201119

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Penulis mempersembahkan skripsi ini untuk:

1. Allah SWT atas segala nikmat, syukur serta pertolongan yang telah menguatkan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW, segala limpahan rahmat semoga senantiasa tercurah kepada Beliau.
3. Kedua Orang Tua penulis, atas doa dan dukungan kepada penulis yang tak ternilai, semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kemurahan rezeki serta panjang umur.
4. Bapak Ir. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T dan Bapak Ir. R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T atas segala kesabaran dan masukan dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap Pegawai PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Banyuwangi yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian skripsi ini dan memberikan ilmu mengenai topik yang ditulis dalam skripsi ini.
6. Segenap kawan Teknik Elektro 2018 SATELLITE atas segala hal yang pernah dilalui bersama selama kurang lebih 4 tahun.
7. Segenap Civitas Akademika Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember atas segala ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan.
8. Almamater Universitas Jember

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah : 6)

“You can’t be afraid to fail. It’s the only way you succeed.

You’re not gonna succeed all the time and i know that”

(LeBron Raymone James Sr.)

*“Believe in yourself. You are braver than you think,
more talented than you know, and capable of that you imagine”*

(Cristiano Ronaldo dos Santos Aveiro)

“Don’t count the days, make the days count”

(Muhammad Ali)

“Without education, you’re not going anywhere in this world ”

(El-Hajj Malik El-Shabazz a.k.a. Malcolm X)

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Akbar Nugraha

NIM : 181910201119

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa pada Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Reduksi *Arc Flash* dan Penentuan *Personal Protective Equipment* pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Banyuwangi”** adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya plagiarisasi. Saya bertanggungjawab terhadap keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan penuh kesadaran diri tanpa adanya paksaan dari pihak manapun dan saya bersedia mendapat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 September 2022

Yang menyatakan,

Akbar Nugraha

NIM. 181910201119

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir yang “**Analisis Reduksi Arc Flash dan Penentuan Personal Protective Equipment pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Banyuwangi**” oleh Akbar Nugraha NIM 181910201119 telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Jumat, 16 September 2022

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing Utama



Ir. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T

NIP. 19700404199611001

Pembimbing Anggota



Ir. H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T

NIP. 196906081999031002

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir yang “**Analisis Reduksi Arc Flash dan Penentuan Personal Protective Equipment pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Banyuwangi**”
oleh Akbar Nugraha NIM 181910201119 telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 25 Oktober 2022

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing Utama



Ir. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T
NIP. 19700404199611001

Pembimbing Anggota



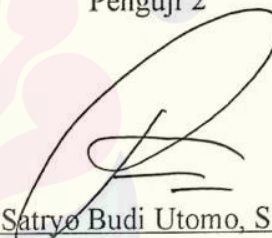
Ir. H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T
NIP. 196906081999031002

Penguji 1



Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M
NIP. 196312011994021002

Penguji 2



Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, S.T., M.T
NIP. 198501262008011002

Mengesahkan,
Dekan,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T
NIP. 197008261997021001

RANGKUMAN

PT. Indocement Tungal Perkasa Tbk adalah salah satu produsen semen terbesar yang memiliki beberapa *grinding mill* salah satunya bertempat di Banyuwangi, Jawa Timur. Kelistrikan utama *grinding mill* yang terdapat di Banyuwangi disuplai penuh oleh PLN sebesar 20 kV. Dengan kelistrikan yang disuplai oleh PLN dan memiliki total beban yang ditanggung perusahaan cukup besar maka mempengaruhi besar dari arus hubung singkat. Gangguan hubung singkat juga dapat menimbulkan *arc flash*. *Arc flash* adalah fenomena pelepasan energi panas dan cahaya yang dilepaskan saat terjadinya gangguan hubung singkat. Panas yang dihasilkan dari *arc flash* dapat mencapai lebih dari 35.000 F atau 4 kali lebih panas daripada suhu permukaan matahari sehingga panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang serius pada jarak tertentu dan tidak dilengkapi alat pelindung diri yang memadai.

Pada penelitian kali ini dilakukan analisa terhadap reduksi *arc flash* pada PT. Indocement Tungal Perkasa Tbk. Tahapan penelitian mulai dari analisis *arc flash* dilakukan dengan simulasi besar energi *arc flash* pada kondisi eksisting menggunakan *software* ETAP 19, kemudian analisis koordinasi setting relay proteksi, tahapan berikutnya analisis *arc flash* pada kondisi *resetting*, dan yang terakhir yaitu penentuan *Personal Protective Equipment* pada masing-masing daerah kerja.

Dari penelitian yang sudah dilakukan menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu yang pertama dari hasil percobaan koordinasi sistem proteksi yang sudah dilakukan, terdapat relay pada kondisi eksisting mengalami mengalami maloperasi yaitu kondisi dimana relay tidak berhasil mendeteksi adanya gangguan di sekitar sumber gangguan. Namun setelah dilakukan *resetting*, relay bekerja dengan sesuai contohnya seperti Relay_BCM1 dimana pada saat kondisi eksisting relay ini mengalami maloperasi dimana tidak bisa mendeteksi gangguan pada bus E21-1P11. Setelah dilakukan *resetting*, Relay_BCM1 dapat bekerja dengan sesuai dan dapat mendeteksi gangguan pada bus E21-1P11.

Kemudian nilai insiden energi *arc flash* dipengaruhi oleh *fault clearing time* (FCT) atau waktu relay proteksi untuk menghilangkan gangguan. Semakin besar nilai dari FCT maka semakin besar juga nilai insiden energinya. Contohnya bus E21-1P11 pada kondisi eksisting memiliki nilai insiden energi sebesar $6,230 \text{ cal/cm}^2$ dengan nilai FCT sebesar $0,23 \text{ s}$. Setelah dilakukan resetting relay pengaman insiden energi tereduksi sebesar $32,92 \%$ dengan nilai insiden energi $4,179 \text{ cal/cm}^2$ dan FCT sesudah resetting menjadi $0,154 \text{ s}$.

Terakhir dari penentuan kategori Personal Protective Equipment pada setiap rentang insiden energi yang ditentukan, terdapat 2 kategori pada masing-masing daerah kerja. Kategori yang pertama yaitu kategori C terdapat 4 daerah kerja yaitu bus E21-1P11, E21-1P10, E21-1P6, dan E21-1P4 dengan rentang $4-8 \text{ cal/cm}^2$ Sedangkan kategori yang kedua yaitu kategori D terdapat 6 daerah kerja yaitu $6,3\text{kV_SWG}$, E21-1P7, CP_MCC, CS_MCC, dan CM_MCC dengan rentang $8-25 \text{ cal/cm}^2$.

SUMMARY

PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk is one of the largest cement producers with several grinding mills, one of which is located in Banyuwangi, East Java. The main electricity for the grinding mill in Banyuwangi is fully supplied by PLN of 20 kV. With electricity supplied by PLN and having a fairly large total burden on the company, it affects the magnitude of the short circuit current. Short circuit faults can also cause arc flash. Arc flash is a phenomenon of the release of heat and light energy which is released when a short circuit occurs. The heat generated from arc flash can reach more than 35,000 F or 4 times hotter than the surface temperature of the sun so the heat generated can cause serious burns at a certain distance and is not equipped with adequate personal protective equipment.

In this study, an analysis of arc flash reduction at PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk. The research stages starting from arc flash analysis are carried out by simulating arc flash energy in existing conditions using ETAP 19 software, then coordination analysis of protection relay settings, the next stage is arc flash analysis in resetting conditions, and the last is the determination of Personal Protective Equipment on each work area.

From the research that has been carried out, several conclusions have been made, namely the first from the results of the experimental coordination of the protection system that has been carried out, there is a relay in the existing condition experiencing maloperation, namely a condition where the relay does not succeed in detecting interference around the source of the disturbance. However, after resetting, the relay works accordingly, for example, Relay_BCM1 where when the existing condition of this relay malfunctions, it cannot detect a fault on the E21-1P11 bus. After resetting, Relay_BCM1 can work properly and can detect faults on the E21-1P11 bus.

Then the arc flash energy incident value is affected by the fault clearing time (FCT) or the protection relay time to eliminate interference. The greater the value of the FCT, the greater the incident energy value. For example, the E21-1P11 bus in the

existing condition has an energy incident value of 6.230 cal/cm² with an FCT value of 0.23 s. After resetting the safety relay, the incident energy is reduced by 32.92% with an incident energy value of 4.179 cal/cm² and the FCT after resetting becomes 0.154 s.

The last, from the determination of the Personal Protective Equipment category in each specified energy incident range, there are 2 categories in each work area. The first category is category C, there are 4 work areas namely buses E21-1P11, E21-1P10, E21-1P6, and E21-1P4 with a range of 4-8 cal/cm². While the second category, category D, there are 6 work areas, namely 6, 3kV_SWG, E21-1P7, CP_MCC, CS_MCC, and CM_MCC with a range of 8-25 cal/cm².

PRAKATA

Segala Puji Syukur penulis haturkan ke Hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Analisis Reduksi Arc Flash dan Penentuan Personal Protective Equipment pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Banyuwangi**”. Penulis mengucapkan rasa terimakasih kepada berbagai pihak yang turut membantu penulis dalam menyusun skripsi ini, terutama kepada:

1. Allah SWT atas segala Pertolongan dan Karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari era kegelapan menuju era yang terang benderang dan penuh rahmat.
3. Orang tua tercinta, Bapak Kurnia Kismoko dan Ibu Kutut Hartarini Kusuma Wardani atas segala kasih sayang yang tak terhingga dan dukungan moral maupun dukungan materi.
4. Bapak Ir. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Bapak Ir. H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang atas yang telah berkenan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam menyusun skripsi ini dan memberikan nasihat serta kesabarannya selama ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M selaku Dosen Penguji 1 dan Bapak Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, S.T., M.T selaku Dosen Penguji 2 atas segala kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Widya Cahyadi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik atas motivasi yang telah diberikan selama ini.
7. Bapak Tatok Wahyudi selaku Kepala Kelistrikan pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Banyuwangi serta segenap pegawai yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian serta atas segala curahan ilmu tentang topik skripsi ini yang telah diberikan.

8. Kawan-kawan Teknik Elektro 2018 “SATELLITE” atas segala kebersamaan yang telah dilalui selama kurang lebih 4 tahun ini.
9. Segenap kawan-kawan penulis yang telah berjasa dalam hidup penulis selama ini sehingga penulis tak dapat menyebutkannya satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini maupun pengembangan dari penelitian ini dikemudian hari.



DAFTAR ISI

BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	4
2.1.1 Gangguan Overload	4
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat	5
2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik	7
2.2.1 Trafo Instrument	8
2.2.2 Circuit Breaker dan Disconnecting Switch	8
2.2.3 Rele Pengaman	8
2.3 Rele Arus Lebih (OCR)	10
2.4 Setting Rele Arus Lebih	12
2.5 Arc Flash (Busur Api)	14
2.6 Perhitungan Besar Energi Arc Flash Menurut Standar IEEE 1584-2002	16
2.7 Flash Protection Boundary	20
2.8 Pengelompokan PPE (<i>Personal Protective Equipment</i>) Terhadap Energi Arc Flash	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	25
3.2 Data Penelitian	26
3.2.1 Single Line Diagram pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.	26
3.2.2 Suplai Daya pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.	27
3.2.3 Data Kapasitas Transformator pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa	27
3.2.4 Data Beban pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa	27

3.2.5 Data Kabel pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa	28
3.3 Tahapan Penelitian	29
3.3.1 Diagram Alir Penelitian	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Analisa Koordinasi Relay Pengaman	32
4.2 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Eksisting dengan Ketentuan IEEE 1584-2002	46
4.3 Hasil Simulasi dan Perhitungan Arc Flash pada Kondisi Resetting dengan Ketentuan IEEE 1854-2002.....	48
4.3.1 Hasil Simulasi Arc Flash pada Software ETAP 19 Kondisi Resetting dengan Ketentuan IEEE 1854-2002.....	48
4.3.2 Hasil Perhitungan Kondisi Resetting dengan Ketentuan IEEE 1854-2002	51
4.3.3 Hasil Perhitungan Flash Protection Boundary Kondisi Resetting dengan Ketentuan IEEE 1854-2002	59
4.4 Penentuan Personal Protective Equipment.....	63
BAB 5 PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran	69
Daftar Pustaka.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Cara Kerja Rele Pengaman.....	8
Gambar 2.2.....	
(a) Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	11
(b) Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	11
(c) Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik.....	11
Gambar 2.3 Perbedaan dari Arcing Fault dan Bolted Fault.....	14
Gambar 2.4 Pembagian Zona Insiden Arc Flash.....	19
Gambar 2.5 Personal Protective Equipment.....	22
(a) Kategori A.....	22
(b) Kategori B.....	22
(c) Kategori C.....	22
(d) Kategori D.....	22
(e) Kategori E.....	22
Gambar 3.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.....	23
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	30
Gambar 4.1 Sequence of Operation Kondisi Eksisting dari Relay_BCM1.....	33
Gambar 4.2 Urutan Kerja Relay Kondisi Eksisting Saat Terjadi Gangguan di Bus E21-1P11.....	34
Gambar 4.3 Sequence of Operation Kondisi Resetting dari Relay_BCM1.....	45
Gambar 4.4 Urutan Kerja Relay Kondisi Resetting Saat Terjadi Gangguan di Bus E21-1P11.....	45
Gambar 4.5 Kurva TCC Kondisi Resetting Relay Relay_BCM1 dengan Relay MI6,3.....	46
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Eksisting pada Software ETAP 19.....	47
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Arc Flash Ketetapan IEEE 1584-2018 Kondisi Resetting pada Software ETAP 19.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Invers Time Dial.....	13
Tabel 2.2 Tipikal Gap Antar Bus	17
Tabel 2.3 Tipikal Jarak Kerja.....	17
Tabel 2.4 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan.....	18
Tabel 2.5 Pengelompokan PPE Sesuai dengan Standar NFPA.....	21
Tabel 3.1 Data Generator pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.	24
Tabel 3.2 Data Transformator pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.....	24
Tabel 3.3 Data Beban Motor pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.....	25
Tabel 3.4 Data Static Load dan Lumped Load pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.	26
Tabel 3.5 Data Kabel Transmisi pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.	27
Tabel 4.1 Data Eksisting Low-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.....	32
Tabel 4.2 Data Eksisting High-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.....	32
Tabel 4.3 Data Eksisting High-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi (Lanjutan).....	33
Tabel 4.4 Data Resetting Low-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.....	44
Tabel 4.5 Data Resetting High-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.....	44
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Eksisting di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi Tbk.	47
Tabel 4.7 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Resetting di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.	49
Tabel 4.8 Reduksi Arc Flash pada Kondisi Eksisting ke Resetting di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.	49
Tabel 4.9 Reduksi Arc Flash pada Kondisi Eksisting ke Resetting di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi (Lanjutan).....	50

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Manual Arc Flash dengan ketentuan IEEE 1584-2002 Kondisi Resetting	59
Tabel 4.11 Penentuan Personal Protective Equipment Berdasarkan Kategori Insiden Energi yang Terjadi.....	63
Tabel 4.12 Penentuan Personal Protective Equipment Berdasarkan Kategori Insiden Energi yang Terjadi (Lanjutan).....	64
Tabel 4.13 Perbandingan Insiden Energi dari Ketentuan IEEE 1584-2002 dengan IEEE 1584-2018 pada Kondisi Resetting	66



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk adalah salah satu produsen semen terbesar yang memiliki beberapa *grinding mill* salah satunya bertempat di Banyuwangi, Jawa Timur. Kelistrikan utama *grinding mill* yang terdapat di Banyuwangi disuplai penuh oleh PLN sebesar 20 kV. Dengan kelistrikan yang disuplai oleh PLN dan memiliki total beban yang ditanggung perusahaan cukup besar maka mempengaruhi besar dari arus hubung singkat. Gangguan hubung singkat juga dapat menimbulkan *arc flash*. *Arc flash* adalah fenomena pelepasan energi panas dan cahaya yang dilepaskan saat terjadinya gangguan hubung singkat. Panas yang dihasilkan dari *arc flash* dapat mencapai lebih dari 35.000 F atau 4 kali lebih panas daripada suhu permukaan matahari sehingga panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang serius pada jarak tertentu dan tidak dilengkapi alat pelindung diri yang memadai. Besar energi *arc flash* dipengaruhi juga oleh waktu kerja proteksi kelistrikan untuk menangani gangguan. Semakin cepat waktu proteksi untuk bekerja maka semakin cepat juga gangguan diminimalisir. Untuk mengetahui besar nilai energi busur api, perlu dilakukan pada tiap – tiap tipe peralatan yang ada pada perusahaan. Hal ini dilakukan karena berhubungan dengan pemilihan kategori alat perlindungan diri yang tepat agar dapat meminimalisir jatuhnya korban akibat adanya busur api. Selain itu dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja.

Pada rencana skripsi kali ini dilakukan analisa terhadap reduksi *arc flash* pada PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk. Pertama analisis dari *arc flash* dilakukan dengan menghitung besar energi *arc flash* pada kondisi eksisting. Kemudian jika sistem masih memiliki energi potensi lebih besar, maka di perlukan koordinasi setting rele. Setting rele yang tepat dapat dapat mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat dan meminimalisir terjadinya *arc flash*. Selain itu koordinasi proteksi merupakan syarat dalam analisa energi busur api, sehingga diperlukan koordinasi yang baik dan tepat. Setelah itu menghitung kembali besar energi *arc flash* setelah rele di-setting. Perhitungan *arc flash* menggunakan standar dari IEEE 1584-2002. Kemudian

dilakukan perhitungan *arc flash boundary* untuk menentukan jarak aman untuk terhindari dari bahaya *arc flash*. Terakhir dilakukan penentuan level Personal Protective Equipment (PPE) atau Alat Pelindung Diri sesuai energi *arc flash* yang terjadi . Penentuan level PPE berdasarkan standar dari *National Fire Protection Association (NFPA) 70E*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan koordinasi setting rele pengaman pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk untuk mereduksi energi *arc flash* yang terjadi ?
2. Berapa besar reduksi dari *arc flash* dari kondisi eksisting ke *resetting* pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk ?
3. Bagaimana cara menentukan *Personal Protective Equipment* di setiap daerah kerja pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam menyelesaikan penelitian yakni sebagai berikut :

1. *Software* yang digunakan adalah ETAP 19.
2. Analisis dilakukan hanya di *grinding mill* PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk Banyuwangi.
3. Hal yang diteliti adalah *arc flash* PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk Banyuwangi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Meminimalisir terjadinya *arc flash* pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk. dengan melaksanakan analisis koordinasi proteksi sistem kelistrikan.

2. Mengetahui insiden *arc flash* yang terjadi pada PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk. pada saat terjadi gangguan.
3. Menentukan Personel Protective Equipment yang tepat terhadap karyawan PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk. terhadap *arc flash* yang terjadi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang diharapkan sebagai berikut :

1. Menjadi evaluasi pada PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk. untuk mengurangi insiden energi *arc flash* dengan koordinasi sistem proteksi kelistrikan yang sudah dianalisa oleh penulis. Sehingga untuk kedepannya dapat meminimalisir gangguan dan proses produksi pada perusahaan diharapkan lancar.
2. Menjadi evaluasi pada PT. Indocement Tunggul Perkasa Tbk. untuk menentukan *Personel Protective Equipment* sesuai standart NFPA 70E kepada pegawai untuk terhindar dari insiden energi *arc flash*.

1.6 Sistematika Penelitian

Penyusunan penelitian ini menggunakan sistematika sebagai berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN
Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian.
2. BAB 2 LANDASAN TEORI
Berisikan teori penunjang yang digunakan pada penelitian
3. BAB 3 METODE PENELITIAN
Berisikan tentang metodologi yang dilakukan dalam penelitian
4. BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN
Berisikan tentang hasil dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian
5. BAB 5 PENUTUP
Berisikan tentang kesimpulan dan saran

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik diartikan sebagai keadaan abnormal dari suatu sistem tenaga listrik yang menyebabkan tidak seimbangnya aliran arus menuju beban. Gangguan pada sistem tenaga listrik menyebabkan ketidakmampuan sistem untuk berjalan dengan normal dan juga dapat merusak peralatan yang terpasang. Hal tersebut dikarenakan pada saat terjadi gangguan, arus menjadi jauh lebih besar dari arus nominal. Ada 2 faktor yang menyebabkan gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal terjadi dikarenakan hal-hal berikut :

1. Pemasangan sistem pengamanan yang kurang baik
2. Kerusakan pada komponen transmisi
3. Terjadinya kesalahan mekanis dikarenakan proses penuaan dari komponen sistem
4. Tegangan dan arus yang mengalir tidak normal

Untuk faktor eksternal terjadi dikarenakan hal-hal berikut :

1. Gangguan dari cuaca seperti angin, hujan, dan petir
2. Faktor dari lingkungan seperti benda-benda asing, tumbuhan, dan hewan
3. Dari kesalahan manusia atau *Human Error*

Menurut sifatnya, gangguan terdiri dari 2 yaitu gangguan temporer atau sementara dan gangguan permanen. Gangguan temporer yaitu gangguan yang dapat hilang sendirinya tanpa perlu tindakan perbaikan. Sedangkan untuk gangguan permanen yaitu gangguan yang tidak dapat hilang dengan sendirinya sehingga ketika terjadi gangguan harus ada tindakan perbaikan agar sistem berjalan dengan normal kembali. Beberapa gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik ialah, gangguan overload dan gangguan hubung singkat.

2.1.1 Gangguan Overload

Gangguan overload atau beban lebih terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diijinkan. Beban lebih mungkin tidak tepat disebut sebagai gangguan. Tetapi, jika dibiarkan terus menerus dapat membahayakan peralatan karena pemanasan yang berlebih dan mempercepat proses penuaan sehingga perlu tindakan pengamanan.

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat

Secara pengertian, gangguan hubung singkat merupakan suatu keadaan tidak normal pada impedansi antar dua titik yang memiliki potensial yang berbeda. Gangguan ini terjadi akibat adanya dua polaritas yang bersatu sehingga menimbulkan sirkuit/jaringan dengan resistansi sangat rendah dan menyebabkan arus yang mengalir bernilai sangat besar sehingga akan merusak peralatan karena tegangan pada sistem tidak berada pada kondisi yang nominal [12]. Penyebab terjadinya hubung singkat diantaranya adalah kerusakan pada isolasi peralatan, panas yang lebih, kerusakan mekanis pada peralatan distribusi, dan kerusakan peralatan listrik karena overload. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 yaitu gangguan simetris dan asimetris. Gangguan simetris yaitu gangguan terjadi pada semua fasanya sehingga nilai arus dan tegangan pada masing-masing fasa sama. Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan 3 fasa. Sedangkan gangguan asimetris yaitu gangguan yang tidak seimbang karena nilai arus dan tegangan pada masing-masing fasa tidak sama. Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Berikut ini adalah penjelasan mengenai 3 jenis hubung singkat beserta persamaannya :

A. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah termasuk kedalam gangguan hubung singkat asimetris dikarenakan nilai setiap fasa dan sudut antar fasa berbeda. Gangguan ini terjadi karena salah satu dari ketiga fasa terhubung ke tanah. Kemungkinan terjadinya gangguan ini pada sistem kelistrikan sebesar 65%-70% [3].

Untuk mengetahui besarnya gangguan hubung singkat ini dapat dihitung dengan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$I_{SC1\emptyset} = \frac{3 \times V_{NL}}{x_0 + x_1 + x_2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$I_{SC1\emptyset}$ = Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

V_{NL} = Tegangan *line to netral*

x_0 = Reaktansi urutan nol

x_1 = Reaktansi urutan positif

x_2 = Reaktansi urutan negatif

B. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa termasuk kedalam kategori hubung singkat tak simetris. Gangguan ini disebabkan karena antar fasanya saling terhubung. Probabilitas terjadinya gangguan hubung singkat dua fasa pada sistem sebesar 20%- 25% [3].

Untuk menghitung besarnya gangguan hubung singkat ini dapat dicari dengan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$I_{SC2\emptyset} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} \times I_{SC3\emptyset} \approx 0,866 \times I_{SC3\emptyset} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$I_{SC2\emptyset}$ = Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

$I_{SC3\emptyset}$ = Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

V_{LL} = Tegangan *line to line*

V_{LN} = Tegangan *line to netral*

x_1 = Reaktansi urutan positif

x_2 = Reaktansi urutan negatif

C. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa adalah gangguan yang termasuk dalam kategori gangguan simetris dikarenakan nilai arus, tegangan, dan sudut antar ketiga fasanya sama. Arus yang dihasilkan pada gangguan ini besar tetapi kemungkinan untuk terjadinya sangat kecil sekitar 3%-5% [3].

Untuk mencari nilai dari gangguan ini dapat dihitung dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$I_{SC3\phi} = \frac{V_{LN}}{x_1} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$I_{SC3\phi}$ = Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

V_{LN} = Tegangan *line to neutral*

x_1 = Reaktansi urutan positif

2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, bus bar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya guna menghindari kondisi abnormal atau gangguan dari sistem tenaga listrik. Terdapat beberapa fungsi pengaman dalam sistem tenaga listrik yaitu :

1. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal
2. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal
3. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas
4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen
5. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Dalam sistem pengamanan tenaga listrik terdapat beberapa komponen yang dirancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan, atau sudut fasa. Informasi yang diperoleh digunakan untuk membandingkan besarnya dengan besaran ambang batas dari peralatan proteksi. Apa bila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi setting ambang batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Beberapa komponen utama sistem proteksi terdiri dari trafo instrumen, circuit breaker, disconnecting switch, dan rele pengamanan.

2.2.1 Trafo Instrument

Trafo instrumen adalah trafo yang berfungsi untuk pengukuran arus atau tegangan pada instalasi tegangan tinggi maupun arus besar yang tidak dapat diukur secara langsung. Trafo ini dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

A. Current Transformer (CT)

Current Transformer (CT) adalah suatu perangkat yang digunakan untuk menurunkan arus yang besar menjadi arus dengan ukuran yang lebih kecil. Trafo ini digunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin dilakukan secara langsung. Hal ini disebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi.

B. Potential Transformer (PT)

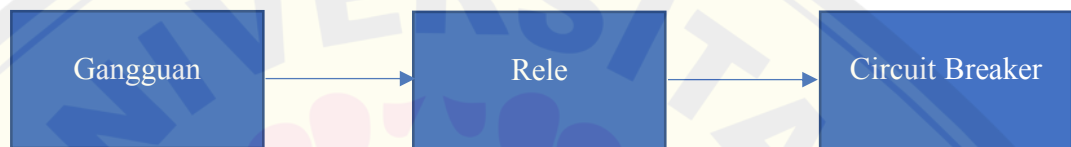
Potential Transformer (PT) adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah dan dipergunakan untuk pengukuran atau proteksi.

2.2.2 Circuit Breaker dan Disconnecting Switch

Circuit breaker adalah sebuah sistem proteksi berupa sakelar otomatis yang digunakan untuk membuka dan menutup sirkuit pada semua kondisi maupun saat kondisi normal berbeban dan saat terjadi hubung singkat. Disconnecting switch yaitu peralatan yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian dalam keadaan tidak berbeban.

2.2.3 Rele Pengaman

Rele pengaman yaitu sebuah peralatan sistem proteksi tenaga listrik yang berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan pada peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik. Rele pengaman dapat mendeteksi adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan cara mengukur dan membandingkan dengan informasi yang diterima dari peralatan yang diamankan seperti arus, tegangan, sudut fasa, daya, impedansi, frekuensi, dan informasi lainnya. Cara kerja dari rele pengaman yaitu memberikan sinyal ke circuit breaker guna memutuskan arus listrik ketika peralatan listrik dalam keadaan abnormal sehingga gangguan akan terisolasi dan peralatan terhindar dari kerusakan. Pada gambar 2.1 merupakan skema dari cara kerja rele pengaman.



Gambar 2.1 Skema Cara Kerja Rele Pengaman

Rele pengaman merupakan peralatan yang paling vital dalam sistem pengaman tenaga listrik. Oleh karena itu terdapat syarat-syarat dalam pemilihan rele sebagai berikut :

1. Kecepatan

Rele pengaman harus bekerja dengan waktu yang cepat dalam mendeteksi gangguan guna mengurangi kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik dan menjaga stabilitas suplai aliran daya.

2. Keandalan

Rele tidak boleh gagal bekerja saat terjadinya gangguan pada sistem karena dapat memperparah kerusakan pada peralatan. Oleh karena itu rele pengaman diharuskan untuk mempunyai jangka waktu pemakaian yang lama.

3. Kepekaan Operasi

Rele harus bekerja dengan tingkat sensitifitas yang tinggi dalam artian, ketika terjadi arus gangguan meskipun dalam ukuran kecil maka rele harus merasakan

adanya gangguan dan memberikan sinyal ke circuit breaker yang terhubung untuk membuka.

4. Selektif

Rele harus bekerja secara selektif dalam artian, ketika terjadi gangguan maka rele yang terdekatlah yang harus bekerja untuk mendeteksi gangguan dan memberika sinyal ke circuit breaker untuk membuka. Setting pada rele juga mempengaruhi hal selektifitas ini.

5. Ekonomis

Dalam menentukan rele pengaman harus ditinjau dari segi ekonomisnya. Pilih rele yang memiliki perlindungan maksimum dengan memperhatikan 4 poin sebelumnya dengan harga yang minimum. Selain itu harus memperhatikan peralatan yang diamankan karena tidak semua peralatan membutuhkan sistem koordinasi rele yang berspesifikasi tinggi dan lengkap.

2.3 Rele Arus Lebih (OCR)

Rele arus lebih atau overcurrent relay adalah salah satu jenis rele pengaman yang bekerja ketika arus yang mengalir melebihi setting arus dari rele. Rele arus lebih ini sering digunakan untuk melindungi sistem tenaga listrik dan peralatan tenaga listrik, seperti sistem transmisi, sistem distribusi, transformator, generator, dan motor. Rele arus lebih pada fungsinya digunakan untuk mengamankan arus lebih yang disebabkan gangguan overload dan gangguan hubung singkat pada peralatan yang terpasang. Prinsip dari rele ini adalah jika arus yang masuk pada CT lebih besar dari arus setting pada rele, maka rele akan bekerja dan memberikan sinyal kepada circuit breaker untuk membuka . Cara kerja rele arus lebih dapat dinyatakan sebagai berikut :

Jika $I_f > I_p$, maka rele akan bekerja.

Jika $I_f < I_p$, maka rele tidak akan bekerja.

I_f adalah arus gangguan yang terdeteksi oleh rele dan I_p adalah arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder pada CT. Rele arus lebih mempunyai 3 jenis berdasarkan karakteristik waktunya yaitu :

a. Rele Arus Lebih Waktu Instan

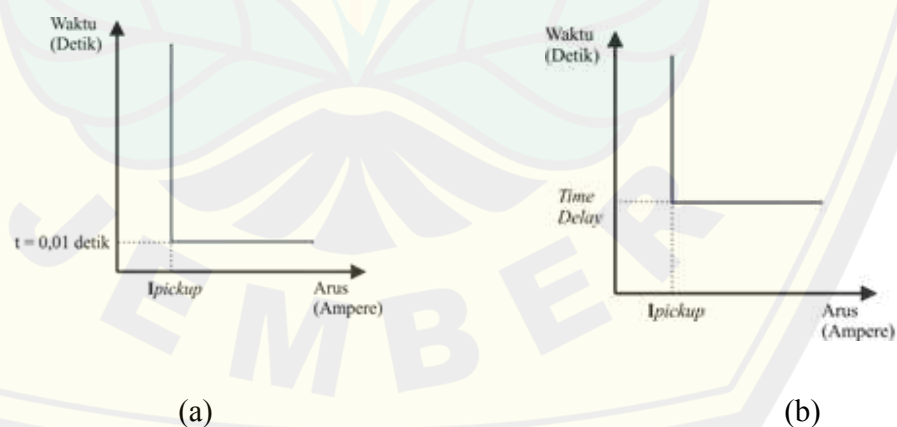
Rele ini dirancang tanpa adanya time delay atau penundaan waktu. Ketika arus gangguan melebihi setting arus rele ini maka rele ini bekerja antara 0,01-0,04 detik untuk memberikan sinyal ke circuit breaker untuk memutus seketika. Kurva karakteristik rele ini dapat dilihat pada gambar 2.2 (a)

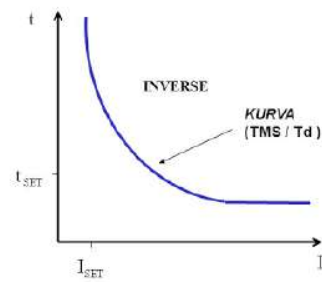
b. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Prinsip kerja rele arus lebih waktu tertentu ini dengan mensetting waktu operasi berdasarkan level arus. Rele arus lebih waktu tertentu ini akan beroperasi saat ada arus gangguan yang melebihi pick-up set point dari rele tersebut dengan waktu yang telah ditentukan. Saat semua level arus gangguan melebihi pick-up set point dari rele, rele akan memutusnya dalam waktu yang sama. Kurva karakteristik rele ini dapat dilihat pada gambar 2.2 (b)

c. Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Rele ini akan bekerja tergantung dari besar arus gangguan. Semakin besar arus gangguannya maka semakin cepat waktu kerja dari rele ini. Sebaliknya, jika arus gangguannya kecil maka semakin lama waktu kerja dari rele ini. Ada beberapa jenis rele arus lebih waktu terbalik ini antara lain Inverse, Long Time Inverse, Short Time Inverse, Very Inverse, dan Extremely Inverse. Untuk karakteristik dari rele ini dapat dilihat pada gambar 2.2 (c)





(c)

Gambar 2.2 (a) Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan; (b) Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu; (c) Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Sumber : google.com

2.4 Setting Rele Arus Lebih

Rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan gangguan yang disebabkan oleh gangguan overload dan gangguan hubung singkat. Kedua gangguan ini dapat menimbulkan arus lebih. Sehingga untuk setting 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.

Rele arus lebih waktu invers memiliki dua bagian penyetelan yaitu setelan pickup dan setelan time dial. Untuk setelan pickup, batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja saat beban maksimum[13]. Oleh karena itu setting arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada Rele arus lebih, besarnya arus pickup ini ditentukan dengan pemilihan tap. Dimana batas penyetelan ialah sebagai berikut : [13]

$$1,05 I_{FLA} < I_{Set} < 1,4 I_{FLA} \quad (2.4)$$

Untuk menentukan setting tap rele dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Tap = \frac{I_{Set}}{NCT} \quad (2.5)$$

Dimana :

I_{Set} = Arus setting pick up

I_{FLA} = Arus full load (beban maksimum)

NCT = Rasio primer dan sekunder CT

Langkah selanjutnya yaitu mengatur setting time dial pada rele arus lebih waktu terbalik. Time dial digunakan untuk menentukan waktu kerja dari rele. Penentuan time dial pada masing-masing kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$t = \frac{K \times Td}{\beta \times [(I_{Set})^{\alpha-1}]} \quad (2.6)$$

Dimana :

t = waktu operasi (detik)

Td = time dial

I = nilai arus (Ampere)

I_{Set} = arus pickup (Ampere)

K = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)

α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)

β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Setting juga berlaku pada rele arus lebih waktu instan. Dimana setting yang dilakukan pada rele ini yaitu setting pickup instan. Dalam menentukan setting pickup instan menggunakan arus hubung singkat dua fasa pada pembangkitan minimum. Berikut adalah batas setting pickup instan :

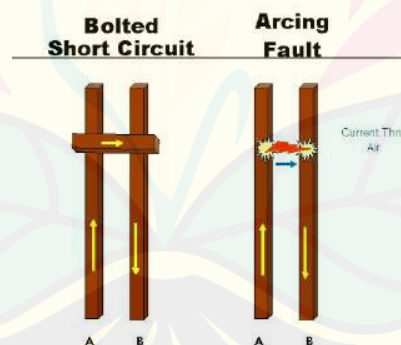
$$I_{Set} < 0,8I_{sc \min}$$

Tabel 2.1 Koefisien Invers Time Dial [13]

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	A	B
Standard Inverse	0,14	0,02	2,970
Very Inverse	13,50	1,00	1,500
Extremely Inverse	80,00	2,00	0,808

2.5 Arc Flash (Busur Api)

Arc Flash atau busur api adalah fenomena pelepasan energi panas dan cahaya yang dilepaskan saat terjadinya gangguan hubung singkat. Pelepasan energi yang sangat tinggi dari fenomena ini dapat menyebabkan arcing fault dan bolted fault. Arcing fault merupakan aliran arus listrik yang mengalir melalui udara antara dua atau lebih konduktor. Umumnya arcing fault terjadi pada tegangan lebih dari 120 V dan menyebabkan udara disekitar bersifat sebagai konduktor sehingga mampu menyalurkan energi. Sedangkan bolted fault adalah arus gangguan yang mengalir pada konduktor sebagai jalur arus gangguannya[1]. Pada gambar 2.3 akan memperlihatkan perbedaan dari arcing fault dan bolted fault.



Gambar 2.3 Perbedaan dari Arcing Fault dan Bolted Fault

Sumber : google.com

Panas yang dihasilkan dari arc flash dapat mencapai lebih dari 35.000 F atau 4 kali lebih panas daripada suhu permukaan matahari sehingga panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang serius pada jarak tertentu. Bahkan pada kondisi tempat tertutup gas dan asap yang dihasilkan pada kejadian ini dapat menimbulkan luka bakar pada paru-paru dan menyebabkan kematian. Ledakan dari arc flash juga dapat menimbulkan gelombang suara yang cukup tinggi dan menyebabkan cedera gendang telinga sementara maupun permanen. Temperatur yang sangat tinggi juga dapat menyebabkan pemuai udara dan juga metal di sekitar seperti tembaga, aluminium, dan beberapa peralatan yang terbuat dari besi. Logam yang memuai akan meleleh dan beterbangan di segala penjuru seperti pecahan peluru.

Arc flash dapat terjadi karena beberapa faktor diantaranya :

- A. Kegagalan mekanik
- B. Kegagalan isolasi
- C. Debu dan korosi
- D. Kesalahan pekerja

Sedangkan ada beberapa faktor yang menentukan tingkat keparahan dari arc flash adalah arus hubung singkat, tegangan sistem celah-celah atau gap, jarak dari kejadian arc flash, dan waktu pembukaan circuit breaker. Jumlah energi yang dipancarkan oleh arc flash adalah fungsi dari tegangan, arus gangguan, jarak pekerja dari arcing, panjangnya arcing, dan waktu yang dibutuhkan oleh peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan gangguan.

Menurut standart NFPA 70E ada beberapa cara untuk mengurangi besarnya energi dari arc flash yaitu mengurangi arus hubung singkat, mengatur ukuran trafo, memperbesar impedansi trafo, dan juga memperbesar resistansi ground pada sistem tegangan rendah. Besar energi arc flash yang dihasilkan juga tergantung dari waktu kinerja sistem pengaman listrik. Semakin cepat waktu dari sistem pengaman yang bekerja maka semakin kecil arc flash yang dihasilkan. Dari hal tersebut maka studi untuk mengetahui besar energi arc flash perlu dilakukan agar dapat mengantisipasi

kejadian arc flash yang dampaknya sangat membahayakan pekerja maupun orang di sekitar.

2.6 Perhitungan Besar Energi Arc Flash Menurut Standar IEEE 1584-2002

Menurut standar IEEE 1584-2002 ada beberapa tahap untuk mengetahui besar energi arc flash yang terjadi. Berikut ini merupakan beberapa tahapan untuk mendapatkan besar energi dari arc flash :

A. Arcing Current

Sesuai dengan standar IEEE 1584-2002 langkah pertama untuk mendapatkan besar energi dari arc flash yaitu menghitung arcing current. Ada 2 persamaan yang digunakan untuk menghitung arcing current berdasarkan level tegangannya. Untuk level tegangan yang kurang dari 1kV dapat menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\lg I_a = K + 0,622 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \quad (2.7)$$

Kemudian untuk level tegangan diantara 1kV-15kV dapat menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \quad (2.8)$$

Dimana :

$\lg = \log 10$

$I_a =$ arus arcing (kA)

$K =$ konstanta untuk konfigurasi terbuka = -0,153 dan

konstanta untuk konfigurasi box = -0,097

lgI_{bf} = bolted fault current pada gangguan tiga fase (symmetrical RMS) (kA)

V = tegangan sistem (kV)

G = jarak celah antar konduktor (mm)

B. Incident Energy

Setelah mendapatkan nilai dari arcing current langkah selanjutnya yaitu menghitung incident energy. Incident energy merupakan perpindahan energi dari arc flash ke sesuatu di sekitar kejadian.

Sesuai dengan IEEE Std 1584-2002, perhitungan incident energy arc flash menggunakan persamaan 2.9. Persamaan tersebut berdasarkan data kondisi normal untuk waktu arcing yaitu 0.2 detik dan jarak dari titik ke pekerja yaitu 610 mm. Secara keseluruhan persamaan adalah sebagai berikut :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \quad (2.9)$$

Dimana :

E_n = incident energy normalized (J/cm²)

K_1 = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (no enclosure); -0,555 untuk konfigurasi box (enclosed equipment)

K_2 = 0 untuk sistem ungrounded and high-resistance grounded; - 0,113 untuk sistem grounded

G = jarak/celah antar konduktor (mm)

Setelah mendapatkan nilai E_n langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai dari insiden energi yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$E = 4,18 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (2.10)$$

Dimana :

E = incident energy (J/cm^2)

C_f = faktor pengali 1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan 1,5 untuk tegangan dibawah 1kV

E_n = incident energy normalized

t = waktu arcing (detik)

D = jarak dari titik arc ke pekerja (mm)

x = jarak exponent

Untuk menentukan arcing current dan incident energy harus memperhatikan tipikal gap antar bus, jarak kerja, dan faktor peralatan pada masing-masing kelas tegangan. Berikut merupakan tabel dari tipikal gap antar bus, jarak kerja, dan faktor peralatan pada masing-masing kelas tegangan sesuai dengan standar IEEE 1584-2002 :

Tabel 2.2 Tipikal Gap Antar Bus [9]

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

Tabel 2.3 Tipikal Jarak Kerja [9]

Kelas Peralatan	Tipikal Jarak Kerja
15 kV Switchgear	910

Tabel 2.4 Tipikal Jarak Kerja (Lanjutan) [9]

Kelas Peralatan	Tipikal Jarak Kerja
5 kV Switchgear	910
Low-voltage Switchgear	610
Low-voltage MCC dan Panelboards	455
Kabel	455

Tabel 2.5 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [9]

Tegangan Sistem	Kelas Peralatan	Tipikal Antar Bus	Jarak Faktor X
0,208-1	Open Air	10-40	2,000
	Switchgear	32	1,473
	MCC dan Panels	25	1,641
	Kabel	13	2,000
>1,5	Open Air	13-102	2,000
	Switchgear	13-102	0,973
	Kabel	13	2,000
>5-15	Open Air	13-153	2,000
	Switchgear	153	0,973
	Kabel	13	2,000

C. Lee Method

Lee method merupakan metode dari standar IEEE 1584-2002 yang digunakan untuk menghitung incident energy yang tegangannya melebihi 15 kV atau gap melebihi batas yang ditentukan. Berikut ini adalah persamaan dari lee method :

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \quad (2.11)$$

Dimana :

E = incident energy (J/cm^2)

V = tegangan sistem (kV)

t = waktu arcing (detik)

D = jarak dari titik arc ke pekerja (mm)

I_{bf} = bolted fault current pada gangguan tiga fasa (simetris RMS) (kA)

2.7 Flash Protection Boundary

Flash protection boundary adalah ketentuan dari *National Fire Protection Association* (NFPA) tentang jarak aman dimana seseorang terhindar dari bahaya *arc flash*. Terdapat beberapa zona dalam insiden arc flash yang ditentukan oleh NFPA yakni sebagai berikut : [10]

1. *Flash Protection Boundary*

Zona ini adalah zona yang terjauh dari sumber energi ketika arc flash terjadi. Pekerja yang ada di zona ini jika saat terjadi arc flash akan mendapatkan luka bakar tingkat ke-dua yang dapat disembuhkan.

2. *Limited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor berenergi atau aktif yang terdapat bahaya sengatan listrik.

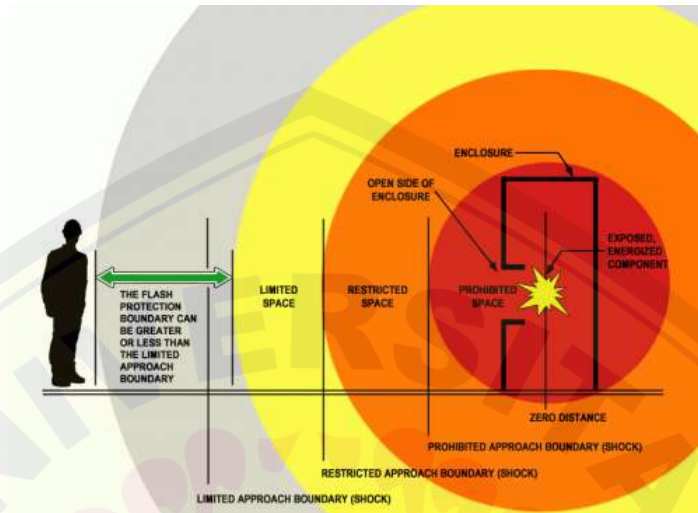
3. *Restricted Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat peningkatan resiko shock yang terjadi karena busur api dikombinasikan dengan gerakan tidak sengaja pekerja.

4. *Prohibited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari sebuah konduktor listrik bertegangan dimana pekerja dianggap melakukan kontak langsung dengan konduktor listrik bertegangan.

Untuk lebih jelasnya pembagian zona insiden arc flash dapat dilihat pada gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Pembagian Zona Insiden Arc Flash

Sumber : google.com

Menurut standar IEEE 1584-2002 *flash protection boundary* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut : [9]

Untuk tegangan 1kV-15kV :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.12)$$

Dimana :

D_B = jarak batasan dari titik arcing (mm)

t = waktu (detik)

E_B = insiden energi dalam J/cm² pada jarak batasan. Dapat di set pada nilai

5.0 J/cm²

Untuk tegangan yang lebih dari 15kV : [9]

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 20 \times I_{bf} \times (t/E_B)} \tag{2.13}$$

Dimana :

D_B = jarak batasan dari titik arcing (mm)

E_B = insiden energi dalam J/cm² pada jarak batasan. Dapat di set pada nilai 5.0 (J/cm²)

t = waktu FCT (s)

I_{bf} = arus bolted gangguan tiga fasa(simetris RMS) (kA)

2.8 Pengelompokan PPE (*Personal Protective Equipment*) Terhadap Energi Arc Flash

Setelah menentukan *flash protection boundary*, langkah selanjutnya yaitu menentukan pengelompokan PPE (*Personal Protective Equipment*) atau Alat Pelindung Diri terhadap energi arc flash yang terjadi. Kategori dari PPE sudah ditentukan oleh *National Fire Protection Association* (NFPA) dan tercantum dalam panduan NFPA 70E 2015. Pengelompokan dari PPE berdasarkan insiden energi yang terjadi dan dampak yang diakibatkan oleh arc flash terhadap pekerja. Pada tabel 2.5 berikut adalah pengelompokan PPE sesuai dengan standar NFPA.

Tabel 2.6 Pengelompokan PPE Sesuai dengan Standar NFPA [10]

<i>Category</i>	<i>Personal Protective Equipment</i>
B	<p><i>Arc-Rated Clothing, Minimum Arc Rating of 4 cal/cm2</i> <i>Arc-rated long-sleeve shirt and pants or arc-rated coverall</i> <i>Arc-rated face shield or arc flash suit hood</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p><i>Protective Equipment</i> <i>Hard hat</i></p>

	<p><i>Safety glasses or safety goggles (SR)</i></p> <p><i>Hearing protection (ear canal inserts)</i></p> <p><i>Heavy duty leather gloves Leather footwear (AN)</i></p>
C	<p><i>Arc-Rated Clothing, Minimum Arc Rating of 8 cal/cm²</i></p> <p><i>Arc-rated long-sleeve shirt and pants or arc-rated coverall</i></p> <p><i>Arc-rated flash suit hood or arc-rated face shield and arc-rated balaclava</i></p> <p><i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p><i>Protective Equipment</i></p> <p><i>Hard hat Safety glasses or safety goggles (SR)</i></p> <p><i>Hearing protection (ear canal inserts)</i></p> <p><i>Heavy duty leather gloves</i></p> <p><i>Leather footwear</i></p>
D	<p><i>Arc-Rated Clothing Selected so That the System Arc Rating Meets the Required Minimum Arc Rating of 25 cal/cm²</i></p> <p><i>Arc-rated long-sleeve shirt (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated pants (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated coverall (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit jacket (AR) Arc-rated arc flash suit pants (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit hood Arc-rated gloves</i></p> <p><i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p><i>Protective Equipment</i></p> <p><i>Hard hat</i></p> <p><i>Safety glasses or safety goggles (SR)</i></p> <p><i>Hearing protection (ear canal inserts)</i></p> <p><i>Leather footwear</i></p>
E	<p><i>Arc-Rated Clothing Selected so That the System Arc Rating Meets the Required Minimum Arc Rating of 40 cal/cm²</i></p> <p><i>Arc-rated long-sleeve shirt (AR)</i></p>

	<p><i>Arc-rated pants (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated coverall (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit jacket (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit pants (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit hood</i></p> <p><i>Arc-rated gloves Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner</i></p> <p><i>(AN)</i></p> <p>Protective Equipment</p> <p><i>Hard hat</i></p> <p><i>Safety glasses or safety goggles (SR)</i></p> <p><i>Hearing protection (ear canal inserts)</i></p> <p><i>Leather footwear</i></p>
--	--

Untuk lebih detailnya, pada gambar 2.5 memperlihatkan bentuk dari kategori PPE sesuai dengan standar NFPA :



Gambar 2.5 Personal Protective Equipment (a) Kategori A; (b) Kategori B; (c) Kategori C; (d) Kategori D; (e) Kategori E

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Adapun waktu pelaksanaan pengambilan data penelitian atau riset yang ingin diajukan adalah sebagai berikut:

Tempat : PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Banyuwangi

Alamat : Jl. Gatot Subroto KM. 05, Kelurahan Bulusan, Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur

Waktu : 28 Juli - 22 Agustus 2022

Beikut ini adalah detail kegiatan yang dilakukan selama penelitian

Tabel 3.1 Detail Kegiatan Penelitian

Kegiatan	Juli	Agustus			
	4	1	2	3	4
Pengenalan Perusahaan					
Study Literatur					
Observasi Perusahaan					
Pengumpulan Data					
Penulisan Laporan					

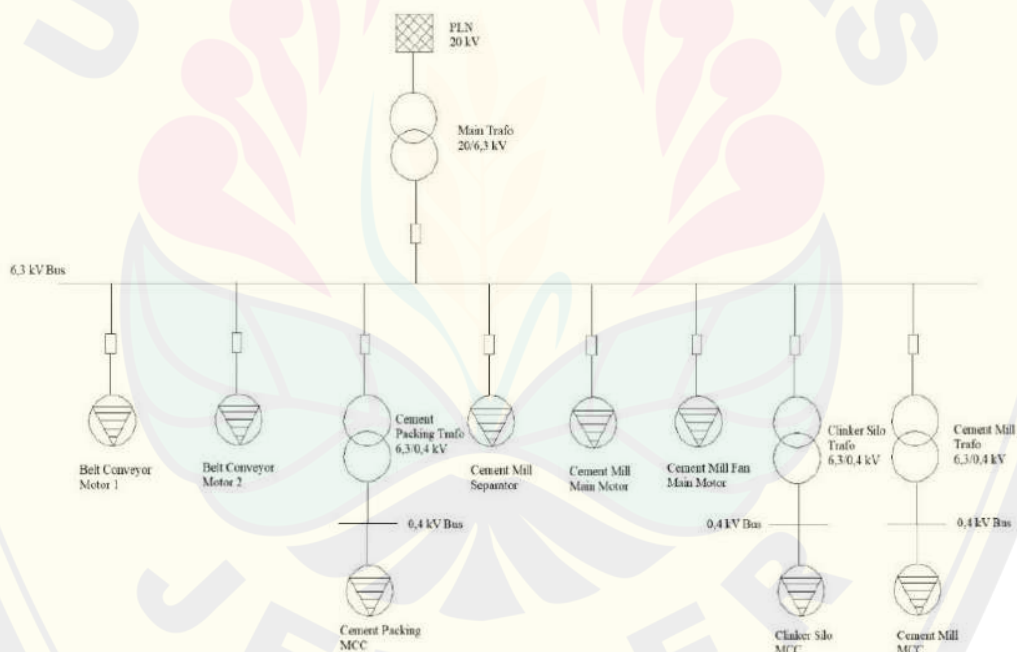
3.2 Data Penelitian

Dari beberapa jurnal, referensi, dan penelitian yang berkaitan dengan reduksi *arc flash* untuk data yang diperlukan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Data *Single Line Diagram* sistem kelistrikan pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.. *Single Line Diagram* ini berisikan informasi tentang data generator, data beban motor, data beban trafo, relay, dan lain-lain
2. Data pembangkit di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.
3. Data kapasitas transformator di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.
4. Data beban di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.
5. Data kabel di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

3.2.1 Single Line Diagram pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

Berikut ini adalah gambar *single line diagram* sistem kelistrikan pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk..



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

3.2.2 Suplai Daya pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

Sistem kelistrikan PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk disuplai oleh PLN dari Gardu Induk Banyuwangi dengan tegangan suplai 20 kV. Suplai tegangan 20 kV diturunkan ke level tegangan 6,3 kV dengan main trafo yang kemudian digunakan untuk menyuplai tegangan dari *Belt Conveyor Motor 1*, *Belt Conveyor Motor 2*, *Cement Mill Separator Motor*, *Cement Mill Main Motor*, dan *Cement Mill Fan Main Motor*. Kemudian terdapat 3 trafo step down yang mengubah level tegangan dari 6,3 kV ke 0,4 kV yang kemudian disalurkan ke beberapa MCC.

3.2.3 Data Kapasitas Transformator pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa

Data kapasitas transformator pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Data Transformator pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.

No	ID Trafo	Power Rating	kV
1	T. Main Trafo	16 MVA	20/6,3
2	T. Clinker Silo	1000 kVA	6,3/0,4
3	T. Cement Mill	1600 kVA	6,3/0,4
4	T. Packer Area	1250 kVA	6,3/0,4

3.2.4 Data Beban pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa

Untuk data beban pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk. dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Data Beban pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.

No	ID Peralatan	Rating Tegangan (kV)
1	Belt Conveyor Motor 1	6,3
2	Belt Conveyor Motor 2	6,3

Tabel 3.4 Data Beban pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk. (Lanjutan)

No	ID Peralatan	Rating Tegangan (kV)
3	Cement Mill Separator Motor	6,3
4	Cement Mill Motor	6,3
5	Cement Mill Fan Main Motor	6,3
6	Cement Packing MCC	0,4
7	Clicker Silo MCC	0,4
8	Cement Mill MCC	0,4

3.2.5 Data Kabel pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa

Tabel 3.4 berikut ini adalah daftar kabel yang terpasang pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa.

Tabel 3.4 Data Kabel pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa

No	Cable Start Point	Cable End Point	Type	Section (mm ²)	Panjang (m)
1	20 kV HV Panel	Main Trafo	YJV-18/20	2×(3×150)	50
2	Main Trafo	6,3 kV MV Panel	YJV-6/10	4×(3×185)	60
3	6,3 kV MV Panel	Belt Conveyor 1	YJV-6/10	3×70	380
4	6,3 kV MV Panel	Belt Conveyor 2	YJV-6/10	3×70	380
5	6,3 kV MV Panel	Cement Packing Trafo	YJV-6/10	3×70	260
6	6,3 kV MV Panel	Cement Mill Separator	YJV-6/10	3×70	55

Tabel 3.4 Data Kabel pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa (Lanjutan)

No	Cable Start Point	Cable End Point	Type	Section (mm ²)	Panjang (m)
7	6,3 kV MV Panel	Cement Mill Main Motor	YJV-6/10	2×(3×185)	260
8	6,3 kV MV Panel	Cement Mill Fan Main Motor	YJV-6/10	3×185	160
9	6,3 kV MV Panel	Clinker Silo Trafo	YJV-6/10	3×70	270
10	6,3 kV MV Panel	Cement Mill Trafo	YJV-6/10	3×70	55

3.3 Tahapan Penelitian

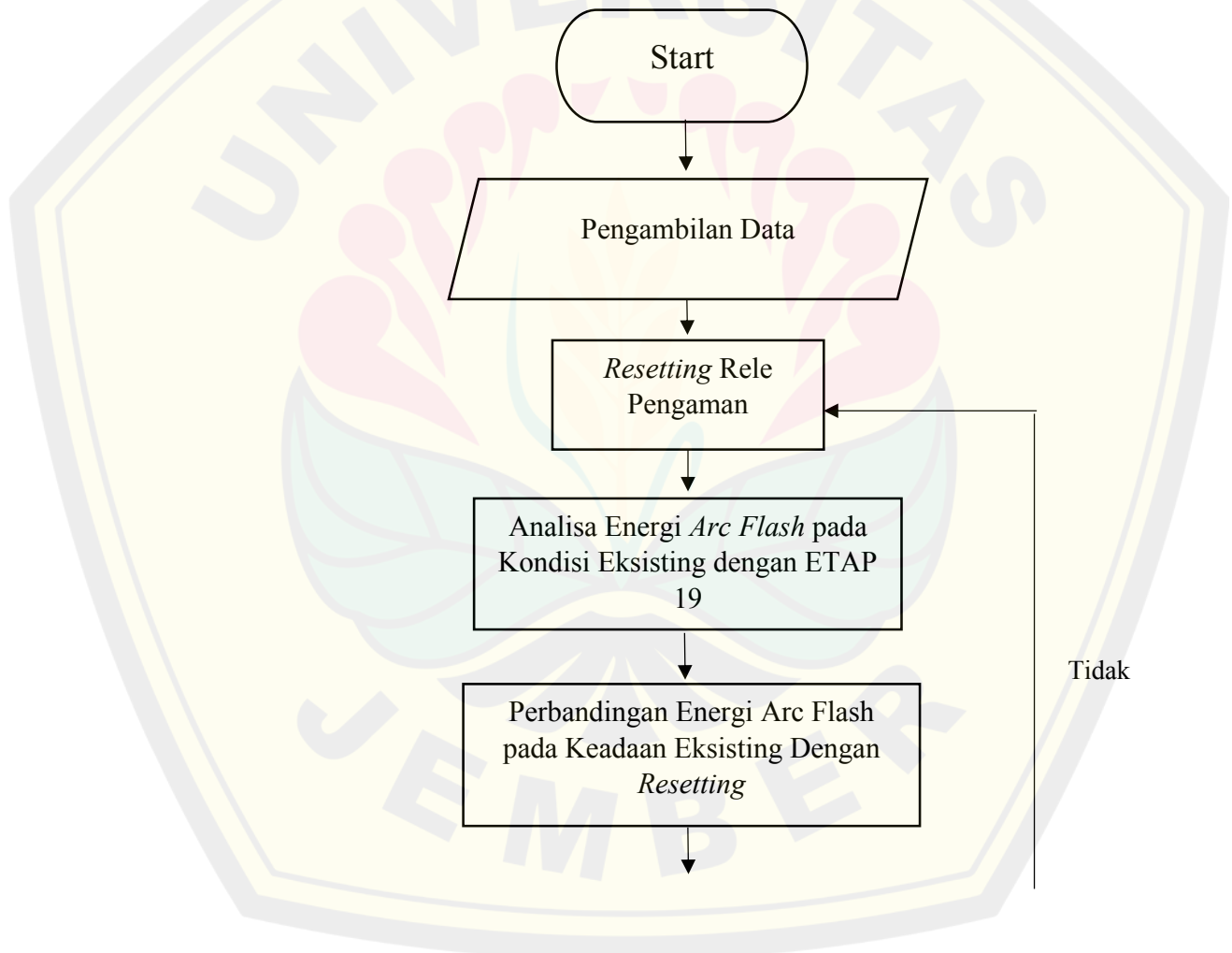
Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam perencanaan penelitian sebagai berikut :

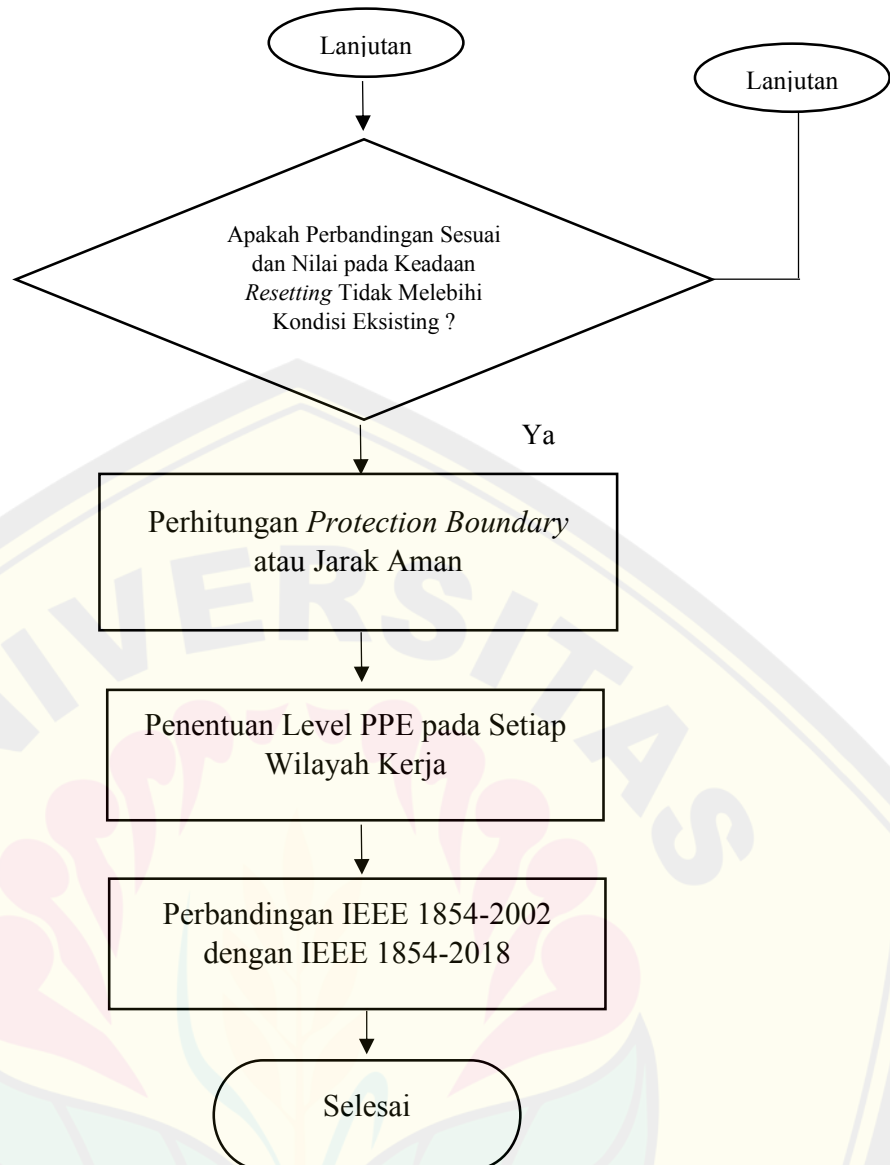
1. Studi literatur, yaitu mempelajari beberapa literatur yang diperlukan dalam melaksanakan penelitian dari beberapa jurnal dan beberapa referensi yang berhubungan dengan sistem proteksi, hubung singkat, *arc flash*, setting rele, dan *Personel Pertective Equipment (PPE)*.
2. Pengambilan data, yaitu mengambil beberapa data yang diperlukan dalam penelitian yang didapatkan di lapangan. Data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu sistem kelistrikan pada PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk.meliputi data generator, transformator, beban motor, static load, lumped load, dan kabel yang terpasang.

3. Pemodelan sistem dan simulasi, pada tahap ini dilakukan pemodelan Single Line Diagram dan penentuan tipikal dari sistem kelistrikan PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk. dengan menggunakan software ETAP 19.
4. Analisa, pada tahap ini dilakukan analisa dari simulasi yang dilakukan sebelumnya yaitu mencari reduksi dari energi *arc flash*, pengaruh dari koordinasi sistem proteksi terhadap *arc flash*, dan perbandingan ketetapan lama dan ketetapan terbaru.

3.3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah *flowchart* atau diagram alir pada penelitian yang akan dilakukan :





Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Koordinasi Relay Pengaman

Tahapan yang pertama yaitu analisis koordinasi relay pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi. Analisis yang dilakukan kali ini bertujuan untuk mereduksi *fault time clearing* pada masing-masing relay pengaman dan seperti yang diketahui pada subab yang sebelumnya masih terdapat nilai FCT yang masih besar sehingga perlu direduksi agar nilai dari insiden energi juga semakin kecil. Analisis yang dilakukan meliputi mengetahui *sequence of operation* dari relay dan *plotting* relay dalam kurva TCC (*Time Curve Current*) pada software ETAP 19. Pada tabel 4.2 dan 4.3 berikut adalah data eksisting relay pengaman low-set dan high-set meliputi pickup dan time dial.

Tabel 4.1 Data Eksisting Low-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.

No	Nama	Tipe Kurva	Pickup	Time Dial
1	Relay MT	<i>Definite Time</i>	3,219	0,5
2	Relay MI6,3	<i>Definite Time</i>	1,01	0,5
3	Relay BCM1	<i>Standard Inverse Time</i>	0,42	1,7
4	Relay BCM2	<i>Standard Inverse Time</i>	0,42	1,7
5	Relay CP	<i>Definite Time</i>	0,84	0,5
6	Relay CMS	<i>Definite Time</i>	0,973	1,5
7	Relay CMMM	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,92	0,078
8	Relay CMFMM	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,82	0,44
9	Relay CS	<i>Definite Time</i>	0,67	0,3
10	Relay CM	<i>Definite Time</i>	0,81	0,3

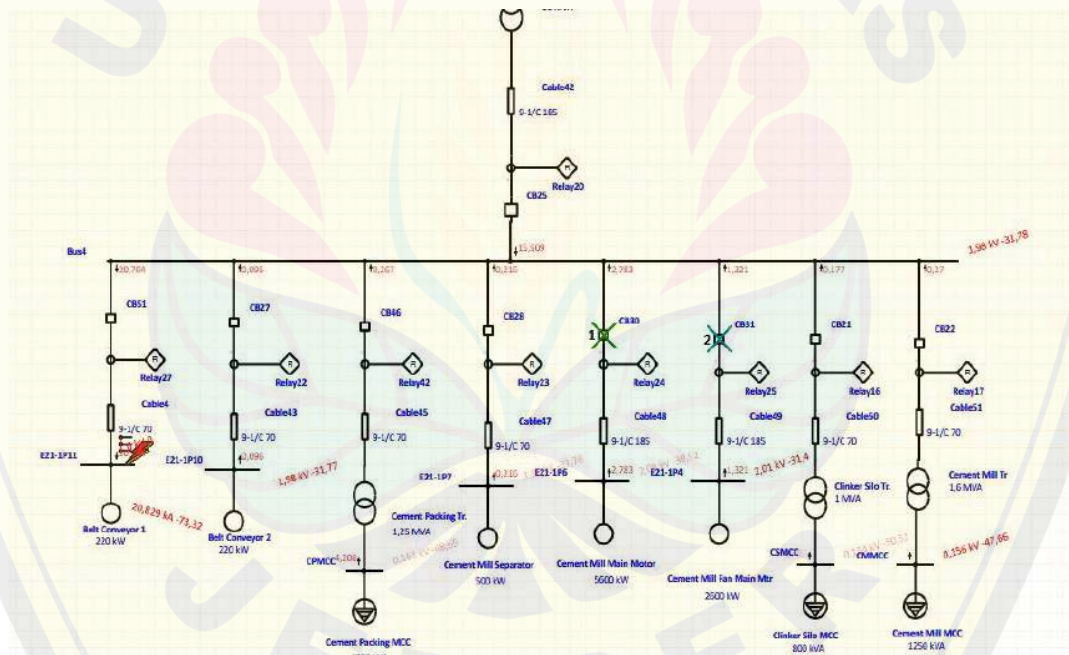
Tabel 4.2 Data Eksisting High-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.

No	Nama	Tipe Kurva	Pickup	Time Dial
1	Relay MT	<i>Instantaneous</i>	2,4	0
2	Relay MI6,3	<i>Disable</i>	-	-
3	Relay BCM1	<i>Instantaneous</i>	4,2	0

Tabel 4.3 Data Eksisting High-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi. (Lanjutan)

No	Nama	Tipe Kurva	Pickup	Time Dial
4	Relay_BCM2	<i>Instantaneous</i>	4,2	0
5	Relay_CP	<i>Instantaneous</i>	6,41	0
6	Relay_CMS	<i>Instantaneous</i>	5,13	0
7	Relay_CMMM	<i>Instantaneous</i>	3,528	0
8	Relay_CMFMM	<i>Instantaneous</i>	3	0
9	Relay_CS	<i>Instantaneous</i>	5,134	0
10	Relay_CM	<i>Instantaneous</i>	6,15	0

Dari percobaan *sequence of operation* atau koordinasi dari pembukaan circuit breaker saat bekerja yang ditandai dengan symbol silang terdapat koordinasi relay yang masih belum tepat yaitu pada relay_BCM1 yang ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 *Sequence of Operation* Kondisi Eksisting dari Relay_BCM1

Percobaan tersebut ketika terjadi gangguan pada bus E21-1P11 relay yang beroperasi pertama kali adalah Relay_CMMM yang kemudian membuka CB 30. Dalam teori sudah dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan maka relay terdekat dari sumber gangguan yang seharusnya beroperasi terlebih dahulu. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa Relay_BCM1 mengalami maloperasi yaitu kondisi dimana relay tidak berhasil mendeteksi adanya gangguan di sekitar sumber gangguan. Efek pada saat terjadinya *arc flash* pada bus E21-1P11 juga besar karena

Jika dilihat dari grading time-nya atau selisih waktu kerja relay dilihat pada gambar 4.3 relay_CMMM memiliki selisih 0 s atau dapat diartikan relay tersebut bekerja secara bersamaan dengan relay yang lain. Hal tersebut tidak sesuai dengan standar IEEE 242 dimana grading time sebuah relay yang memenuhi standar berkisar antara 0,2-0,4 detik dari relay backupnya. Dilihat dari waktu kerjanya, relay juga tidak memenuhi standar dimana relay harus bekerja 0,1 s karena jika kurang dari itu relay akan terlalu sensitif jika terkena gangguan dari luar.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0,0	Relay24	2,783	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	Relay25	1,321	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	Relay27	20,704	0,0		Phase - OC1 - 50
0,0	Relay29	4,917	0,0		Phase - OC1 - 50

Gambar 4.2 Urutan Kerja Relay Kondisi Eksisting Saat Terjadi Gangguan di Bus E21-1P11

Dari hal tersebut dilakukan penyetelan ulang koordinasi relay pengaman yang meliputi perhitungan *pickup* dan *time dial* relay. Berikut ini adalah detail dari perhitungan setting relay pengaman :

Relay BCM1

- Model : Sepam 40 Series
- Curva Type : IEC Extremely Inverse
- FLA Belt Conveyor : 23,61 A

CT Ratio : 50/5 A
 I_{scmax} : 5,975 kA
 I_{scmin} : 4,060 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Belt Conveyor} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Belt Conveyor}$$

$$1,05 \times 23,61 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 23,61 \text{ A}$$

$$24,79 < I_{Set} < 33,054$$

Dipilih $I_{Set} = 24$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$Pickup = \frac{24}{50} = 0,48$$

2) Time Dial

Dipilih $t = 0,3$

$$t = TMS \times \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{Set}}\right)^\alpha - 1}$$

$$0,3 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{5,975}{27}\right)^2 - 1}$$

$$= 183 \text{ s}$$

Karena maksimal nilai dari time dial adalah 2s maka dipilih nilai sebesar 0,52s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Belt Conveyor} < I_{Set} < 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 23,61 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 4.060 \text{ A}$$

$$33,77 < I_{Set} < 3.248$$

Dipilih $I_{Set} = 415$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{415}{50} = 8,3$$

2) Time Dial :

Dipilih 0,7

Relay BCM2

Model : Sepam 40 Series

Curva Type : IEC Extremely Inverse

FLA Belt Conveyor : 23,61 A

CT Ratio : 50/5 A

I_{scmax} : 5,975 kA

I_{semin} : 4,060 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Belt Conveyor} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Belt Conveyor}$$

$$1,05 \times 23,61 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 23,61 \text{ A}$$

$$24,79 < I_{Set} < 33,054$$

Dipilih $I_{Set} = 24$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$Pickup = \frac{24}{50} = 0,48$$

2) Time Dial

Dipilih $t = 0,3$

$$t = TMS \times \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{Set}}\right)^\alpha - 1}$$

$$0,3 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{5,975}{27}\right)^2 - 1}$$

$$= 183 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,52 s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Belt Conveyor} < I_{Set} < 0,8 \times I_{Scmin}$$

$$1,6 \times 23,61 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 4.060 \text{ A}$$

$$33,77 < I_{Set} < 3.248$$

$$\text{Dipilih } I_{Set} = 415$$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{415}{50} = 8,3$$

2) Time Dial :

$$\text{Dipilih } 0,7$$

Relay CP

Model : Sepam 40 Series

Curva Type : IEC Extremely Inverse

FLA Cement Packing Trafo : 114,55 A

CT Ratio : 150/5 A

I_{scmax} : 9,819 kA

I_{scmin} : 7,004 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Cement Packing Trafo} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Cement Packing Trafo}$$

$$1,05 \times 114,55 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 114,55 \text{ A}$$

$$120,277 < I_{Set} < 160,37$$

$$\text{Dipilih } I_{Set} = 114,9$$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$\text{Pickup} = \frac{114,9}{150} = 0,82$$

2) Time Dial

$$\text{Dipilih } t = 0,1$$

$$0,3 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{9,819}{123}\right)^2 - 1}$$

$$TMS = 20 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,113 s

High Setting :

- 1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Cement Packing Trafo} < I_{Set} < 0,8 \times I_{SCmin}$$

$$1,6 \times 114,55 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 7.004 \text{ A}$$

$$183,28 < I_{Set} < 5.603,2$$

$$\text{Dipilih } I_{Set} = 1.605$$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{960}{150} = 6,4$$

- 2) Time Dial :

Dilpilih 0,1

Relay CMS

Model : Sepam 40 Series

Curva Type : IEC Extremely Inverse

FLA Cement Mill Separator : 53,23 A

CT Ratio : 75/5 A

I_{scmax} : 2,928 kA

I_{scmin} : 1,961 kA

Low Setting :

- 1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Cement Mill Separator} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Cement Mill Separator}$$

$$1,05 \times 53,23 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 53,23 \text{ A}$$

$$55,89 < I_{Set} < 74,522$$

$$\text{Dipilih } I_{Set} = 54$$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$\text{Pickup} = \frac{54}{75} = 0,72$$

2) Time Dial

Dipilih $t = 0,3$

$$0,3 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{2,928}{57}\right)^2 - 1}$$

$$TMS = 9,8 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,6 s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Cement Mill Separator} < I_{Set} < 0,8 \times I_{SCmin}$$

$$1,6 \times 53,23 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 1.961 \text{ A}$$

$$85,16 < I_{Set} < 1.568,8$$

Dipilih $I_{Set} = 384,8$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{384,8}{75} = 5,13$$

2) Time Dial :

Dipilih 0,7

Relay CMMM

Model : Sepam 80 Series

Curva Type : IEC Extremely Inverse

FLA Cement Mill Main Motor : 583,63 A

CT Ratio : 700/5 A

I_{semax} : 2,698 kA

I_{semin} : 2,033 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Cement Mill Main Motor} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Cement Mill Main Motor}$$

$$1,05 \times 583,63 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 583,63 \text{ A}$$

$$612,81 < I_{Set} < 817,082$$

Dipilih $I_{Set} = 602$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{nCT}$$

$$Pickup = \frac{602}{700} = 0,86$$

2) Time Dial

Dipilih $t = 0,3$

$$0,3 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{2,698}{616}\right)^2 - 1}$$

$$TMS = 0,069 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,53 s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Cement Mill Main Motor} < I_{set} < 0,8 \times I_{SCmin}$$

$$1,6 \times 583,63 \text{ A} < I_{set} < 0,8 \times 2.033 \text{ A}$$

$$933,808 < I_{set} < 1.626,4$$

Dipilih $I_{set} = 1.750$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{nCT} = \frac{1.750}{700} = 2,5$$

2) Time Dial :

Dipilih 0,75

Relay CMFMM

Model : Sepam 80 Series

Curva Type : IEC Extremely Inverse

FLA Cement Mill Fan Main Motor : 272,25 A

CT Ratio : 400/5 A

I_{scmax} : 2,584 kA

I_{scmin} : 1,829 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Cement Mill Fan Main Motor} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ Cement Mill Fan Main Motor}$$

$$1,05 \times 272,25 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 272,25 \text{ A}$$

$$285,86 < I_{Set} < 381,15$$

$$\text{Dipilih } I_{Set} = 276$$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$\text{Pickup} = \frac{276}{700} = 0,69$$

2) Time Dial

$$\text{Dipilih } t = 0,3$$

$$0,3 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{2,584}{352}\right)^2 - 1}$$

$$TMS = 0,19 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,5 s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Cement Mill Fan Main Motor} < I_{Set} < 0,8 \times I_{Scmin}$$

$$1,6 \times 272,25 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 1.829 \text{ A}$$

$$435,6 < I_{Set} < 1.462,2$$

$$\text{Dipilih } I_{Set} = 2.600$$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{2.600}{400} = 6,5$$

2) Time Dial :

$$\text{Dipilih } 0,7$$

Relay CS

Model	: Sepam 40 Series
Curva Type	: IEC Extremely Inverse
FLA Clinker Silo Trafo	: 91,64 A
CT Ratio	: 150/5 A
I _{scmax}	: 8,901 kA

I_{scmin} : 7,004 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Clinker Silo Trafo} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Clinker Silo Trafo}$$

$$1,05 \times 91,64 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 91,64 \text{ A}$$

$$96,22 < I_{Set} < 128,296$$

Dipilih $I_{Set} = 102$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$Pickup = \frac{102}{150} = 0,68$$

2) Time Dial

Dipilih $t = 0,1$

$$0,1 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{8,901}{127,5}\right)^2 - 1}$$

$$TMS = 18,2 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,109 s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Clinker Silo Traf} < I_{Set} < 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 272,25 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 7.004 \text{ A}$$

$$146,62 < I_{Set} < 5.603,2$$

Dipilih $I_{Set} = 1.560$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{1.560}{150} = 10,4$$

2) Time Dial :

Dipilih 0,1

Relay CM

Model : Sepam 40 Series

Curva Type	: IEC Extremely Inverse
FLA Cement Mill Trafo	: 146,63 A
CT Ratio	: 200/5 A
I_{semax}	: 7,994 kA
I_{semin}	: 5,211 kA

Low Setting :

1) Pickup Setting

$$1,05 \times FLA \text{ Cement Mill Trafo} < I_{Set} < 1,4 \times FLA \text{ Cement Mill Trafo}$$

$$1,05 \times 146,63 \text{ A} < I_{Set} < 1,4 \times 146,63 \text{ A}$$

$$153,96 < I_{Set} < 205,28$$

Dipilih $I_{Set} = 148$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT}$$

$$Pickup = \frac{148}{200} = 0,74$$

2) Time Dial

Dipilih $t = 0,1$

$$0,1 = TMS \times \frac{80}{\left(\frac{7,994}{200}\right)^2 - 1}$$

$$TMS = 5,9 \text{ s}$$

Dipilih time dial sebesar 0,104 s

High Setting :

1) Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Cement Mill Trafo} < I_{Set} < 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 146,63 \text{ A} < I_{Set} < 0,8 \times 5.211 \text{ A}$$

$$234,608 < I_{Set} < 4.168,8$$

Dipilih $I_{Set} = 1.200$

$$Pickup = \frac{I_{Set}}{nCT} = \frac{1.200}{200} = 6$$

2) Time Dial :

Dipilih 0,7

Dari perhitungan resetting yang dilakukan didapatkan settingan low-set dan high set dari pickup dan time dial masing-masing relay seperti pada tabel 4.4 dan 4.5 berikut.

Tabel 4.4 Data Resetting Low-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.

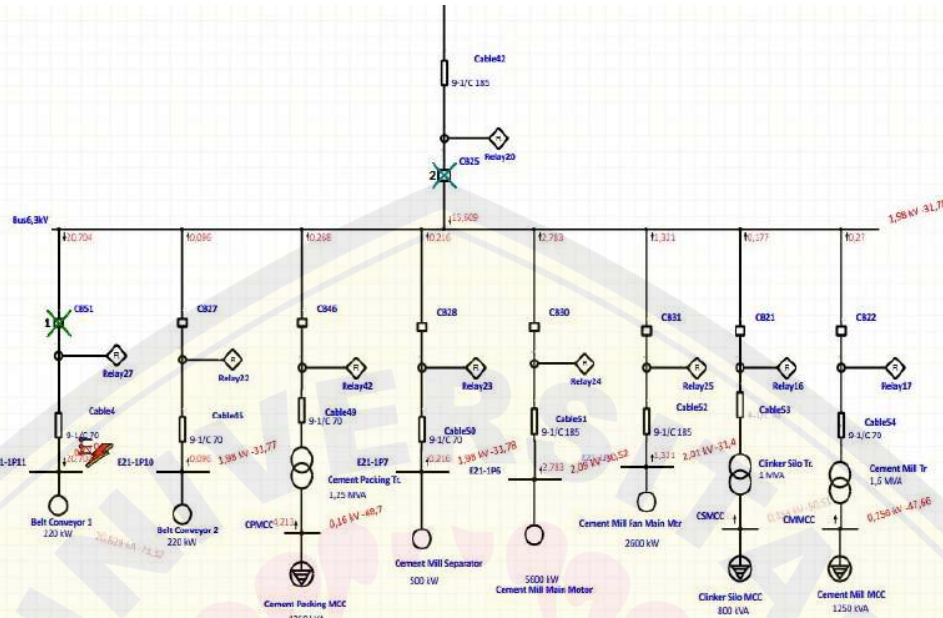
No	Nama	Tipe Kurva	Pickup	Time Dial
1	Relay MT	<i>Extremly Inverse Time</i>	1,2	0,86
2	Relay MI6,3	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,93	0,6
3	Relay BCM1	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,48	0,52
4	Relay BCM2	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,48	0,52
5	Relay CP	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,766	0,113
6	Relay CMS	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,72	1,5
7	Relay CMMM	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,86	0,6
8	Relay CMFMM	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,69	0,5
9	Relay CS	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,68	0,109
10	Relay CM	<i>Extremly Inverse Time</i>	0,74	0,104

Tabel 4.5 Data Resetting High-set Relay Pengaman pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.

No	Nama	Tipe Kurva	Pickup	Time Dial
1	Relay MT	<i>Instantaneous</i>	3,2	0,6
2	Relay MI6,3	<i>Instantaneous</i>	1,3	0,8
3	Relay BCM1	<i>Instantaneous</i>	8,3	0,7
4	Relay BCM2	<i>Instantaneous</i>	8,3	0,7
5	Relay CP	<i>Instantaneous</i>	6,4	0,1
6	Relay CMS	<i>Instantaneous</i>	5,13	0,7
7	Relay CMMM	<i>Instantaneous</i>	2,5	0,75
8	Relay CMFMM	<i>Instantaneous</i>	6,5	0,7
9	Relay CS	<i>Instantaneous</i>	10,4	0,1
10	Relay CM	<i>Instantaneous</i>	6	0,1

Pada percobaan *sequence of operation* pada relay kondisi resetting yang dapat dilihat pada gambar 4.4 urutan pembukaan CB sudah sesuai. Salah satu contohnya jika

terjadi arus gangguan pada bus E21-1P11 maka relay Relay_BCM1 yang akan bekerja untuk memberi CB 51 untuk membuka kemudian diikuti dengan Relay_MI6,3 sebagai relay backup jika relay utama dari bus E21-1P1 mengalami kegagalan kerja.



Gambar 4.3 Sequence of Operation Kondisi Resetting dari Relay_BCM1

Jika dilihat dari time grading relaynya juga sudah sesuai, dimana Relay_BCM1 yang memiliki kurva *Extremly Inverse Time* akan beroperasi pada waktu 104 ms dan grading time atau selisih waktu kerja dari relay tersebut ke relay backupnya yaitu Relay_MI6,3 adalah 0,336 detik dimana Relay_MI6,3 bekerja pada waktu 440 ms. Hal tersebut sudah sesuai standar IEEE 242 dimana grading time suatu relay yaitu berkisar antara waktu 0,2-0,4 detik. Kemudian jika dilihat dari kurva TCC kondisi *resetting* juga sudah sesuai, dimana kurva *Extremly Inverse Time* dari Relay_BCM1 tidak berpotongan dengan kurva dari Relay_MI6,3 sebagai relay *backup*-nya. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

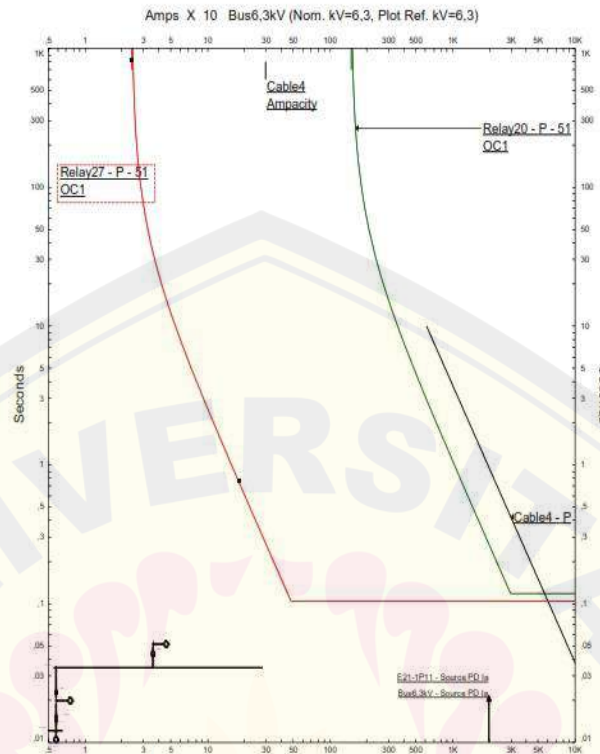
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: E21-1P11

Date Rev.: Base Config: Normal Date: 08-28-2022

Time (ms)	ID	# (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
104	Relay27	20,704	104		Phase - OC1 - 51
154	CB51		50,0		Tripped by Relay27 Phase - OC1 - 51
440	Relay20	15,609	440		Phase - OC1 - 51
490	CB25		50,0		Tripped by Relay20 Phase - OC1 - 51
600	Relay29	4,917	600		Phase - OC1 - 50
650	CB35		50,0		Tripped by Relay29 Phase - OC1 - 50

Gambar 4.4 Urutan Kerja Relay Kondisi Resetting Saat Terjadi Gangguan di Bus E21-1P11



Gambar 4.5 Kurva TCC Kondisi Resetting Relay Relay_BCM1 dengan Relay_MI6,3

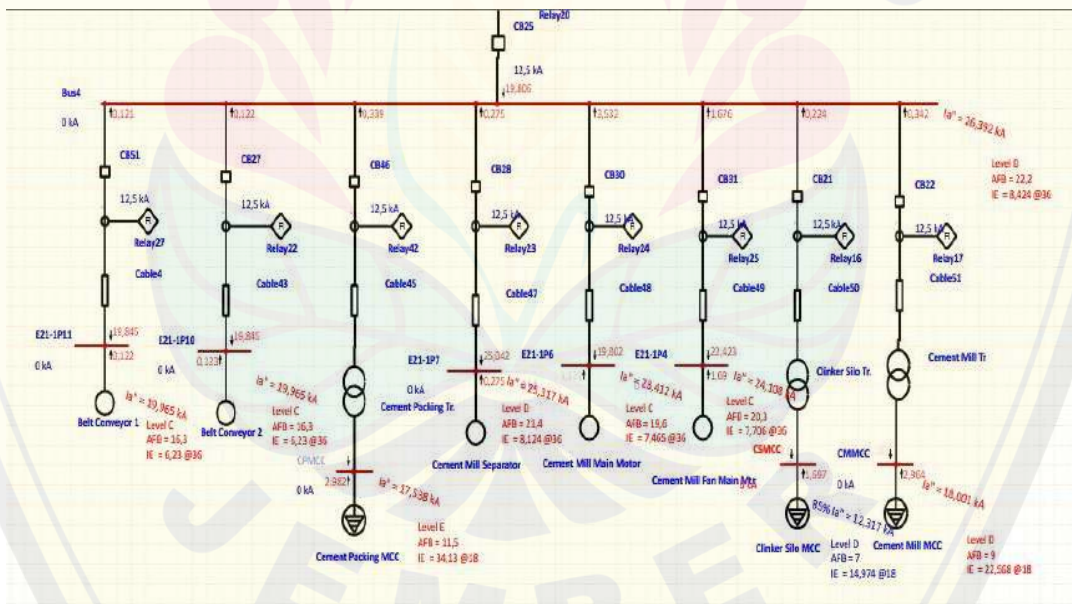
4.2 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Eksisting dengan Ketentuan IEEE 1584-2002

Pembahasan kedua yaitu simulasi Arc Flash pada kondisi eksisting di sistem kelistrikan PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi. Simulasi dilakukan pada software ETAP 19 menggunakan perhitungan berdasarkan ketentuan IEEE 1584-2002. Terdapat 9 bus yang akan disimulasikan *arc flas*-nya yaitu 6 bus bertipe peralatan switchgear dengan tegangan 6,3 kv dan 3 bus bertipe peralatan MCC pada tegangan 400 V. Pada tabel 4.1 dan gambar 4.1 berikut ini adalah data hasil simulasi eksisting

yang meliputi *bolted fault current*, *arcing fault*, *FCT*, *incident energy*, *flash protection boundary*, dan kategori energi.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Eksisting di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi

ID BUS	Tegangan (kV)	I _{bf} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	E (cal/cm ²)	D (m)	Kategori
6,3kV_SWG	6,3	27,67	26,39	0,23	8,424	6,76	D
E21-1P11	6,3	20,83	19,69	0,23	6,230	4,96	C
E21-1P10	6,3	20,83	19,69	0,23	6,230	4,96	C
E21-1P7	6,3	26,52	25,32	0,232	8,124	6,52	D
E21-1P6	6,3	24,49	23,41	0,232	7,465	7,465	C
E21-1P4	6,3	25,23	24,11	0,232	7,706	6,15	C
CP_MCC	0,4	39,13	17,45	0,56	34,13	3,35	E
CS_MCC	0,4	30,91	12,32	0,36	14,974	2,12	D
CM_MCC	0,4	40,41	18	0,36	22,56	2,71	D



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi Eksisting pada Software ETAP 19

Dari simulasi yang sudah dilakukan dapat diketahui insiden energi pada tipe peralatan switchgear dan MCC masih cukup besar yaitu terdapat 4 bus dengan insiden kategori C, 2 bus kategori D, dan 1 bus dengan kategori E. Masih besarnya insiden energi tersebut dipengaruhi oleh waktu operasi relay dalam mengamankan gangguan atau *fault time clearing* dari tipe peralatan tersebut memiliki waktu yang cukup besar. Dimana semakin besar *fault time clearing* semakin besar juga insiden energi yang terjadi. *Fault time clearing* atau FCT sendiri dapat diminimalisir dengan *me-resetting* sistem koordinasi proteksi kelistrikan yang sudah ada. Pada sub bab berikut akan dijelaskan tentang koordinasi relay proteksi pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi.

4.3 Hasil Simulasi dan Perhitungan Arc Flash pada Kondisi Resetting dengan Ketetapan IEEE 1854-2002

4.3.1 Hasil Simulasi Arc Flash pada Software ETAP 19 Kondisi Resetting dengan Ketetapan IEEE 1854-2002

Pada Subab ini memaparkan hasil dari simulasi *arc flash* menggunakan *software* ETAP 19 setelah dilakukan setting relay pengaman dan perhitungan *arc flash* dengan ketetapan IEEE 1854-2002. Simulasi kembali bertujuan untuk mengetahui besar insiden energi dari *arc flash* pada setiap bus setelah dilakukan resetting relay pengaman. Pada tabel 4.6 dan gambar 4.7 berikut adalah data hasil simulasi eksisting yang meliputi *bolted fault current*, *arcing fault*, FCT, *incident energy*, *flash protection boundary*, dan kategori energi.

Dari hasil simulasi yang dilakukan terdapat peningkatan dan penurunan insiden energi dari *arc flash* setelah dilakukan penyetelan ulang pada sistem proteksi kelistrikan. Hal ini disebabkan oleh *fault clearing time* (FCT) atau waktu proteksi untuk menghilangkan gangguan. Semakin besar nilai *fault clearing time* (FCT) maka semakin besar nilai insiden energinya.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Arc Flash pada Kondisi *Resetting* di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi

ID BUS	Tegangan (kV)	I _{br} (kA)	I _a (kA)	FCT (s)	E (cal/cm ²)	D (m)	Kategori
6,3kV_SWG	6,3	27,67	26,39	0,322	11,812	9,6	D
E21-1P11	6,3	20,83	19,69	0,154	4,179	3,1	C
E21-1P10	6,3	20,83	19,69	0,154	4,179	3,1	C
E21-1P7	6,3	26,52	25,32	0,17	5,964	4,75	D
E21-1P6	6,3	24,49	23,41	0,156	5,028	3,96	C
E21-1P4	6,3	25,23	24,11	0,15	4,990	3,96	C
CP_MCC	0,4	39,13	17,45	0,245	12,578	1,92	D
CS_MCC	0,4	30,91	12,32	0,254	10,556	1,70	D
CM_MCC	0,4	40,41	18	0,333	17,538	2,34	D

Untuk besar reduksi *arc flash* yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan matematis sebagai berikut :

$$\text{Reduksi} = E_{\text{Eksisting}} - E_{\text{Resetting}} \quad (4.1)$$

Dimana untuk hasil dari reduksi energi *arc flash* dapat dilihat pada table 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Reduksi *Arc Flash* pada Kondisi Eksisting dengan *Resetting* di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi

ID BUS	Eksisting		Resetting		Reduksi Insiden Energi (cal/cm ²)
	FCT (s)	E (cal/cm ²)	FCT (s)	E (cal/cm ²)	
6,3kV_SWG	0,23	8,424	0,322	11,812	-
E21-1P11	0,23	6,230	0,154	4,179	2,051

Tabel 4.9 Reduksi *Arc Flash* pada Kondisi Eksisting dengan *Resetting* di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi (Lanjutan)

ID BUS	Eksisting		Resetting		Reduksi Insiden Energi (cal/cm ²)
	FCT (s)	E (cal/cm ²)	FCT (s)	E (cal/cm ²)	
E21-1P10	0,23	6,230	0,154	4,179	2,051
E21-1P7	0,232	8,124	0,17	5,964	2,16
E21-1P6	0,232	7,465	0,156	5,028	2,437
E21-1P4	0,232	7,706	0,15	4,990	2,716
CP_MCC	0,56	34,13	0,245	12,578	21,552
CS_MCC	0,36	14,974	0,254	10,556	4.418
CM_MCC	0,36	22,56	0,333	17,538	5.022

Peningkatan insiden energi dari *arc flash* sesudah penyetelan ulang diakibatkan relay pada kondisi *resetting* memiliki waktu operasi yang belum terkoordinasi dengan baik. Dari penelitian yang sudah dilakukan salah satunya pada bus 6,3kV_SWG dimana *fault time clearing* (FCT) mengalami peningkatan sebesar 0,1 s sehingga insiden energinya bertambah 3,388 cal/cm² dari kondisi eksisting. Tetapi hal ini tetap diperbolehkan dikarenakan dengan hal seperti itu dapat diketahui nilai insiden energi yang sebenarnya, sehingga dapat direkomendasikan PPE yang tepat untuk pekerja.

Kemudian untuk penurunan insiden energi dari *arc flash* setelah penyetelan ulang diakibatkan oleh relay pada kondisi *resetting* memiliki waktu operasi yang sudah terkoordinasi dengan tepat sehingga dapat mengurangi insiden energi yang terjadi. Dari penelitian yang sudah dilakukan salah satunya pada bus CP_MCC dimana *fault time clearing* (FCT) mengalami penurunan sebesar 0,315 s dan insiden energinya juga tereduksi sebesar 21,552 cal/cm² dari kondisi eksisting.

4.3.2 Hasil Perhitungan Kondisi Resetting dengan Ketentuan IEEE 1854-2002

Setelah dilakukan simulasi pada *software* ETAP 19 selanjutnya dilakukan perhitungan *arc flash* dengan ketentuan IEEE 1854-2002. Perhitungan bertujuan untuk membuktikan apakah hasil simulasi tersebut sesuai dengan perhitungan teori. Ada 3 tahap perhitungan yaitu yang pertama mencari *arcing current* (I_a) yang dibagi menjadi 2 rumus. Rumus yang pertama dengan kondisi tegangan kurang dari sama dengan 1kV dengan persamaan 4.2 berikut ,

$$\lg I_a = K + 0,622 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \quad (4.2)$$

sehingga,

$$I_a = 10^{[K+0,622 \lg I_{bf}+0,0966 V+0,000526 G+0,5588 V (\lg I_{bf})-0,00304 G (\lg I_{bf})]} \quad (4.3)$$

Rumus yang kedua yaitu dengan kondisi tegangan lebih dari 1kV dengan persamaan 4.4 sebagai berikut,

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \quad (4.4)$$

Dari persamaan tersebut dapat disederhanakan kembali menjadi persamaan 4.5 sebagai berikut,

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

$$\lg I_a - 0,983 \lg I_{bf} = 0,00402$$

$$\lg I_a - \lg I_{bf}^{0,983} = 0,00402$$

$$\lg \left(\frac{I_a}{I_{bf}^{0,983}} \right) = 0,00402$$

$$\frac{I_a}{I_{bf}^{0,983}} = 1,00929$$

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \quad (4.5)$$

Setelah mendapatkan *arcing current* (I_a) selanjutnya yaitu mencari nilai *incident energy normalized* (E_n) dengan persamaan 4.6 sebagai berikut,

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \quad (4.6)$$

Sehingga,

$$E_n = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)} \quad (4.7)$$

Setelah mendapatkan *incident energy normalized* (E_n) dilakukan perhitungan insiden energi (E) dengan persamaan 4.7 sebagai berikut,

$$E = 4,18 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad (4.8)$$

Berikut ini adalah perhitungan dari *arc flash* dengan ketentuan IEEE 1854-2002

6.3SWG

Arcing Current

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 27,67^{0,983}$$

$$= 26,39 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$E_n = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$E_n = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (26,39)+0,0011 \times 152)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,53+0,672)}$$

$$= 10^{1,02} = 10,471 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$\begin{aligned}
 E &= 4,184 \times 1 \times 10,471 \left(\frac{0,322}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{910^{0,972}} \right) \\
 &= 4,184 \times 1 \times 10,471 \times 1,61 \times 0,677 \\
 &= 11,821 \text{ Cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

E21-1P11

Arcing Current

$$\begin{aligned}
 I_a &= 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \\
 I_a &= 1,01 \times 20,83^{0,983} \\
 &= 19,96 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Incident Energy

$$\begin{aligned}
 E_n &= 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)} \\
 E_n &= 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (19,96)+0,0011 \times 152)} \\
 &= 10^{(-0,555-0,113+1,3+0,672)} \\
 &= 10^{0,899} = 7,762 \text{ J/Cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
 E &= 4,184 \times 1 \times 7,762 \left(\frac{0,154}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{910^{0,972}} \right) \\
 &= 4,184 \times 1 \times 7,762 \times 0,77 \times 0,677 \\
 &= 4,179 \text{ Cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

E21-1P10

Arcing Current

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 20,83^{0,983}$$

$$= 19,96 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$En = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$En = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (19,96)+0,0011 \times 152)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,3+0,672)}$$

$$= 10^{0,899} = 7,762 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1 \times 7,762 \left(\frac{0,154}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{910^{0,972}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1 \times 7,762 \times 0,77 \times 0,677$$

$$= 4,179 \text{ Cal/cm}^2$$

E21-1P7

Arcing Current

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 26,52^{0,983}$$

$$= 25,32 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$En = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$En = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (25,32)+0,0011 \times 152)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,51+0,672)}$$

$$= 10^{1,009} = 10,2 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1 \times 10,2 \left(\frac{0,17}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{910^{0,972}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1 \times 10,2 \times 0,85 \times 0,677$$

$$= 5,964 \text{ Cal/cm}^2$$

E21-1P16

Arcing Current

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 24,49^{0,983}$$

$$= 23,41 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$E_n = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$E_n = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (23,41)+0,0011 \times 152)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,47+0,672)}$$

$$= 10^{0,96} = 9,12 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1 \times 9,12 \left(\frac{0,156}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{910^{0,972}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1 \times 9,12 \times 0,78 \times 0,677$$

$$= 5,028 \text{ Cal/cm}^2$$

E21-1P14

Arcing Current

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 25,23^{0,983}$$

$$= 24,11 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$En = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$En = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (24,11)+0,0011 \times 152)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,49+0,672)}$$

$$= 10^{0,98} = 9,54 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1 \times 9,54 \left(\frac{0,15}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{910^{0,972}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1 \times 9,54 \times 0,75 \times 0,677$$

$$= 4,990 \text{ Cal/cm}^2$$

CP MCC

Arcing Current

$$I_a = 10^{K+0,622 \lg I_{bf}+0,0966 V+0,000526 G+0,5588 V (\lg I_{bf})-0,00304 G (\lg I_{bf})}$$

$$I_a$$

$$= 10^{(-0,097+0,622(\lg 39,36)+0,0966 (0,4)+0,000526 (25)+0,5588 (25) (\lg 39,36)-0,00304 (25)(\lg 39,36)}$$

$$= 10^{1,16}$$

$$= 14,98 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$En = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$En = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (14,98)+0,0011 \times 25)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,27+0,0275)}$$

$$= 10^{0,62} = 4,168 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,168 \left(\frac{0,245}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1,5 \times 4,168 \times 1,225 \times 1,617,86$$

$$= 12,578 \text{ Cal/cm}^2$$

CS MCC

Arcing Current

$$I_a = 10^{K+0,622 \lg I_{bf}+0,0966 V+0,000526 G+0,5588 V (\lg I_{bf})-0,00304 G (\lg I_{bf})}$$

$$I_a$$

$$= 10^{(-0,097+0,622 (\lg 30,91)+0,0966 (0,4)+0,000526 (25)+0,5588 (25) (\lg 30,91)-0,00304 (25) (\lg 30,91)}$$

$$= 10^{1,09}$$

$$= 12,32 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$En = 10^{(K_1+K_2+1,081 \lg I_a+0,0011 G)}$$

$$En = 10^{(-0,555-0,113+1,081 \lg (12,32)+0,0011 \times 25)}$$

$$= 10^{(-0,555-0,113+1,17+0,0275)}$$

$$= 10^{0,77} = 5,88 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,88 \left(\frac{0,254}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1,5 \times 5,88 \times 1,27 \times 1,617,86$$

$$= 10,556 \text{ Cal/cm}^2$$

CM MCC

Arcing Current

$$I_a = 10^{K+0,622 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})}$$

$$I_a$$

$$= 10^{(-0,097 + 0,622 (\lg 40,41) + 0,0966 (0,4) + 0,000526 (25) + 0,5588 (25) (\lg 40,41) - 0,00304 (25) (\lg 40,41)}$$

$$= 10^{1,18}$$

$$= 15,3 \text{ kA}$$

Incident Energy

$$E_n = 10^{(K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G)}$$

$$E_n = 10^{(-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg (15,3) + 0,0011 \times 25)}$$

$$= 10^{(-0,555 - 0,113 + 1,27 + 0,0275)}$$

$$= 10^{0,62} = 4,168 \text{ J/Cm}^2$$

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

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,168 \left(\frac{0,333}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}} \right)$$

$$= 4,184 \times 1,5 \times 4,168 \times 1,665 \times 1,617,86$$

$$= 17,538 \text{ Cal/cm}^2$$

Dari perhitungan *arc flash* kondisi resetting yang sudah dilakukan hasil dari perhitungan tidak beda jauh dengan hasil dari simulasi yang di lakukan. Pada tabel 4.8 berikut ini adalah rekap dari hasil perhitungan manual I_a atau arus *arcing* dan E atau insiden energi menggunakan rumus dari ketentuan IEEE 1584-2002.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Manual *Arc Flash* dengan ketentuan IEEE 1584-2002

ID BUS	I_a (kA)	E (cal/cm ²)
6,3kV_SWG	26,39	8,424
E21-1P11	19,69	6,230
E21-1P10	19,69	6,230
E21-1P7	25,32	8,124
E21-1P6	23,41	7,465
E21-1P4	24,11	7,706
CP_MCC	17,45	34,13
CS_MCC	12,32	14,974
CM_MCC	18	22,56

4.3.3 Hasil Perhitungan Flash Protection Boundary Kondisi Resetting dengan Ketentuan IEEE 1854-2002

Setelah melakukan perhitungan *arc flash* yang meliputi perhitungan *arcing current*, *incident energy normalized*, dan insiden energi selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *flash protection boundary* atau jarak aman ketika terjadi *arc flash* dengan persamaan 4.8 sebagai berikut.

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (4.8)$$

Berikut ini adalah detail perhitungan *flash protection boundary* pada setiap bus,

6.3SWG

$$\begin{aligned}
D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
&= \left[4,184 \times 1 \times 10,471 \left(\frac{0,322}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= [4,184 \times 1 \times 10,471 \times 1,61 \times 101,94]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= [7.190,35]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= 9.588 \text{ mm} = 9,588 \text{ m}
\end{aligned}$$

E21-1P11

$$\begin{aligned}
D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
&= \left[4,184 \times 1 \times 7,762 \left(\frac{0,154}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= [4,184 \times 1 \times 7,762 \times 0,77 \times 101,94]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= [3.438,8]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= 3.295 \text{ mm} = 3,295 \text{ m}
\end{aligned}$$

E21-1P10

$$\begin{aligned}
D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
&= \left[4,184 \times 1 \times 7,762 \left(\frac{0,154}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,972}} \\
&= [4,184 \times 1 \times 7,762 \times 0,77 \times 101,94]^{\frac{1}{0,972}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= [3.438,8]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= 3.295 \text{ mm} = 3,295 \text{ m} \\
 &= 3.295 \text{ mm} = 3,295 \text{ m}
 \end{aligned}$$

E21-1P7

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \times 1 \times 10,2 \left(\frac{0,17}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= [4,184 \times 1 \times 10,2 \times 0,85 \times 101,94]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= [3.796,1]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= 4.750 \text{ mm} = 4,750 \text{ m}
 \end{aligned}$$

E21-1P16

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \times 1 \times 9,12 \left(\frac{0,156}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= [4,184 \times 1 \times 9,12 \times 0,78 \times 101,94]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= [3.483,5]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= 3.986 \text{ mm} = 3,986 \text{ m}
 \end{aligned}$$

E21-1P14

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

$$\begin{aligned}
 &= \left[4,184 \times 1 \times 9,54 \left(\frac{0,15}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,972}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= [4,184 \times 1 \times 9,54 \times 0,75 \times 101,94]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= [3.349.5]^{\frac{1}{0,972}} \\
 &= 3,955 \text{ mm} = 3.955 \text{ m}
 \end{aligned}$$

CP MCC

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \times 1,5 \times 4,168 \left(\frac{0,245}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= [4,184 \times 1,5 \times 4,168 \times 1,225 \times 7.443,1]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= [399.456,76]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= 1,913 \text{ mm} = 1,913 \text{ m}
 \end{aligned}$$

CP MCC

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \times 1,5 \times 5,88 \left(\frac{0,254}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= [4,184 \times 1,5 \times 5,88 \times 1,27 \times 7.443,1]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= [414.130,68]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= 1,719 \text{ mm} = 1,719 \text{ m}
 \end{aligned}$$

CP MCC

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \times 1,5 \times 4,168 \left(\frac{0,333}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= [4,184 \times 1,5 \times 4,168 \times 1,665 \times 7.443,1]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= [542.935,11]^{\frac{1}{1,641}} \\
 &= 2.343 \text{ mm} = 2,343 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.4 Penentuan Personal Protective Equipment

Setelah dilakukan *resetting* pada relay pengaman, nilai insiden busur api dapat diturunkan dan sesuai dengan level insiden 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. Dengan mengetahui besar insiden energi busur api di daerah kerja bertegangan, maka pekerja wajib untuk menggunakan PPE yang sesuai saat bekerja di daerah bertegangan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengurangi dampak dari busur api yang mungkin timbul. Penentuan PPE sesuai dengan bus dan level insiden energi dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.11 Penentuan *Personal Protective Equipement* Berdasarkan Kategori Insiden Energi yang Terjadi

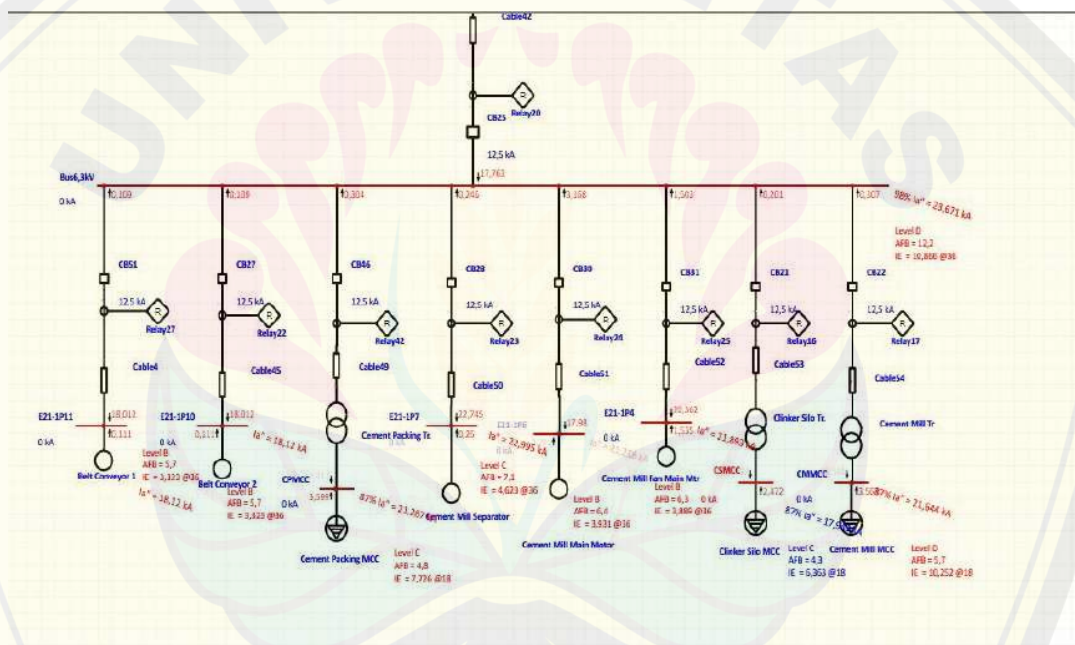
ID BUS	Insiden Energi	Kategori	PPE
E21-1P11	4,179 Cal/cm ²	C	
E21-1P10	4,179 Cal/cm ²	C	

Tabel 4.12 Penentuan *Personal Protective Equipement* Berdasarkan Kategori Insiden Energi yang Terjadi (Lanjutan)

ID BUS	Insiden Energi	Kategori	PPE
E21-1P11	4,179 Cal/cm^2	C	<ul style="list-style-type: none"> - Flash suit hood - Pelindung wajah dan kepala - Sarung tangan leather - Sepatu safety leather - Pakaian tahan api - Pelindung mata - Pelindung telinga - Celana panjang
E21-1P10	4,179 Cal/cm^2	C	
E21-1P6	5,028 Cal/cm^2	C	
E21-1P4	4,990 Cal/cm^2	C	
6,3kV_SWG	11,812 Cal/cm^2	D	<ul style="list-style-type: none"> - Flash suit hood - Pelindung wajah dan kepala - Sarung tangan leather - Sepatu safety leather - Pakaian tahan api - Pelindung mata - Pelindung telinga - Celana panjang
E21-1P7	5,964 Cal/cm^2	D	
CP_MCC	12,578 Cal/cm^2	D	
CS_MCC	10,556 Cal/cm^2	D	

4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Arc Flash Ketetapan IEEE 1584-2002 dengan IEEE 1584-2018 pada Kondisi Resetting

Dalam subbab ini dijelaskan tentang perbandingan *arc flash* ketetapan IEEE 1584-2002 dengan IEEE 1584-2018. IEEE 1584-2018 sendiri adalah sebuah pembaharuan dari ketetapan IEEE 1584-2002 untuk menghitung bahaya dari *arc flash*. Memberikan lebih banyak akurasi, standar IEEE 1584-2018 juga menambah lebih banyak kerumitan untuk menyelesaikannya. Karena standar baru membahas konfigurasi/pengaturan fisik komponen yang berbeda, memperluas rentang tegangan, dan rumus yang baru. Untuk menjalankan simulasi dari IEEE 1584-2018 digunakan *software* ETAP 12.6 keatas karena sudah tersedia menu untuk melakukan simulasinya. Pada gambar 4.7 berikut adalah hasil simulasi *arc flash* pada *software* ETAP 19 pada kondisi *resetting*.



Gambar 4.8 Hasil Simulasi Arc Flash Ketetapan IEEE 1584-2018 pada *Software* ETAP 19

Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan ketetapan IEEE 1584-2018 terdapat perbedaan nilai insiden energi yang cukup besar dengan IEEE 1584-2002 yang

dapat dilihat pada tabel 4.9. Dimana nilai insiden energi pada ketentuan IEEE 1584-2018 lebih kecil daripada nilai insiden energi pada ketentuan IEEE 1584-2002. Seperti contohnya nilai insiden energi pada bus E21-1P11 dengan menggunakan ketentuan IEEE 1584-2002 lebih besar daripada insiden energi pada ketentuan IEEE 1584-2018 yaitu dengan selisih $0,856 \text{ cal/cm}^2$. Perbedaan hasil tersebut dikarenakan oleh beberapa hal.

Tabel 4.13 Perbandingan Insiden Energi dari Ketentuan IEEE 1584-2002 dengan IEEE 1584-2018 pada Kondisi *Resetting*

ID Bus	Insiden Energi (cal/cm^2)	
	IEEE 1584-2002	IEEE 1584-2018
6,3kV_SWG	11,812	10,866
E21-1P11	4,179	3,323
E21-1P10	4,179	3,323
E21-1P7	5,964	4,623
E21-1P6	5,028	3,391
E21-1P4	4,990	3,889
CP_MCC	12,578	7,726
CS_MCC	10,556	6,363
CM_MCC	17,538	10,252

Salah satunya adalah perhitungan dari kedua ketentuan. Pada perhitungan ketentuan IEEE 1584-2018 memiliki rumus yang berbeda dari ketentuan IEEE 1584-2002 dan lebih kompleks. Pada perhitungan standar baru menambahkan beberapa pertimbangan seperti konfigurasi/pengaturan fisik komponen dan memperluas rentang tegangan termasuk variabel berikut:

1. Konfigurasi (VCB, VCBB, HCB, VOA, HOA)
2. V_{oc}
3. Bolted Fault Current (I_{bf})

4. Jarak Kerja
5. Durasi (Breaker or fuse curve)
6. Gap



BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

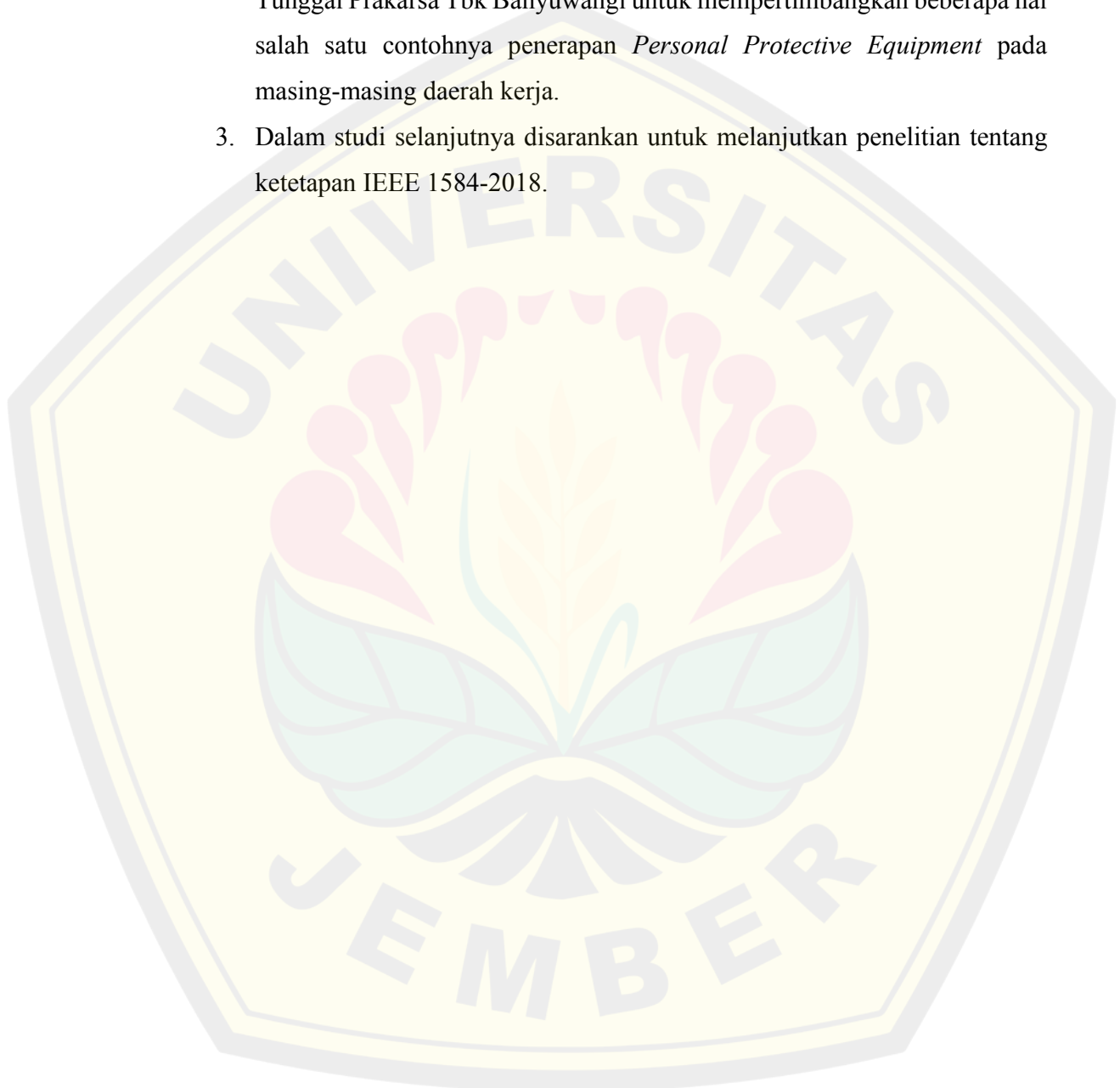
Berdasarkan serangkaian percobaan yang sudah dilakukan dalam analisis reduksi *arc flash* pada PT. Indocement Tunggal Prakarsa dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil percobaan koordinasi sistem proteksi yang sudah dilakukan, terdapat relay pada kondisi eksisting mengalami maloperasi yaitu kondisi dimana relay tidak berhasil mendeteksi adanya gangguan di sekitar sumber gangguan. Namun setelah dilakukan *resetting*, relay bekerja dengan sesuai dari penelitian yang sudah dilakukan seperti Relay_BCM1 dimana pada saat kondisi eksisting relay ini mengalami maloperasi dimana tidak bisa mendeteksi gangguan pada bus E21-1P11. Setelah dilakukan *resetting*, Relay_BCM1 dapat bekerja dengan sesuai dan dapat mendeteksi gangguan pada bus E21-1P11.
2. Nilai insiden energi *arc flash* dipengaruhi oleh *fault time clearing* (FCT) atau waktu relay proteksi untuk menghilangkan gangguan. Semakin besar nilai dari FCT maka semakin besar juga nilai insiden energinya. Dari penelitian yang sudah dilakukan salah satunya pada bus E21-1P11 pada kondisi eksisting memiliki nilai insiden energi sebesar $6,230 \text{ Cal/cm}^2$ dengan nilai FCT sebesar 0,23 s. Setelah dilakukan *resetting* relay pengaman insiden energi tereduksi sebesar 32,92 % dengan nilai insiden energi $4,179 \text{ Cal/cm}^2$ dan FCT sesudah *resetting* menjadi 0,154 s.
3. Dari penentuan kategori *Personal Protective Equipment* pada setiap rentang insiden energi yang ditentukan, terdapat 2 kategori pada masing-masing daerah kerja. Kategori yang pertama yaitu kategori C terdapat 4 daerah kerja yaitu bus E21-1P11, E21-1P10, E21-1P6, dan E21-1P4 dengan rentang $4-8 \text{ Cal/cm}^2$. Sedangkan kategori yang kedua yaitu kategori D terdapat 6 daerah kerja yaitu 6,3kV_SWG, E21-1P7, CP_MCC, CS_MCC, dan CM_MCC dengan rentang $8-25 \text{ Cal/cm}^2$

5.2 Saran

Dari Analisa yang sudah dilakukan terdapat saran sebagai berikut :

1. Dari *resetting* relay pengaman dapat dijadikan rujukan dan pertimbangan untuk sistem koordinasi proteksi dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Banyuwangi,
2. Dari studi *arc flash* yang dilakukan dapat menjadi rujukan PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Banyuwangi untuk mempertimbangkan beberapa hal salah satu contohnya penerapan *Personal Protective Equipment* pada masing-masing daerah kerja.
3. Dalam studi selanjutnya disarankan untuk melanjutkan penelitian tentang ketentuan IEEE 1584-2018.



Daftar Pustaka

- [1]. Arismunandar, Artono, "*Teknik Tegangan Tinggi*", Jakarta, 1984.
- [2]. Candick, John, "*Electrical Safety Handbook*", New York, 1994.
- [3]. Clark. Cameron G, "*The Basic of Arc Flash*", GE Industrial Solutions, 2016.
- [4]. Drs. F.J.Tasiam, M.Pd, "*Proteksi Sistem Tegangan Listrik*", Yogyakarta, 2017.
- [5]. Flirdaus, Reza Wahyu, "*STUDY ANALISIS ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. SC JOHNSON AND SON INDONESIA, PULOGADUNG – JAKARTA*", Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, 2018.
- [6]. Griad-Leroux, Simon, P.Eng., "*The Impact of the New IEEE 1584-2018 Standard on Arc Flash Studies*", CIMA+,2019.
- [7]. IEEE Std. 1584-2018., "*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2018.
- [8]. IEEE Std. 1584-2002., "*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002.
- [9]. IEEE Standards Association, "*Arc Flash Phenomena*", 2019.
- [10]. Nahari, Moch Andry, "*Evaluasi Proteksi Pada Sistem Kelistrikan di PT. Industri Gula Glenmore*", Surabaya, 2018.

[11]. NFPA 70E, “Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2015 Edition”, The National Fire Protection, Inc., USA, 2015..

[12]. Putra, Rachmad Kusuma,” *STUDI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARC FLASH MENGGUNAKAN METODE PERHITUNGAN MODIFIKASI DI PT. SEMEN INDONESIA*”, Surabaya, 2016.

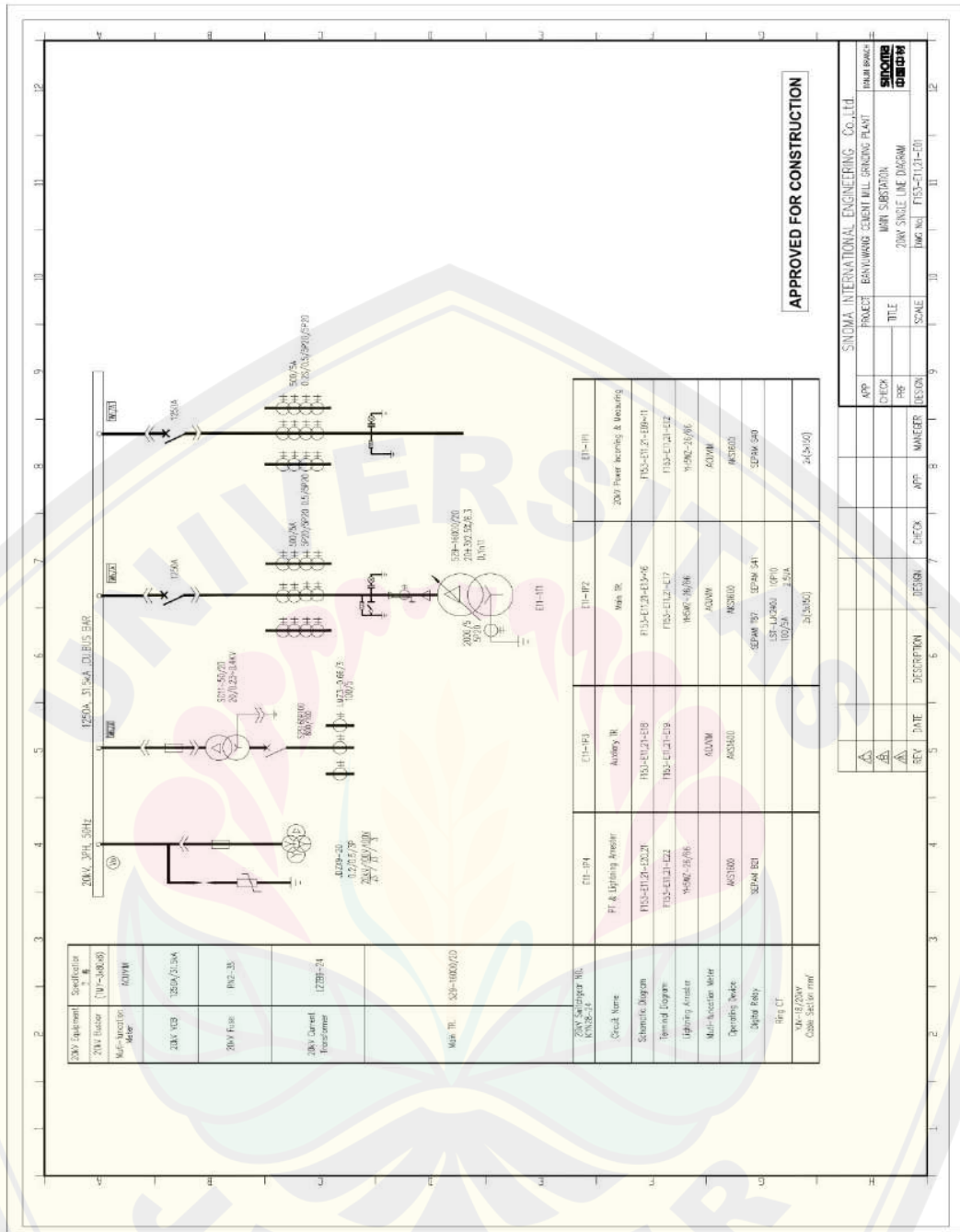
[13]. Rosyadi, Muhammad Ilham, “*Analisis Koordinasi Proteksi dengan Mempertimbangkan Arc Flash pada PT. Vico Indonesia, Kalimantan Timur*”, Surabaya, 2017.

[14]. Sugiharto, Juliansyah Kennedy, dan Syamsir Abduh, “*ANALISIS ARC FLASH 6,3 KV PT HOLCIM INDONESIA TBK. BOGOR, JAWA BARAT*”, Universitas Trisakti, Jakarta, 2018.

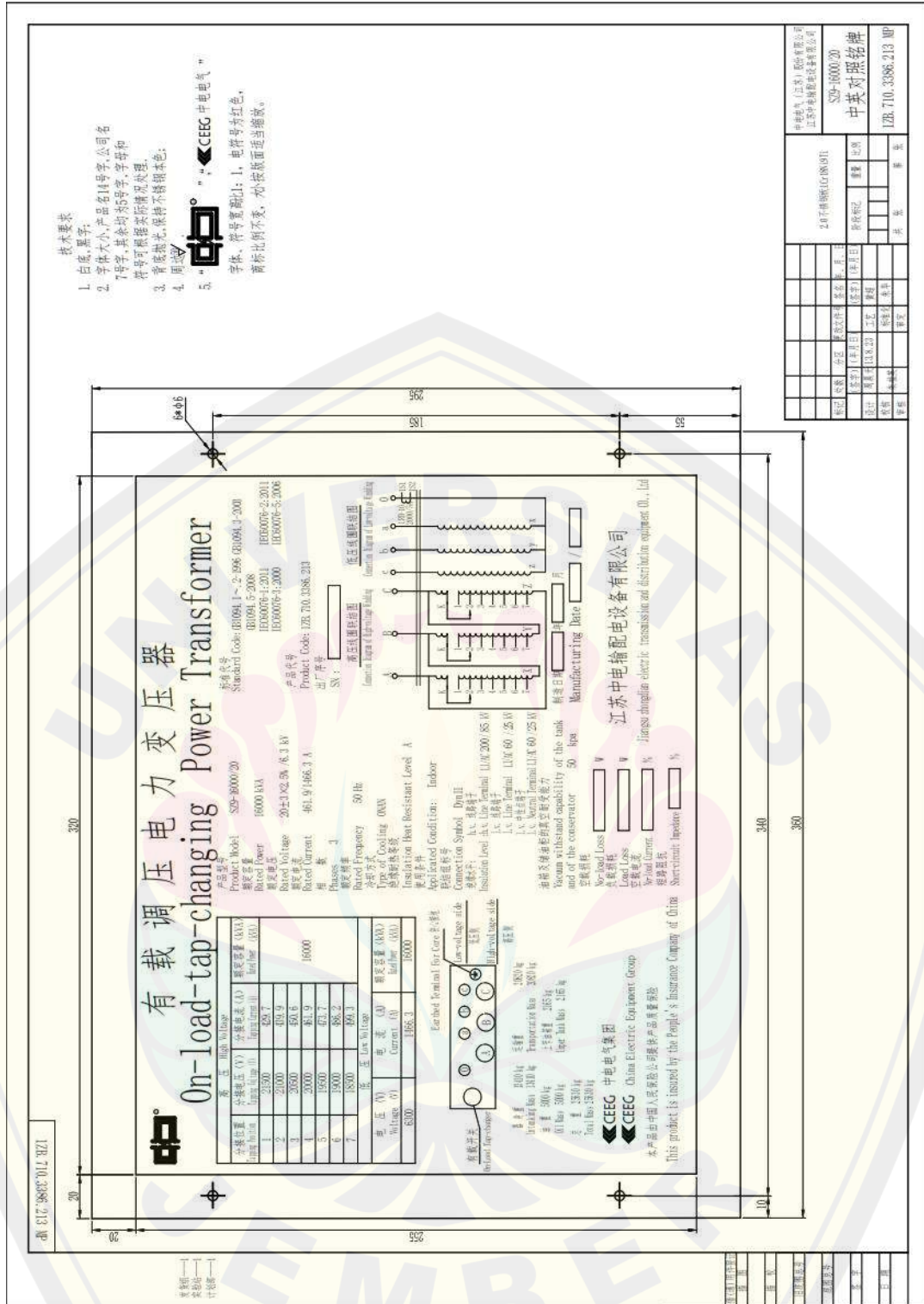
[15]. Syahputra, Roni, “*ANALISA ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN FEEDER 6.6KV SWITCHGEAR 01-B-1 SS#1B S.GERONG DI PT. PERTAMINA RU-III PLAJU*”, Universitas Tridianti, Palembang, 2020.

[16]. Widihapsari, Alfida, “*Analisis Arc Flash dengan Metode Kurva Batasan Energi dan Arc Blast pada Low Voltage Main Distribution Panel Perusahaan Fabrikasi Baja*”, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 2019.

LAMPIRAN



Gambar Single Line Diagram 20 kV PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi



Gambar Data Main Trafo PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi

浙江
未祥
设计
制造
安装
调试
维护
检修
改造
拆除
回收

电力变压器

EC 6006-1 IEC 60076-1
EC 60076-2 IEC 60076-3
IEC 714 IEC 6006-2

标准代号
产品代号
出厂序号

分册	重量 (kg)	重量 (kg)	重量 (kg)	重量 (kg)
1	661.5	661.5	661.5	661.5
2	661.5	661.5	661.5	661.5
3	661.5	661.5	661.5	661.5
4	661.5	661.5	661.5	661.5
5	661.5	661.5	661.5	661.5

出厂序号
制造日期
制造地点
制造厂名

江苏中电电气集团有限公司

Electric Power Transformer

Standard Code: EC 6006-1 IEC 60076-1
EC 60076-2 IEC 60076-3
Product Code: IEC 714
S/N of transformer: 2008.415

Part No.	Part Name	Part Name	Part Name	Part Name
1	661.5	661.5	661.5	661.5
2	661.5	661.5	661.5	661.5
3	661.5	661.5	661.5	661.5
4	661.5	661.5	661.5	661.5
5	661.5	661.5	661.5	661.5

额定容量: 1000 kVA
额定电压: 10 kV / 10.5 kV
额定频率: 50 Hz
冷却方式: ONAN
绝缘等级: A
使用条件: 户外
海拔高度: 1000 m
环境温度: 40°C
相对湿度: 95%
运输重量: 1000 kg
运输尺寸: 1000 mm x 1000 mm x 1000 mm

CEEG 中电电气集团
China Electric Equipment Group
Jiangsu China Electric Transmission & Distribution Equipment Co., Ltd.

Made in P.R. China

Vertical Bearing Capacity of Oil Tank: 1000 kg
Manufacturing Date: 2008.415

浙江
未祥
设计
制造
安装
调试
维护
检修
改造
拆除
回收

214
260
242
9
9

70
120
4 × φ 6

222
232
3

浙江
未祥
设计
制造
安装
调试
维护
检修
改造
拆除
回收

浙江
未祥
设计
制造
安装
调试
维护
检修
改造
拆除
回收

浙江
未祥
设计
制造
安装
调试
维护
检修
改造
拆除
回收

Gambar Data Cement Packing Trafo PT. Indocement Tunggal Prakarsa Banyuwangi

