



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA BAHAYA *ARC FLASH* MENGGUNAKAN KURVA
BATASAN ENERGI PADA PT. PUPUK SRIWIDJAJA**

**Rona Afdhola Haqi
NRP 071113100130**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**ANALISA BAHAYA *ARC FLASH* MENGGUNAKAN KURVA
BATASAN ENERGI PADA PT. PUPUK SRIWIDJAJA**

Rona Afdhola Haqi
NRP 07111340000130

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***ARC FLASH HAZARD ANALYSIS USING ENERGY BOUNDARY
CURVES IN PT. PUPUK SRIWIDJAJA***

Rona Afdhola Haqi
NRP 07111340000130

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Analisa Bahaya Arc Flash Menggunakan Kuva Batasan Energi Pada PT. Pupuk Sriwidjaja”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

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

Surabaya, Juli 2018

Rona Afdhola Haqi
Nrp. 07111340000130

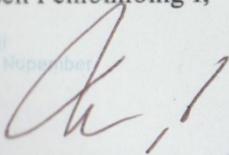
**ANALISA BAHAYA ARC FLASH MENGGUNAKAN KURVA
BATASAN ENERGI PADA PT. PUPUK SRIWIDJAJA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

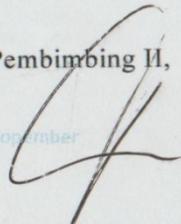
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II,



Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP. 196608111992031004



**SURABAYA
JULI, 2018**

Analisa Bahaya *Arc Flash* Menggunakan Kurva Batasan Energi Pada PT. Pupuk Sriwidjaja

Nama : Rona Afdhola Haqi
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing 2 : Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRAK

Analisa terhadap busur api (*arc flash*) dilakukan untuk menentukan kategori *Personal Protective Equipment* (PPE) sebagai pelindung pekerja pada area yang berpotensi terjadi busur api (*arc flash*). Metode yang sering digunakan untuk analisa busur api (*arc flash*) menggunakan standar IEEE 1584-2002. Namun pada metode tersebut memerlukan banyak parameter yang digunakan untuk menentukan kategori PPE. Sehingga apabila sistem kelistrikan tersebut cukup besar serta memiliki bus yang banyak akan memakan banyak waktu untuk menentukan kategori PPE setiap bus. Dengan metode kurva batasan energi yang mengacu pada standar IEEE 1584-2002 untuk menentukan secara cepat dan tepat dalam penentuan kategori PPE serta pemilihan *Overcurrent Protective Device* (OCPD). Dimana hanya dengan kurva karakteristik pengaman bus yang dianalisa, akan dipotong dengan kurva batasan energi. Studi aktual mengenai analisa bahaya busur api (*arc flash*) dilakukan pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Pada hasil akhir dari analisa busur api (*arc flash*) dengan menggunakan metode kurva batasan energi didapatkan proses penentuan kategori PPE yang lebih mudah daripada standar IEEE 1584-2002, namun menimbulkan perbedaan jarak aman.

Kata Kunci : busur api, kurva batasan energi, *personal protective equipment*.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

Arc Flash Hazard Analysis Using Energy Boundary Curves In PT. Pupuk Sriwidjaja

Name of Student : Rona Afdhola Haqi
Advisor 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor 2 : Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRACT

Arc flash analysis do performed to determine of Personal Protective Equipment (PPE) category as a protective worker in a potentially arc flash area. Frequently used method for arc flash analysis using std. IEEE 1584-2002 . But on those method needs some parameters that has to be analyzed to perform the suitable PPE category. So, if the electrical system is large and has a lot of buses will take a lot of time to determine of each bus PPE category. By arc flash hazard analysis using energy boundary curves referring to IEEE 1584-2002 standards to determine quickly and precisely in the determination of PPE category and the selection of Overcurrent Protective Device (OCPD). Where only using relay time-current characteristic on the bus that being analysis, it will be intersected with the energy boundary curves. Actual studies regarding to arc-flash analysis conducted in PT. Pupuk Sriwidjaja. At the end of result, arc-flash hazard analysis using energy boundary curves showed a reduction in the amount of data-collection requirements and analysis time required than using IEEE std. 1584-2002, but it gives a different result in flash protection boundary.

Keywords: arc flash, energy boundary curves, personal protective equipment (PPE).

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam usaha dan kerja sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Analisa Bahaya *Arc Flash* Menggunakan Kurva Batasan Energi Pada PT. Pupuk Sriwidjaja”

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi di Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Program Studi S1 Teknik Elektro, FTE – ITS. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan anugerah kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Ir. Arif Musthofa, MT. selaku dosen pembimbing, atas segala kesabaran dan kesediaannya meluangkan waktu untuk membimbing
3. Ayah dan Ibu selaku kedua orang tua penulis atas do'a, semangat, kasih sayang, dan kepercayaan yang diberikan selama ini, serta dukungan baik moril maupun materiil.
4. Teman-teman Naga Sobung yang telah memberikan support besar dan Dwi Monica N. yang setia menemani penulisan Tugas Akhir hingga selesai serta Sativa yang tulus memberikan support untuk melancarkan Tugas Akhir hingga selesai.

Saya sebagai penulis meminta maaf apabila dalam pembuatan maupun penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan. Dengan segala kerendahan hati, semoga dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, dapat bermanfaat bagi kita semua sebagai pengembangan ilmu pengetahuan umumnya dimasa mendatang.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| JUDUL | i |
| PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| BAB I. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 1 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| 1.5 Metodologi | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| 1.7 Relevansi atau manfaat | 4 |
| BAB II. FENOMENA ARC FLASH PADA SISTEM TENAGA LISTRIK | |
| 2.1 Busur Api (<i>Arc Flash</i>) | 5 |
| 2.2 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standar IEEE 1584 - 2002 | 6 |
| 2.3 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Kurva Batasan Energi | 9 |
| 2.4 Metode Lee (<i>Lee Method</i>) | 11 |
| 2.5 Jarak Aman Perlindungan (<i>Flash Protection Boundary</i>) | 12 |
| 2.6 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api (<i>Arc Flash</i>) Terhadap PPE (<i>Personal Protection Equipment</i>) | 15 |
| BAB III. SISTEM KELISTRIKAN PT.PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG | |
| 3.1 Seputar PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 17 |
| 3.2 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 18 |
| 3.3 Kapasitas Pembangkit PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang ... | 20 |
| 3.4 Sistem Distribusi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 20 |
| 3.5 Beban pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 22 |

| | |
|---|-----|
| BAB IV. SIMULASI DAN ANALISA | |
| 4.1 Analisa Busur Api (<i>Arc Flash</i>)..... | 25 |
| 4.2 Pemilihan Tipikal Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang..... | 25 |
| 4.3 Perhitungan Busur Api Menggunakan Standar IEEE 1584 2002..... | 28 |
| 4.4 Perhitungan Busur Api Menggunakan Metode Kurva Batasan Energi | 32 |
| 4.4.1 Penentuan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1 – 15 kV | 33 |
| 4.4.2 Penentuan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan Lebih Dari 15 kV | 35 |
| 4.4.3 Perhitungan Jarak Aman Batas Perlindungan..... | 37 |
| 4.4.4 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus SYN BUS NEW | 39 |
| 4.4.5 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus SYN BUS OLD..... | 40 |
| 4.4.6 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus STG_1 | 42 |
| 4.4.7 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus SG – 21..... | 43 |
| 4.4.8 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus MCC#UOP1 | 45 |
| 4.5 Perbandingan Penentuan Kategori PPE Antara Standar IEEE 1584-2002 Dengan Metode Kurva Batas Energi | 46 |
| 4.6 <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE) yang Digunakan | 47 |
| BAB V. PENUTUP | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 51 |
| 5.2 Saran..... | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA | 53 |
| BIODATA PENULIS | C-1 |

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Perbedaan <i>Bolted Fault</i> dan <i>Arc Fault</i> | 5 |
| Gambar 2.2 | <i>Flash Protection Boundaries</i> | 12 |
| Gambar 2.3 | <i>Personal Protective Equipment (PPE)</i> (a)Kategori 0; (b)Kategori 1; (c)Kategori 2; (d)Kategori 3; (e)Kategori 4..... | 16 |
| Gambar 3.1 | Sistem Kelistrikan Lama PT. Pupuk Sriwidjaja..... | 18 |
| Gambar 3.2 | Sistem Kelistrikan Penambahan Pembangkit STG-1. | 19 |
| Gambar 3.3 | Sistem Kelistrikan Baru PT. Pupuk Sriwidjaja..... | 20 |
| Gambar 4.1 | Tipikal 1 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 25 |
| Gambar 4.2 | Tipikal 2 PT .Pupuk Sriwidjaja Palembang | 26 |
| Gambar 4.3 | Tipikal 3 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 26 |
| Gambar 4.4 | Tipikal 4 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang..... | 27 |
| Gambar 4.5 | Tipikal 5 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang..... | 28 |
| Gambar 4.6 | Kurva Batas Energi Pada Level Tegangan 1-15 kV .. | 35 |
| Gambar 4.7 | Kurva Batas Energi Pada Level Tegangan >15 kV ... | 37 |
| Gambar 4.8 | Tipikal 1 SYN BUS NEW Dengan 33 kV..... | 39 |
| Gambar 4.9 | Kurva Rele E2 Dengan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan > 15 kV | 39 |
| Gambar 4.10 | Tipikal 2 SYN BUS OLD Dengan 13,8 kV..... | 40 |
| Gambar 4.11 | Kurva Rele E1 Dengan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1 - 15kV | 41 |
| Gambar 4.12 | Tipikal 3 STG_1 Dengan 13,8 kV | 42 |
| Gambar 4.13 | Kurva Rele 10 Dengan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1 - 15kV | 42 |
| Gambar 4.14 | Tipikal 4 SG-21 Dengan 13,8 kV | 43 |
| Gambar 4.15 | Kurva Rele 18 Dengan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1 - 15kV | 44 |
| Gambar 4.16 | Tipikal 5 MCC#UOP1 Dengan 13,8 kV..... | 45 |
| Gambar 4.17 | Kurva Rele BKR P2-5 Dengan Kurva Batas Energi Pada Level Tegangan 1 - 15kV..... | 45 |

————— *Halaman ini sengaja dikosongkan* —————

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Tabel Data Jarak Celah Bus (Jarak Bus) | 8 |
| Tabel 2.2 | Tabel Data Parameter-Parameter yang Dibutuhkan Untuk Perhitungan Insiden <i>Energy</i> | 9 |
| Tabel 2.3 | Tabel Kategori <i>Personal Protective Equipment</i> | 11 |
| Tabel 2.4 | <i>Personal Protective Equipment</i> | 15 |
| Tabel 3.1 | Tabel Kapasitas Pembangkit dan Pembebanan Awal.... | 20 |
| Tabel 3.2 | Data Transformator Pada PT. Pusri Palembang..... | 21 |
| Tabel 3.3 | Data <i>Tie Transformator</i> Pada PT. Pupuk Sriwidjaja | 22 |
| Tabel 3.4 | Data Beban Motor Pada PT. Pupuk Sriwidjaja | 22 |
| Tabel 3.5 | Data Beban <i>Lump</i> Pada PT. Pupuk Sriwidjaja | 23 |
| Tabel 4.1 | Data arus gangguan bolted (Isc bolted) dan FCT | 29 |
| Tabel 4.2 | Hasil simulasi busur api menggunakan standart IEEE 1584-2002 | 29 |
| Tabel 4.3 | Perbandingan Penentuan Kategori PPE dan Jarak Aman Antara Standar IEEE 1584-2002 Dengan Metode Kurva Batasan | 46 |
| Tabel 4.4 | Tabel Penentuan Pemakaian PPE Bus Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang | 47 |

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang merupakan pelopor perusahaan yang bergerak dibidang industri pupuk dan kimia. Memiliki empat pabrik serta satu pabrik baru sehingga membutuhkan sistem kelistrikan yang stabil dan apabila terjadi gangguan pada kelistrikan hingga terjadinya busur api (*arc flash*) para pekerja mendapatkan keamanan yang terjamin agar produksi pupuk dan kimia tidak terganggu. Maka dari itu, sistem keamanan serta keselamatan pekerja perlu diperhatikan oleh perusahaan apabila terjadi gangguan teknis maupun non-teknis yang dapat menimbulkan percikan api dapat dihindari.

Adanya integrasi antara sistem kelistrikan baru dan sistem kelistrikan lama dalam ekspor impor suplai daya, sehingga dibutuhkan evaluasi lebih dalam agar terhindar terhadap gangguan-gangguan yang tidak diinginkan. Salah satu gangguan yang dapat mengancam keselamatan pekerja pabrik hingga terbakarnya pabrik yaitu akibat busur api (*arc flash*). *Arc flash* merupakan pelepasan energi yang disebabkan arus gangguan atau *arching fault* ataupun *bolted fault*. Arus gangguan atau *arching fault* adalah aliran arus listrik yang mengalir pada saluran yang seharusnya tidak teraliri arus. Sedangkan *bolted fault* adalah arus gangguan yang menggunakan perantara konduktor sebagai jalurnya. Berbagai macam penyebab terjadinya *arching fault* mulai dari keagalan mekanik hingga kesalahan pada pekerja dapat menjadi penyebab terjadinya *arching fault*. Sehingga PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang mempunyai kewajiban untuk memberikan penilaian bahaya terhadap busur api (*arc flash*) guna menentukan tingkat *Personal Protective Equipment* (PPE) sebagai kebutuhan perusahaan untuk melindungi para perkerja secara memadai. Metode yang sering digunakan untuk analisa busur api (*arc flash*) menggunakan standar IEEE 1584-2002.

Namun, pada metode tersebut memerlukan banyak parameter yang digunakan untuk menentukan kategori PPE. Sehingga apabila sistem kelistrikan tersebut cukup besar serta memiliki bus yang banyak akan memakan banyak waktu untuk menentukan kategori PPE setiap bus. Dengan metode kurva batasan energi yang mengacu pada standar IEEE

1584-2002 untuk menentukan secara cepat dan tepat dalam penentuan kategori PPE serta pemilihan *Overcurrent Protective Device* (OCPD).

Sehingga data yang diperlukan untuk menentukan kategori PPE lebih sedikit serta waktu lebih singkat. Maka dari itu, tugas akhir ini berfokus pada analisa bahaya *arc flash* menggunakan metode kurva batasan energi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Diharapkan dengan pembuatan tugas akhir ini dapat berguna bagi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam menentukan kategori *Personal Protective Equipment* (PPE).

1.2 Perumusan Masalah

Secara khusus, topik permasalahan yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini adalah melakukan simulasi untuk mengetahui nilai-nilai dari insiden energi busur api (*arc flash*) resetting dan memperhitungkan menggunakan metode kurva batasan energi sesuai standart IEEE 1584-2002

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisa sistem kelistrikan dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
2. Metode yang digunakan yaitu metode kurva batasan energi
3. Level tegangan bus yang dianalisa hanya pada level tegangan menengah

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini diharapkan sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan, simulasi, dan analisa pada sistem kerja berdasarkan permasalahan bahaya *arc flash* PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
2. Mendapatkan nilai dari insiden energi *arc flash*, *arching current*, *flash protection boundary* sehingga nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk dasar penentuan pemakaian *Personal Protective Equipment* (PPE).

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari :

1. Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir, seperti studi tentang analisa hubung singkat, koordinasi proteksi, analisa perhitungan busur api dan jarak aman pekerja disetiap level energi *arc flash* serta metode kurva batasan energi.

2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan mengenai sistem kelistrikan pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, berupa *Single Line Diagram* (SLD) maupun spesifikasi peralatan lainnya seperti generator, kabel, motor, transformer, serta kapasitas busbar pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

3. Pemodelan dan Simulasi

Memodelkan sistem kelistrikan pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang serta melakukan simulasi menggunakan bantuan *software* ETAP 12.6. Pemodelan dan simulasi ini dilakukan dengan tujuan menganalisis hubung singkat serta mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan untuk menentukan kategori PPE.

4. Analisa Simulasi

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan, maka menentukan koordinasi proteksi yang baru. Setelah itu menentukan kategori *Personal Protection Equipment* (PPE) menggunakan metode kurva batasan energi.

5. Penyusunan Laporan

Melakukan penyusunan laporan akhir terkait hasil proses simulasi serta analisa tugas akhir yang telah dilakukan. Proses serta hasil dari tugas akhir yang diusulkan selanjutnya dalam bentuk laporan tertulis.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab yaitu bab Pendahuluan, Fenomena *Arc Flash*, Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, Hasil Simulasi dan Analisa serta bab terakhir yaitu Penutup.

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dipaparkan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan laporan tugas akhir dan relevansi.

BAB II : FENOMENA ARC FLASH PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Pada bab ini dipaparkan mengenai teori-teori penunjang yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Seperti energi busur api sesuai standar IEEE 1584 – 2002, metode perhitungan *arc flash* menggunakan standar IEEE 1584 – 2002 serta menggunakan metode kurva batas energi.

BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Pada bab ini dipaparkan mengenai sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, meliputi data dan spesifikasi peralatan-peralatan yang digunakan, konfigurasi sistem kelistrikan, serta beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik.

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini dipaparkan mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini juga dituangkan analisis perbandingan perhitungan energi busur api berdasarkan standar IEEE 1584-2002 dengan kerva batasan energi. Kemudian menghitung flash protection boundary untuk mendapatkan jarak batas seseorang mengenakan pelindung pakaian.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dari tugas akhir.

1.7 Relevansi atau Manfaat

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

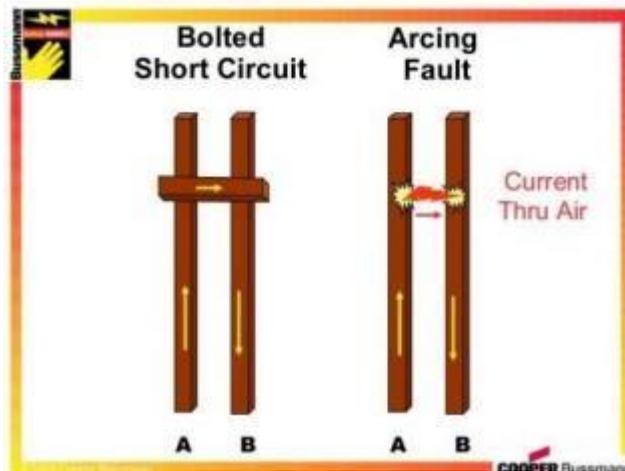
1. Dapat digunakan sebagai masukan bagi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam menentukan kategori *Personal Protective Equipment* (PPE).
2. Dapat menjadi referensi mengenai analisa bahaya *arc flash* menggunakan metode kurva batasan energi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan tugas akhir denan permasalahan yang serupa.

BAB II

FENOMENA *ARC FLASH* PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Busur Api (*Arc Flash*)

Definisi busur api (*arc flash*) adalah pelepasan energi panas yang sangat tinggi sehingga mengakibatkan *arc fault* maupun *bolted fault*. *Arc fault* adalah arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor satu dengan konduktor lainnya atau konduktor dengan tanah [6], sedangkan *bolted fault* adalah arus gangguan yang mengalir melalui konduktor sebagai jalur arus gangguannya. Gambar (2.1) menunjukkan perbedaan *arc fault* dengan *bolted fault* [4].



Gambar 2.1 Perbedaan *Bolted Fault* dan *Arc Fault*

Busur api (*arc flash*) yang terjadi, dapat menghasilkan temperatur udara disekitarnya menjadi 35000°F [7]. Terjadinya busur api (*arc flash*) ini juga diikuti oleh kilatan cahaya yang dapat mengganggu penglihatan dan bahkan juga dapat merusak organ mata seseorang. Selain itu, busur api (*arc flash*) juga dapat menghasilkan ledakan yang sangat keras serta dapat menyebabkan luka bakar bagi pekerja yang terpapar didaerah kejadian [8].

Beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya peristiwa busur api (*arc flash*) antara lain :

- Debu, pengamatan, binatang.
- *Spark discharge* dari sentuhan atau peralatan yang terjatuh
- Kegagalan isolasi dari peralatan
- Kegagalan kerja peralatan pengamanan

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya energi *arc flash* yang dapat terjadi diantaranya yaitu level tegangan, jarak antar konduktor, serta waktu kerja rele untuk mengisolasi gangguan yang terjadi [9]. Untuk mengurangi besarnya energi dari busur api (*arc flash*) menurut standart NFPA 70E ada beberapa cara dalam hal itu yaitu mengurangi arus *short circuit* , mengatur ukuran trafo, memperbesar impedansi trafo, dan juga memperbesar resistansi *ground* pada sistem tegangan rendah. Selain itu, besar energi busur api (*arc flash*) yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengamanan akibat gangguan arus hubung singkat. Semakin cepat rele pengamanan tersebut bekerja maka semakin kecil busur api (*arc flash*) yang dihasilkan dan sebaliknya. Maka dari itu, studi untuk mengetahui besar energi busur api (*arc flash*) yang dihasilkan pada masing-masing *switchgear* perlu dilakukan agar memberikan peringatan secara dini kepada para pekerja maupun orang yang berada disekitarnya akan dampak yang sangat berbahaya.

2.2 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standar IEEE 1584 – 2002

Dalam mencari nilai dari energi busur api, hal pertama yang harus diperhitungkan adalah mencari dulu nilai dari arus *arc flash*. Persamaan untuk menghitung arus *arc flash* terbagi menjadi 2 bagian. Yang pertama untuk level tegangan kurang dari 1kV dan yang kedua unruk level tegangan 1kV – 15kV.

Persamaan arus *arc flash* untuk level tegangan kurang dari 1kV dapat dilihat pada persamaan (2.1).

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

Sementara untuk level tegangan 1kV – 15kV, persamaan arus *arcing fault* dapat dilihat pada persamaan (2.2).

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

Persamaan dari I_a sendiri adalah :

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

Dengan keterangan :

- \lg = \log_{10}
- I_a = arus arcing (kA)
- K = konstanta untuk konfigurasi terbuka = -0,153 dan konstanta untuk konfigurasi box = -0,097
- $\lg I_{bf}$ = bolted fault current pada gangguan tiga fase (symmetrical RMS) (kA)
- V = tegangan sistem (kV)
- G = jarak celah antar konduktor (mm)

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai *arcing current* , menghitung nilai *incident energy*. Dalam perhitungan besar energi normal, menggunakan referensi waktu *arching* dengan durasi 0,2 detik dan jarak dari titik *arching* ke manusia sebesar 610 mm. Persamaan *incident energy* dapat dilihat pada persamaan (2.4).

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

Dengan keterangan :

- E_n = *incident energi normalized* (J/cm²)
- $K1$ = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*)
-0,555 untuk konfigurasi *box* (*enclosed equipment*)
- $K2$ = 0 untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded*
-0,113 untuk sistem *grounded*
- G = jarak/celah antar konduktor (mm)

Untuk mendapatkan nilai G (gap atau jarak antar konduktor) dapat dilihat pada tabel (2.1). Besarnya jarak konduktor berdasarkan dari standar yang sudah ada, dengan referensi dari IEEE 1584-2002.

Tabel 2.1 Tabel Data Jarak Celah *Bus* (Jarak Bus) [1]

| Kelas Peralatan | Jarak celah antar konduktor (mm) |
|---|---|
| <i>6-15 kV Switchgear</i> | 153 |
| <i>5 kV Switchgear</i> | 102 |
| <i>Low voltages switchgear</i> | 32 |
| <i>Low voltages MCCs and panelboards</i> | 25 |
| <i>Cable</i> | 13 |
| <i>Other</i> | <i>Not required</i> |

Setelah itu besar energi E_n dapat diketahui dengan persamaan (2.5)

$$E_n = 10^{\lg E_n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Setelah nilai E_n diketahui, untuk menghitung besar insiden energi E digunakan persamaan (2.6)

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

Dengan persamaan :

- E = insiden energi (J/cm²)
- 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 kerja (mm)
- X = jarak exponent

Pada level tegangan diatas 15 kV, jarak antar konduktor diluar batasan dari model, sehingga menggunakan Metode Lee untuk menentukan energi insidenya.

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan persamaan :

- E = insiden energi (J/cm²)
- V = tegangan sistem (kV)
- I_{bf} = *bolted fault current* (kA)
- t = waktu *arcing* (detik)
- D = jarak kerja (mm)

Untuk menghitung level insiden energi busur api (E), namun tidak mengetahui nilai pasti untuk jarak celah konduktor, jarak eksponen (x), maupun jarak kerja (D) dapat menggunakan parameter pada tabel (2.2).

Tabel 2.2 Tabel Data Parameter-Parameter yang Dibutuhkan Untuk Perhitungan Insiden Energi [1].

| Level Tegangan (kV) | Jenis Peralatan | Jarak celah antar konduktor (mm) | Jarak kerja (mm) | Jarak kerja (mm) |
|---------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
| 0,208 – 1 | <i>Open air</i> | 10-40 | 2 | - |
| | <i>Switchgear</i> | 32 | 1,473 | 455 |
| | <i>MCC and panels</i> | 25 | 1,641 | 455 |
| | <i>Cable</i> | 13 | 2 | 455 |
| > 1 – 5 | <i>Open air</i> | 102 | 2 | - |
| | <i>Switchgear</i> | 13-102 | 0,973 | 610 |
| | <i>Cable</i> | 13 | 2 | 455 |
| >5 – 15 | <i>Open air</i> | 13-153 | 2 | - |
| | <i>Switchgear</i> | 153 | 0,973 | 910 |
| | <i>Cable</i> | 13 | 2 | 455 |

2.3 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Kurva Batas Energi.

Di dalam standar IEEE 1584 pengertian insiden energi didefinisikan sebagai jumlah energi yang besar di permukaan pada jarak

tertentu dari sumber, yang dihasilkan selama terjadinya busur listrik. Persamaan untuk menghitung busur api (*arc flash*) dengan kurva batas energi dibedakan menjadi 2, yaitu pada tegangan 1kV sampai 15kV dan pada tegangan lebih dari 15kV. Pada kedua persamaan tersebut nilai dari E_n dan t akan bergantung terhadap besarnya arus gangguan pada lokasi yang dipertimbangkan dan karakteristik dari *Ovecurrent Protective Device* (OCPD) pada bagian *upstream*.

Persamaan busur api (*arc flash*) pada level tegangan antara 1kV samapi 15kV sebagai berikut:

$$t = \frac{E}{A_1 E_n} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana pada A_1 yaitu konstanta, pada persamaan (2.8)

$$A_1 = 4,184 \frac{C_f}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

Pada IEEE 1584 telah membahas tentang insiden energi normalisasi (E_n) dengan menggunakan persamaan (2.4) dengan keterangan:

- E_n = *incident energi normalized* (J/cm²)
- K1 = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*)
-0,555 untuk konfigurasi *box* (*enclosed equipment*)
- K2 = 0 untuk sistem *ungrounded* and *high-resistance grounded*
-0,113 untuk sistem *grounded*
- I_a = arus gangguan *arching* (kA)
- G = jarak/celah antar konduktor (mm)

Persamaan kurva batas energi dapat diperoleh dengan menggabungkan persamaan (2.7) dengan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$t = \frac{E}{A_1 A_2 I_a^{1,081}} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Persamaan untuk nilai konstanta A_2 yaitu:

$$A_2 = K_1 + K_2 + 0,0011 G \dots\dots\dots (2.10)$$

$$A'_2 = 10^{A_2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Setelan mendapatkan definisi untuk konstanta berdasarkan pada peralatan dan konfigurasi sistem, untuk nilai insiden energi (E) dapat dipilih berdasarkan pada tabel (2.3) kategori 1 sampai 4 PPE sesuai NFPA 70E-2004.

Tabel 2.3 Tabel Kategori *Personal Protective Equipment*. [1].

| Kategori (Bahaya) | PPE Minimum Arc Rate (cal/cm ²) | PPE Minimum Arc Rate (J/cm ²) |
|-------------------|---|---|
| 0 | N/A ^b | N/A ^b |
| 1 | 4 | 16.74 |
| 2 | 8 | 33.47 |
| 3 | 25 | 104.6 |
| 4 | 40 | 167.36 |

Untuk persamaan (2.9) dapat digunakan untuk menentukan hubungan arus dengan waktu yang sesuai dengan tingkat insiden energi yang telah dipilih. Pada kurva yang menghubungkan poin arus-waktu telah ditunjukkan tingkat insiden energi yang diberikan muncul linear pada grafik log-log. Persamaan (2.9) hanya dapat diterapkan pada lokasi dalam kisaran IEEE 1584 dengan range penerapan (208V – 15kV, tiga fasa, dengan tingkat arus *bolted fault* 700A – 106kA).

2.4 Metode Lee (*Lee Method*)

Metode Lee dapat digunakan sebagai acuan untuk gap lokasi yang berada diluar kisaran IEEE 1584 dengan nilai tegangan diatas 15kV serta dapat diterapkan untuk menentukan nilai kurva batas energi. Sehingga persamaan untuk insiden energi dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan persamaan :

- E = *incident* energi (J/cm²)
- V = tegangan sistem (kV)
- I_{bf} = nilai arus *bolted fault* (kA)
- t = waktu *arcing* (detik)
- D = jarak kerja (mm)

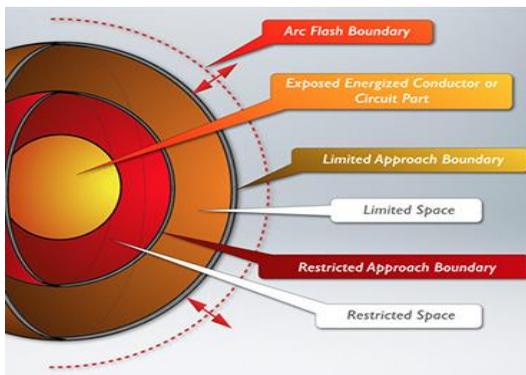
Dari persamaan (2.12) didapatkan persamaan kurva batas energi sebagai berikut :

$$t = \frac{E D^2}{2,142 \times 10^6 V I_{bf}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Berbeda dengan persamaan (2.9), persamaan (2.13) didasari oleh nilai arus *bolted fault* namun arus gangguan *arching* masih digunakan untuk menentukan durasi waktu arus *arching*.

2.5 Jarak Aman Pelindung (*Flash Protection Boundary*)

Jarak aman pelindung atau biasa disebut dengan *flash protection boundaries* dalam standar NFPA 70E-2004 merupakan sebuah pendekatan mengenai batas dimana seseorang akan menerima luka bakar tingkat dua jika seseorang terkena busur api. Terdapat beberapa zona dalam insiden busur api. Bila di ibaratkan dalam bentuk bola yang berlapis, lapisan bola paling dalam merupakan zona yang sangat berbahaya. Jika seseorang berada dalam zona paling dalam tersebut, maka ia akan terpapar busur api dan mengalami luka bakar tingkat dua. Definisi lain dari *flash protection boundaries* adalah tingkatan insiden energi dalam jumlah energi pada permukaan dan jarak tertentu dari sumber yang dihasilkan selama busur api berlangsung. Pada gambar (2.2) merupakan lapisan – lapisan dari *flash protection boundaries*.



Gambar 2.2 *Flash Protection Boundaries*

Penjelasan bagian – bagian *flash protection boundaries*, adalah :

- *Limit approach boundary*: batas pendekatan pada jarak dari bagian bertegangan di mana terdapat bahaya sengatan listrik
- *Restricted approach boundary*: batas pendekatan pada jarak dari bagian bertegangan di mana ada peningkatan risiko *shock*, karena busur listrik gerakan yang tidak disengaja dari karyawan yang bekerja di dekat bagian tersebut
- *Prohibited approach boundary*: batas pendekatan pada jarak dari peralatan langsung. Bekerja dibagian ini dianggap sama dengan membuat kontak dengan bagian bertegangan.
- *Flash protection boundary*: batas pendekatan pada jarak dari bagian terbuka di mana seseorang bisa menerima tingkat dua terbakar jika busur api terjadi.

Flash protection boundary dapat dihitung menggunakan persamaan (2.14) sesuai standar IEEE 1584-2002 [1].

$$D_B = \left[4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan Keterangan:

- D_B = batas jarak dari titik busur api (mm)
- C_f = faktor perhitungan (1.0 untuk tegangan di atas 1 kV, 1.5 untuk tegangan di bawah atau sama dengan 1 kV)
- E_n = energi insiden normal
- E_B = energi insiden dalam J/cm² pada jarak batasan
- t = waktu (detik)
- x = jarak eksponen
- I_{bf} = *bolted fault current* (kA)

E_B dapat disetting 5.0 J/cm² untuk *bare skin (no hood)* atau rating dari PPE yang diajukan (5.0 J/cm² = 1.2 cal/cm²)

Selain menggunakan standar IEEE 1584-2002, *flash protection boundary* dapat dihitung juga menggunakan metode Lee sebagai berikut:

$$D_B = \sqrt{2,412 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Persamaan untuk perhitungan nilai jarak aman perlindungan berdasarkan standar IEEE 1584 - 2002 mengacu pada besarnya nilai insiden energi normalisasi dari busur api. Namun ketika menggunakan analisa metode kurva batas energi, nilai tepat mengenai insiden energi normalisasi tidak dihitung. Bagaimanapun akhirnya untuk menghitung jarak aman pekerja tetap harus dilakukan. Perhitungannya kali ini mengacu pada besarnya nilai insiden energi pada tiap-tiap kategori. Sehingga yang diperoleh adalah nilai jarak maksimum untuk setiap masing-masing kategori.

Untuk persamaan (2.16) adalah perhitungan level insiden energi (E_{WD}) untuk sistem tegangan antara 1-15kV pada jarak kerja (D_{WD}) adalah

$$E_{WD} = 4,184 C_f En \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D_{WD}^x}\right) \dots\dots\dots (2.16)$$

Pada persamaan (2.17) yaitu perhitungan level insiden energi (E_B) pada jarak aman perlindungan (D_B)

$$E_B = 4,184 C_f En \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D_B^x}\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

Apabila persamaan (2.16) diatas dibagi dengan persamaan (2.17) maka

$$\frac{E_B}{E_{WD}} = \left(\frac{D_B}{D_{WD}}\right)^{-x} \dots\dots\dots (2.18)$$

Sehingga untuk mencari nilai jarak aman tiap kategori PPE pada level tegangan 1-15 kV yaitu

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Apabila level tegangan lebih dari 15 kV menggunakan persamaan (2.20) sebagai berikut

$$D_B = \frac{D_{WD}}{2 \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} \dots\dots\dots (2.20)$$

2.6 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api (*Arc Flash*) terhadap PPE (*Personal Protective Equipment*)

Setelah dilakukan perhitungan energi busur api pada setiap bus. Selanjutnya adalah pengelompokan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan pada setiap orang saat memasuki area tersebut (*workers*). Kategori ini berdasarkan dari besarnya energi yang dihasilkan serta dampak yang ditimbulkan bagi tubuh manusia. Hal ini sesuai dengan standart NFPA 70E – 2009. Dimana standart tersebut memberikan kategori insiden energi serta dampak yang akan diterima seseorang bila terpapar busur api. NFPA 70E – 2009 juga menyertakan peralatan yang harus diperlukan atau digunakan ketika seseorang berada pada zona yang berpotensi terjadi busur api. Pada tabel (2.4) merupakan tabel PPE sesuai dengan standart NFPA 70E – 2009 :

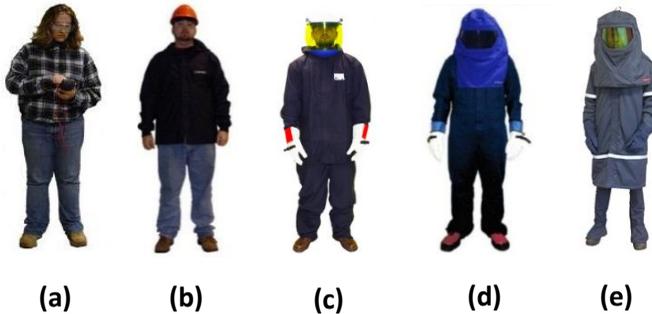
Tabel 2.4 *Personal Protective Equipment* [2].

| Kategori Resiko Bahaya | Nilai Insiden Energi (E) maksimal (Cal/cm²) | Perlengkapan Perlindungan |
|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 0 | 2 | Pelindung Mata |
| | | Pelindung Telinga |
| | | Kemeja Lengan Panjang |
| | | Celana Panjang |
| | | Pelindung Mata |
| 1 | 4 | Pelindung Mata |
| | | Pelindung Telinga |
| | | Kemeja Lengan Panjang |
| | | Celana Panjang |
| 2 | 8 | Flash Suit Hood |
| | | Pelindung Wajah dan Kepala |
| | | Pakaian Tahan Api |
| | | Pelindung Mata |
| | | Pelindung Telinga |
| 3 | 25 | Flash Suit Hood |
| | | Pelindung Wajah dan Kepala |
| | | Pakaian Tahan Api |
| | | Pelindung Mata |
| | | Celana Panjang |

Tabel 2.4 *Personal Protective Equipment* [2]. (lanjutan)

| | | |
|---|----|--|
| 4 | 40 | Up to 40 cal/cm ² Flash Suit Hood |
| | | Pelindung Wajah dan Kepala |
| | | Pakaian Tahan Api |
| | | Pelindung Mata |
| | | Pelindung Telinga |
| | | Celana Panjang |

Untuk lebih jelasnya mengenai pemakaian *Personal Protective Equipment* (PPE) tiap kategori dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Personal Protective Equipment* (PPE) (a) Kategori 0; (b) Kategori 1; (c) Kategori 2; (d) Kategori 3; (e) Kategori 4

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

3.1 Seputar PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri)

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang didirikan pada tanggal 24 Desember 1959 sebagai pelopor produsen pupuk urea di Indonesia. Selain sebagai produsen pupuk nasional, PT. Pusri Palembang juga bergerak pada bidang usaha perdagangan, pemberian jasa dan usaha lain yang berkaitan dengan industri pupuk. Pusri memulai operasional usaha dengan tujuan utama untuk melaksanakan dan menunjang kebijaksanaan dan program pemerintah di bidang ekonomi dan pembangunan nasional, khususnya di bidang industri pupuk dan kimia lainnya.

Sebagai salah satu produsen terbesar se-Indonesia, PT. Pusri Palembang mempunyai kurang lebih 6 pabrik yang tersebar di Kota Palembang.

1. Pusri I (1963 - 1986)

Pabrik pertama PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang yang menjadi simbol dari tonggak sejarah pupuk di Indonesia dibangun pada tanggal 14 Agustus 1961 dan beroperasi pada tahun 1963 dengan kapasitas produksi sebesar 100.000 ton pupuk urea dan 59.400 ton amonia per tahun. Seiring waktu, pabrik ini sudah digantikan oleh Pusri IB karena tingkat efisiensi dan usia pabrik yang sudah menurun.

2. Pusri II (1974-2017)

Pabrik tertua PT. Pusri Palembang yaitu Pusri II dibangun pada tahun 1974. Pada tahun 2017 Pabrik tersebut ditutup dikarenakan usia pabrik dan tingkat efisiensi produksi sudah menurun.

3. Pusri III

Pusri III hadir pada tanggal 21 Mei 1975 diresmikan oleh Menteri Perindustrian M Jusuf. Proses perencanaan PUSRI III telah dimulai ketika pemerintah meresmikan operasional PUSRI II pada tahun 1974 sebagai langkah antisipasi meningkatnya kebutuhan pupuk nasional. Pusri III memiliki kapasitas produksi 330.000 ton amonia dan 570.000 ton pupuk urea per tahun. Hingga saat ini Pusri III masih beroperasi.

4. Pusri IV

Pada tanggal 25 Oktober 1975 dilakukan pemancangan tiang pertama pembangunan pabrik Pusri IV yang dilakukan oleh Menteri Perindustrian M Jusuf dan pada tahun 1977 Pusri IV sudah selesai dibangun dengan kapasitas produksi 330.000 ton amonia serta 570.000 ton urea per tahun, sama seperti kapasitas produksi pabrik Pusri III

5. Pusri IB

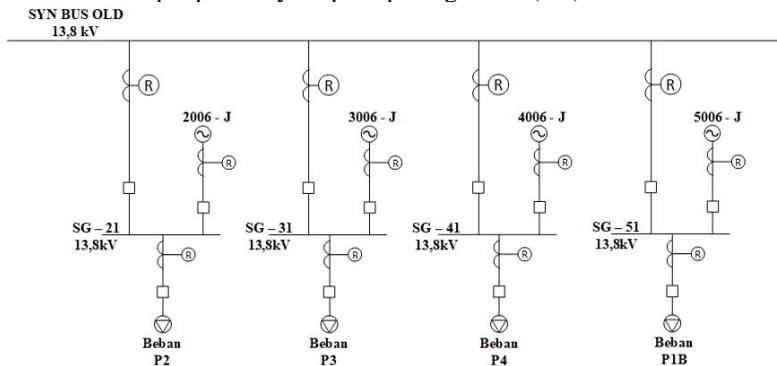
Pusri IB merupakan pengganti dari pabrik Pusri I yang telah dinon aktifkan dengan alasan usia dan tingkat efisiensi produksi. Pusri IB memiliki kapasitas produksi 446.000 ton amonia serta 570.000 ton urea per tahun. Pusri IB menerapkan teknologi proses pembuatan amonia dan urea hemat energi hingga tingkat efisiensi 30% lebih hemat daripada pabrik Pusri yang ada.

6. Pusri IIB

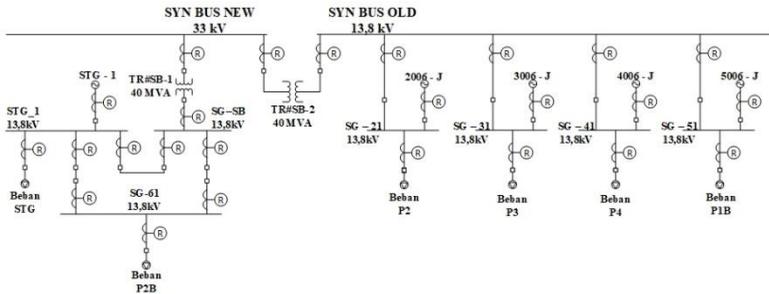
Pabrik Pusri IIB menggantikan Pabrik Pusri II yang sudah berusia kurang lebih 40 tahun. Pabrik ini memiliki kapasitas terbesar dibandingkan pabrik lainnya, dengan kapasitas produksi 660.000 ton amonia serta 907.500 ton urea per tahun. Pabrik ini menggunakan teknologi KBR Purifier Technology untuk Pabrik Amonia dan teknologi ACES 21 milik TOYO.

3.2 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Sistem kelistrikan pada PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) Palembang menggunakan tiga unit pembangkit dengan kapasitas 15 MW untuk kebutuhan empat pabriknya seperti pada gambar (3.1)



Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan Lama PT. Pupuk Sriwidjaja



Gambar 3.3 Sistem Kelistrikan Baru PT. Pupuk Sriwidjaja

3.3 Kapasitas Pembangkitan PT. Pupuk Sriwidjaja

Sebagai perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak pada bidang industri pupuk serta kimia, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki lima pembangkit yang tersebar di setiap pabrik untuk memenuhi kebutuhan suplai daya. Dapat dilihat pada tabel (3.1) kapasitas rating dari masing-masing pembangkit serta pembebanan awal.

Tabel 3.1 Tabel Kapasitas Pembangkit dan Pembebanan Awal

| No | ID | Lokasi | Tegangan (kV) | Kapasitas (MW) | Pembebanan Awal (KW) |
|----|--------|----------|---------------|----------------|----------------------|
| 1 | STG-1 | Pusri 2B | 13,8 | 38 | 26,7 |
| 2 | 2006-J | Pusri 2 | 13,8 | 15 | 11 |
| 3 | 3006-J | Pusri 3 | 13,8 | 15 | 11 |
| 4 | 4006-J | Pusri 4 | 13,8 | 15 | 11 |
| 5 | 5006-J | Pusri 1B | 13,8 | 22,6 | 14 |

3.4 Sistem Distribusi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Sistem distribusi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menggunakan sistem distribusi radial serta menggunakan *synchronous bus* untuk menghubungkan sistem kelistrikan baru dengan sistem kelistrikan lama . Sistem distribusi kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang terdiri dari 3 klasifikasi antara lain :

- Tegangan 33 kV
Untuk menghubungkan sistem kelistrikan jaringan baru dan jaringan lama PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menggunakan *synchronous bus* dengan tegangan sebesar 33 kV. Bus ini juga terhubung dengan transformator TR#SB-2 40 MV untuk membatasi ekspor impor suplai daya
- Tegangan 13,8 kV
Seluruh generator pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang membangkitkan tegangan sebesar 13,8 kV. Kemudian dari generator dihubungkan ke beberapa transformator untuk dinaikkan maupun diturunkan sesuai kebutuhan beban. Untuk motor beban besar seperti motor 101-J' pada pabrik tiga serta motor 101-J1 P4 langsung dihubungkan pada tegangan 13,8 kV.
- Tegangan 2,4 kV
Untuk tegangan 2,4 kV didapatkan dari *step down* tegangan 13,8 kV. Kemudian dari bus 2,4 kV, dihubungkan ke beberapa transformator untuk diturunkan kembali ke tegangan 0,4 kV serta dihubungkan pada beban-beban motor, *lump load*, maupun UPS.
- Tegangan 0,4 kV
Pada tegangan 0,4 kV sebagian besar digunakan untuk mensuplai lump load, UPS, maupun motor dengan beban kecil.

Sebelum mensuplai beban dibutuhkan transformator *stepdown* dalam menunjang sistem distribusi. Beberapa data transformator dapat dilihat pada tabel (3.2) sebagai berikut

Tabel 3.2 Data Transformator Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

| No. | ID Trafo | Kapasitas (MVA) | Tegangan (kV) | |
|-----|-----------|-----------------|---------------|----------|
| | | | Primer | Sekunder |
| 1 | TR Jetty | 1,6 | 13,8 | 0,4 |
| 2 | TR Jetty1 | 0,63 | 13,8 | 0,4 |
| 3 | TR#SB-1 | 40 | 33 | 13,8 |
| 4 | TR-61A | 4 | 13,8 | 2,4 |
| 5 | TR-63 | 3 | 13,8 | 0,4 |
| 6 | TR#2004 | 1,25 | 13,8 | 2,4 |

Tabel 3.2 Data Transformator Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
(lanjutan)

| | | | | |
|----|---------|-------|------|-----|
| 7 | TR#2007 | 2 | 13,8 | 2,4 |
| 8 | TR#21 | 6 | 13,8 | 2,4 |
| 9 | TRAOP2 | 0,5 | 13,8 | 0,4 |
| 10 | TR#22 | 7 | 13,8 | 2,4 |
| 11 | TRUOP1 | 2,5 | 13,8 | 2,4 |
| 12 | TR#23 | 4 | 13,8 | 2,4 |
| 13 | TR#310 | 0,225 | 13,8 | 0,4 |
| 14 | TR#2006 | 1,6 | 13,8 | 2,4 |
| 15 | TR#NPK | 2,5 | 13,8 | 0,4 |

Terdapat transformator yang menghubungkan sistem kelistrikan jaringan baru dengan jaringan lama yang disebut *tie transformator* pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Data *tie transformator* dapat dilihat pada tabel (3.3) sebagai berikut.

Tabel 3.3 Data *Tie Transformator* Pada PT. Pupuk Sriwidjaja

| No. | ID Trafo | MVA | kV | %Z | Hubungan |
|-----|----------|-----|---------|------|-------------|
| 1 | TR#SB-2 | 40 | 33/13,8 | 12,5 | Wye - Delta |

3.5 Beban Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Ada beberapa beban motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Motor yang digunakan kebanyakan menggunakan motor induksi. Pada tabel (3.4) ditunjukkan beberapa beban motor yang terdapat di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang sebagai berikut.

Tabel 3.4 Data Beban Motor Pada PT. Pupuk Sriwidjaja

| No. | ID Motor | Tegangan (kV) | Daya (MW) |
|-----|----------------|---------------|-----------|
| 1 | 2004-J | 2,3 | 0,6 |
| 2 | MOTOR 2007 UJX | 2,3 | 0,38 |
| 3 | U-GA-102B | 2,3 | 0,75 |
| 4 | 2003-J' | 2,3 | 0,26 |
| 5 | 101-J' | 13,8 | 2,2 |
| 6 | 3402-J; | 2,4 | 0,33 |
| 7 | AIR COMP UREA' | 2,4 | 0,298 |

Tabel 3.4 Data Beban Motor Pada PT. Pupuk Sriwidjaja. (lanjutan)

| | | | |
|----------|-------------|------|-------|
| 8 | 101-J1 P4 | 13,8 | 2,2 |
| 9 | U-GAM-4101A | 2,4 | 0,475 |

Untuk beberapa data beban *lump* PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat dilihat pada tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Data Beban *Lump* Pada PT. Pupuk Sriwidjaja

| No. | ID Lump | Daya (MW) | Tegangan (kV) | Static Load (%) | Motor Load (%) |
|------------|-----------------------------------|------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | <i>Lump7</i> | 1,02 | 2,4 | 20 | 80 |
| 2 | <i>Lump10</i> | 1,403 | 0,4 | 20 | 80 |
| 3 | <i>LumpSub7'</i> | 0,4 | 0,46 | 0 | 100 |
| 4 | <i>Lump 22'</i> | 4,28 | 2,4 | 0 | 100 |
| 5 | <i>Lump 35&35A</i> | 0,649 | 0,48 | 10 | 90 |
| 6 | <i>Lump 31'</i> | 0,575 | 0,48 | 50 | 50 |
| 7 | <i>Lump PET-04'</i> | 0,01293 | 0,46 | 0 | 100 |
| 8 | <i>Distribusi Panel NPK Plant</i> | 0,9 | 0,4 | 20 | 80 |
| 9 | <i>NPK Plant*</i> | 0,9 | 0,4 | 20 | 80 |

————— *Halaman ini sengaja dikosongkan* —————

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Analisa Busur Api (*Arc Flash*)

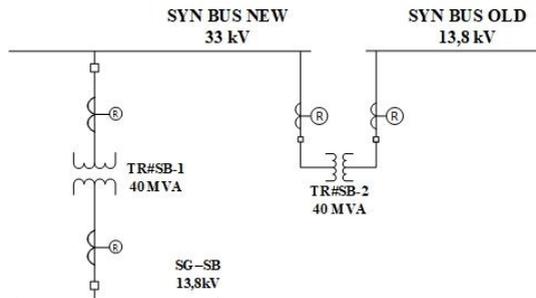
Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, pada tugas akhir ini akan menganalisa metode perhitungan busur api menggunakan kurva batasan energi dan kemudian dibandingkan dengan metode analisa perhitungan busur api menggunakan standart IEEE 1584-2002. Beberapa bus yang dianalisa antara lain :

- SYN BUS NEW
- SYN BUS OLD
- STG_1
- SG-21
- MCC#UOP1

4.2 Pemilihan Tipikal Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pemilihan tipikal pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dilakukan untuk menghitung *arc flash* menggunakan metode kurva batasan. Tipikal yang dipilih diharapkan mampu mewakili keseluruhan sistem kelistrikan jaringan lama maupun jaringan baru. Dengan demikian tipikal yang telah dipilih dapat menjadi acuan dalam melakukan perhitungan *arc flash* menggunakan metode kurva batasan pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Beberapa tipikal yang dipilih antara lain yaitu :

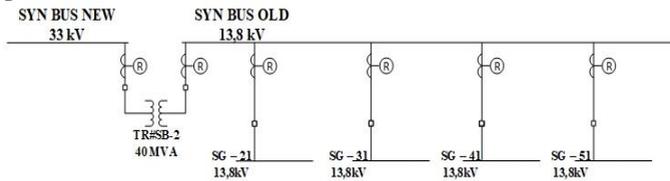
➤ Tipikal 1



Gambar 4.1 Tipikal 1 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pada tipikal 1 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dipilih pada bus SYN BUS NEW 33 kV yang terhubung dengan *tie transformer* TR#SB-2 dengan kapasitas 40 MVA yang berfungsi untuk membatasi ekspor impor daya jaringan baru dengan jaringan lama dan sebaliknya, serta transformator *stepdown* TR#SB-1 dengan kapasitas 40 MVA yang selanjutnya terhubung dengan bus SG-SB 13,8 kV.

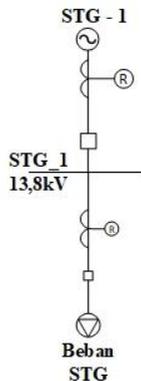
➤ **Tipikal 2**



Gambar 4.2 Tipikal 2 PT .Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pada tipikal 2 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dipilih pada bus SYN BUS OLD 13,8 kV yang menghubungkan pabrik pusri 2, pusri 3, pusri 4, dan pusri 1b dengan tegangan 13,8 kV. Selanjutnya SYN BUS OLD juga terhubung dengan *tie transformer* TR#SB-2 dengan kapasitas 40 MVA.

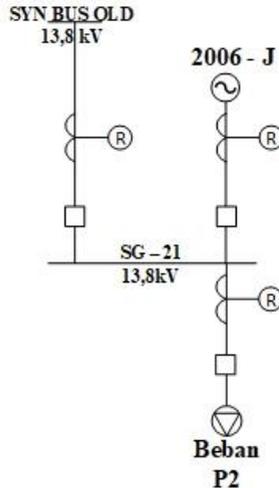
➤ **Tipikal 3**



Gambar 4.3 Tipikal 3 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pada tipikal 3 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dipilih pada bus STG_1. Terdapat satu generator STG – 1 dengan kapasitas 38 MW yang terhubung pada bus STG_1 yang selanjutnya digunakan untuk Beban STG pada pabrik pusri 1.

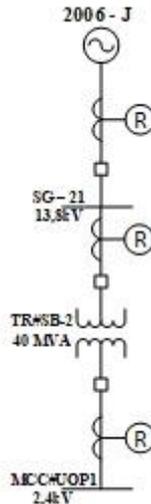
➤ **Tipikal 4**



Gambar 4.4 Tipikal 4 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pada tipikal 4 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dipilih pada bus SG – 21. Terdapat generator 2006 – J dengan kapasitas 15 MW yang terhubung dengan bus SG – 21 dan selanjutnya digunakan untuk mensuplai beban P2. Bus SG – 21 juga menghubungkan generator 2006 – J ke bus SYN BUS OLD dengan tegangan 13,8 kV.

➤ Tipikal 5



Gambar 4.5 Tipikal 5 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pada tipikal 5 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dipilih bus MCC#UOP1 2,4kV. Terdapat generator 2006 – J dengan kapasitas 15 MW serta transformator *stepdown* dengan kapasitas 40 MVA sisi primer 13,8 kV dan sisi sekunder 2,4 kV.

4.3 Perhitungan Busur Api Menggunakan Standar IEEE 1584-2002

Pada perhitungan busur api menggunakan standart IEEE 1584-2002, yang harus diketahui sebelumnya adalah data mengenai arus gangguan *bolted* pada tiap bus yang dianalisa. Dimana arus gangguan *bolted* merupakan arus hubung singkat tiga fasa, $\frac{1}{2}$ cycle saat pembangkitan maksimum . Dimana pada arus gangguan *bolted* ini, arus kontribusi dari beban juga diperhitungkan. Setelah mendapatkan data arus gangguan *bolted*, makadata selanjutnya yang harus diketahui adalah data FCT pada setiap bus tersebut. FCT atau *fault clearing time* merupakan waktu yang diperlukan rele untuk mengamankan gangguan. Berdasarkan bus yang dianalisa, berikut ini merupakan tabel dari data arus gangguan *bolted* serta *fault clearing time* :

Tabel 4.1 Data arus gangguan *bolted (Isc bolted)* dan FCT

| No. | ID BUS | Tegangan (kV) | Isc bolted (kA) | FCT (sec) |
|-----|-------------|---------------|-----------------|-----------|
| 1 | SYN BUS NEW | 33 | 5,72 | 0,465 |
| 2 | SYN BUS OLD | 13,8 | 24,63 | 0,465 |
| 3 | STG_1 | 13,8 | 16,84 | 0,725 |
| 4 | SG-21 | 13,8 | 17,06 | 0,6 |
| 5 | MCC#UOP1 | 2,4 | 10,85 | 0,31 |

Berdasarkan data tabel (4.1), maka dapat dicari arus arcing, energi normalisasi, insiden energi dan jarak kerja dengan menggunakan metode IEEE 1584-2002. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel (4.2) dibawah ini :

Tabel 4.2 Hasil simulasi busur api menggunakan standart IEEE 1584-2002

| No. | ID BUS | Arus Arcing (kA) | Insiden Energi (cal/cm ²) | Kategori bahaya/resiko |
|-----|-------------|------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 1 | SYN BUS NEW | 5,72 | 53,77 | >4 |
| 2 | SYN BUS OLD | 23,54 | 19,58 | 3 |
| 3 | STG_1 | 16,2 | 20,38 | 3 |
| 4 | SG-21 | 16,41 | 17,10 | 3 |
| 5 | MCC#UOP1 | 10,52 | 5,46 | 2 |

Rincian perhitungan busur api menggunakan standart IEEE 1584-2002 dapat dilihat sebagai berikut :

- SYN BUS NEW

Perhitungan arus *arcing (Ia)* :

Karena tegangan bus lebih dari 15kV, maka perhitungan arus *arcing* menggunakan metode Lee :

$$I_a = I_{bf} = 5,72$$

Perhitungan Insiden Energi (E) :

$$Incident\ Energy = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{D^2}\right)$$

$$Incident\ Energy = 2,142 \times 10^6 \times 33 \times 5,72 \times \left(\frac{0,465}{910^2}\right)$$

$$Incident\ Energy = 227,04\ J/cm^2$$

$$Incident\ Energy = 227,04 / 4,184$$

$$Incident\ Energy = 54,26\ cal/cm^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan (D) :

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{E_B}\right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 33 \times 5,72 \left(\frac{0,465}{5}\right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 6132,05\ mm = 6,132\ m$$

- SYN BUS OLD

Perhitungan arus arcing (I_a) :

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(I_b)$$

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(24,63)$$

$$\log(I_a) = 1,3718 ; I_a = 23,54\ kA$$

Perhitungan Insiden Energi (E) :

$$En = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_a)+0,0011 G}$$

$$En = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,3718+0,0011 \times 153}$$

$$En = 12,48\ J/cm^2$$

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

$$Incident\ Energy = 4,184 \times 1 \times 12,48 \left(\frac{0,465}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$Incident\ Energy = 82,265\ J/cm^2$$

$$Incident\ Energy = 82,265 / 4,184$$

$$Incident\ Energy = 19,662\ cal/cm^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan (D) :

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

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 12,48 \left(\frac{0,465}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 16182,19\ mm = 16,182\ m$$

- STG_1

Perhitungan arus *arcing* (I_a) :

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(I_b)$$

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(16,84)$$

$$\log(I_a) = 1,2095 ; I_a = 16,2 \text{ kA}$$

Perhitungan Insiden Energi (E) :

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_a) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,2095 + 0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 8,332 \text{ J/cm}^2$$

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

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 8,332 \left(\frac{0,725}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 85,637 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 85,637 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 20,467 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan (D) :

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

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 8,332 \left(\frac{0,725}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 16864,35 \text{ mm} = 16,864 \text{ m}$$

- STG-21

Perhitungan arus *arcing* (I_a) :

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(I_b)$$

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(17,06)$$

$$\log(I_a) = 1,2151 , I_a = 16,41 \text{ kA}$$

Perhitungan Insiden Energi (E) :

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_a) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,2151 + 0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 8,4495 \text{ J/cm}^2$$

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

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 8,4495 \left(\frac{0,6}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 71,866 \text{ J/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Incident Energy} &= 71,866 / 4,184 \\ \text{Incident Energy} &= 17,176 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan jarak batas perlindungan (D) :

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}} \\ D_B &= [4,184 \times 1 \times 8,4495 \left(\frac{0,6}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}} \\ D_B &= 14083,694 \text{ mm} = 14,083 \text{ m} \end{aligned}$$

- MCC#UOPI

Perhitungan arus arcing (I_a) :

$$\begin{aligned} \log(I_a) &= 0,00402 + 0,983 \log(I_b) \\ \log(I_a) &= 0,00402 + 0,983 \log(10,85) \\ \log(I_a) &= 1,022 \quad ; \quad I_a = 10,52 \text{ kA} \end{aligned}$$

Perhitungan Insiden Energi (E) :

$$\begin{aligned} En &= 10^{K1+K2+1,081 \log(I_a) + 0,0011 G} \\ En &= 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,022 + 0,0011 \times 153} \\ En &= 5,225 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Incident Energy} &= 4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \\ \text{Incident Energy} &= 4,184 \times 1 \times 5,225 \left(\frac{0,31}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right) \\ \text{Incident Energy} &= 22,961 \text{ J/cm}^2 \\ \text{Incident Energy} &= 22,961 / 4,184 \\ \text{Incident Energy} &= 5,4877 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan jarak batas perlindungan (D) :

$$\begin{aligned} D_B &= [4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}} \\ D_B &= [4,184 \times 1 \times 5,4877 \left(\frac{0,31}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}} \\ D_B &= 4584,8533 \text{ mm} = 4,584 \text{ m} \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Busur Api Menggunakan Metode Kurva Batasan Energi

Hal yang pertama kali dilakukan apabila melakukan perhitungan busur api menggunakan metode kurva batasan energi yaitu mendapatkan kurva dari kategori PPE level 1 hingga 4. Kurva tersebut menunjukkan

hubungan antara arus – waktu, serta garis kurva didapatkan dari persamaan yang mengacu pada standar IEEE 1584 – 2002.

Untuk sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang yang akan di analisa mempunyai 2 level tegangan bus yaitu pada level tegangan 1 hingga 15 kV serta bus pada level tegangan lebih dari 15 kV.

4.4.1 Penentuan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1-15 kV

Persamaan untuk hubungan antara arus – waktu yang mengacu pada standar IEEE 1584 – 2002 pada level tegangan 1 – 15 kV sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 4,184 \frac{cf}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
 A_2 &= k1 + k2 + (0,0011 \times G) \\
 A'^2 &= 10^{A_2} \\
 t &= \frac{E}{A_1 A'^2 I a^{1.081}}
 \end{aligned}$$

Dengan keterangan :

- Cf = 1 (untuk tegangan diatas 1 kV)
- D = 910 (jarak kerja dalam satuan mm)
- x = 0,973 (x faktor switchgear)
- $k1$ = -0,555 (peralatan tertutup)
- $k2$ = 0 (sistem tanpa grounding)
- G = 153 (gap antar bus untuk tegangan 5-15kV dalam satuan mm)

Sehingga didapatkan,

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 4,184 \frac{cf}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
 &= 4,184 \frac{1}{0,2} \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right) \\
 &= 14,1755636 \\
 A_2 &= k1 + k2 + (0,0011 \times G) \\
 &= -0,555 + 0 + (0,0011 \times 153) \\
 &= -0,3876 \\
 A'^2 &= 10^{A_2} \\
 &= 10^{-0,3876}
 \end{aligned}$$

$$= 0,410488$$

Mengacu pada tabel NFPA 70E-2004 untuk kategori 0 PPE nilai E adalah $8.36\text{J}/\text{cm}^2$ maka didapatkan,

$$t = \frac{E}{A1 A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{8,36}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 1,4367 \times I a^{1,081}$$

Untuk PPE kategori 1 nilai $E = 16,74 \text{ J}/\text{cm}^2$ maka,

$$t = \frac{E}{A1 A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{16,74}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 2,8768 \times I a^{1,081}$$

Untuk PPE kategori 2 nilai $E = 33,47 \text{ J}/\text{cm}^2$ maka,

$$t = \frac{E}{A1 A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{33,47}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 5,7519 \times I a^{1,081}$$

Untuk PPE kategori 3 nilai $E = 104,6 \text{ J}/\text{cm}^2$ maka,

$$t = \frac{E}{A1 A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{104,6}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 17,9759 \times I a^{1,081}$$

Untuk PPE kategori 4 nilai $E = 167,36 \text{ J}/\text{cm}^2$ maka,

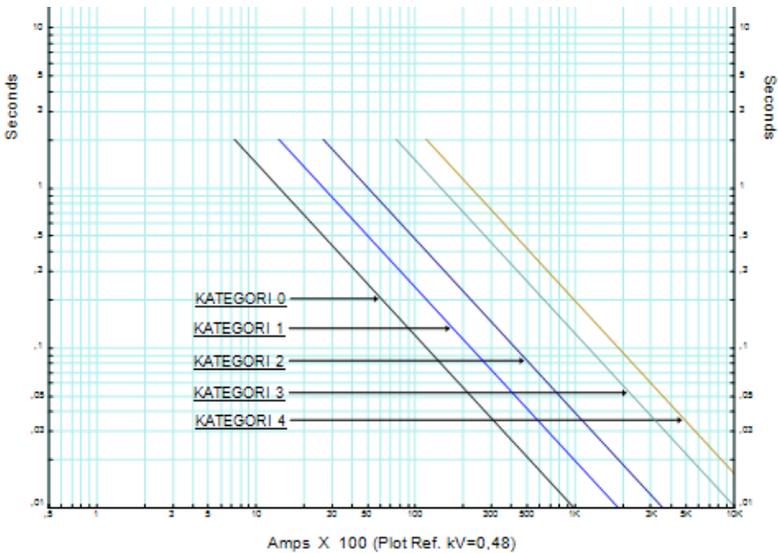
$$t = \frac{E}{A1 A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{167,36}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 28,7614 \times I a^{1,081}$$

Setelah mendapatkan persamaan hubungan antara arus dan waktu untuk setiap kategori PPE dengan nilai insiden energi E berdasarkan pada tabel NFPA 70E – 2004, selanjutnya setiap persamaan – persamaan diatas diubah menjadi kurva garis. Hasil dari *plotting* kurva tersebut merupakan kurva batasan energi dengan level tegangan 1 – 15 kV. Kemudian kurva batasan energi nantinya dipotong dengan kurva relay

utama pengaman bus yang akan di analisa dengan waktu 2 detik. Berdasarkan pada ketentuan B.1.2 dari std IEEE 1584 menyatakan bahwa waktu 2 detik merupakan waktu yang ‘layak’ durasi maksimum untuk menganalisa busur api (*arc flash*). Pada gambar (4.6) merupakan hasil dari *plotting* kurva batasan energi pada level tegangan 1 – 15 kV.



Gambar 4.6 Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1-15 kV

Selanjutnya dibutuhkan simulasi untuk menganalisa kondisi saat 85% - 100% arus *arching* serta durasi berlangsungnya hingga rele pengaman memuts gangguan (FCT).

4.4.2 Penentuan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan > 15 kV

Digunakan persamaan Lee untuk perhitungan busur api pada level tegangan diatas 15 kV. Dengan persamaan sebagai berikut

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

$$t = \frac{ED^2}{2,142 \times 10^6 V I_{bf}}$$

Dengan keterangan :

E = Insiden Energi tiap kategori PPE (J/cm^2)

D = 910 mm (*working distance*)

V = 33 kV (Tegangan bus)

I_{bf} = Arus gangguan hubung singkat (kA)

t = waktu (s)

Mengacu pada tabel NFPA 70E-2004 untuk kategori 0 PPE nilai E adalah $8.36 J/cm^2$ maka didapatkan,

$$t = \frac{8,36 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 33 \times I_{bf}}$$
$$t = 0,0979 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 1 nilai $E = 16,74 J/cm^2$ maka,

$$t = \frac{16,74 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 33 \times I_{bf}}$$
$$t = 0.1961 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 2 nilai $E = 33,47 J/cm^2$ maka,

$$t = \frac{33,47 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 33 \times I_{bf}}$$
$$t = 0.3921 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 3 nilai $E = 104,6 J/cm^2$ maka,

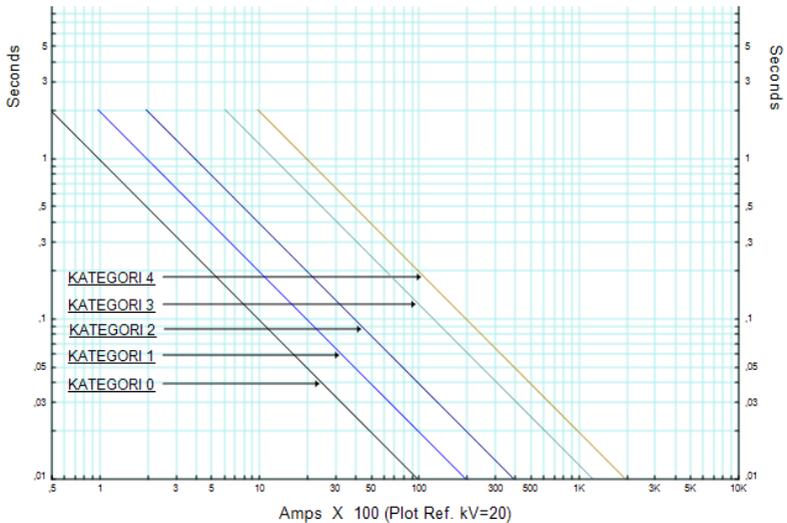
$$t = \frac{33,47 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 33 \times I_{bf}}$$
$$t = 1,2254 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 4 nilai $E = 167,36 J/cm^2$ maka,

$$t = \frac{167,36 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 33 \times I_{bf}}$$
$$t = 1,9606 \times I_{bf}^{-1}$$

Setelah mendapatkan persamaan hubungan antara arus dan waktu untuk setiap kategori PPE dengan nilai insiden energi E berdasarkan pada tabel NFPA 70E – 2004, selanjutnya setiap persamaan – persamaan diatas diubah menjadi kurva garis. Hasil dari *plotting* kurva tersebut

merupakan kurva batasan energi dengan level tegangan lebih dari 15 kV.



Gambar 4.7 Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan Diatas 15 kV

4.4.3 Perhitungan Jarak Aman Batas Perlindungan

Untuk menghitung jarak aman batas perlindungan dapat menggunakan persamaan (2.19) untuk level tegangan 1 – 15 kV dan persamaan (2.20) untuk level tegangan lebih dari 15 kV yang telah dibahas pada bab 2.

Persamaan untuk sistem tegangan antara 1-15kV adalah sebagai berikut :

$$D_B = \frac{D_{WD}}{x \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}}$$

D_{WD} = Jarak pekerja 910 mm

E_{WD} = Nilai insiden energi pada tiap – tiap kategori PPE (J/cm²)

x = Faktor switchgear nilainya 0,973

D_B = Jarak aman batas perlindungan (mm)

E_B = Nilai insiden energi pada level D_B yang mengakibatkan luka bakar derajat dua, Sesuai IEEE 1584-2002 nilainya adalah 5.0 J/cm²

Untuk perhitungan jarak aman batas perlindungan PPE kategori 0, $E_{wd} = 8,36 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{8,36}}} = 1543 \text{ mm} = 1,54 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 1, $E_{wd} = 16,74 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{16,74}}} = 3150 \text{ mm} = 3,15 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 2, $E_{wd} = 33,47 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{33,47}}} = 6421 \text{ mm} = 6,42 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 3, $E_{wd} = 104,6 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{104,6}}} = 20713 \text{ mm} = 20,71 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 4, $E_{wd} = 167,36 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{167,36}}} = 33576 \text{ mm} = 33,57 \text{ meter}$$

Untuk jarak batas aman perlindungan pada sistem tegangan lebih dari 15 kV menggunakan persamaan (2.20). Perhitungan jarak aman batas perlindungan PPE kategori 0, $E_{wd} = 8,36 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{8,36}}} = 1176 \text{ mm} = 1,17 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 1, $E_{wd} = 16,74 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{16,74}}} = 1665 \text{ mm} = 1,66 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 2, $E_{wd} = 33,47 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{33,47}}} = 2354 \text{ mm} = 2,35 \text{ meter}$$

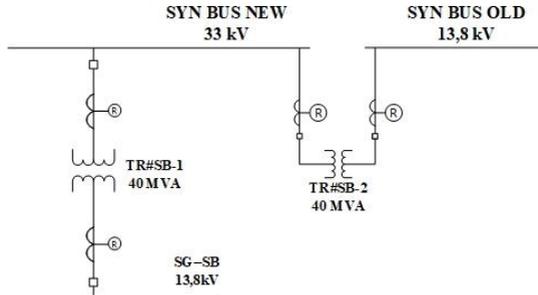
Untuk PPE kategori 3, $E_{wd} = 104,6 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{104,6}}} = 4162 \text{ mm} = 4,16 \text{ meter}$$

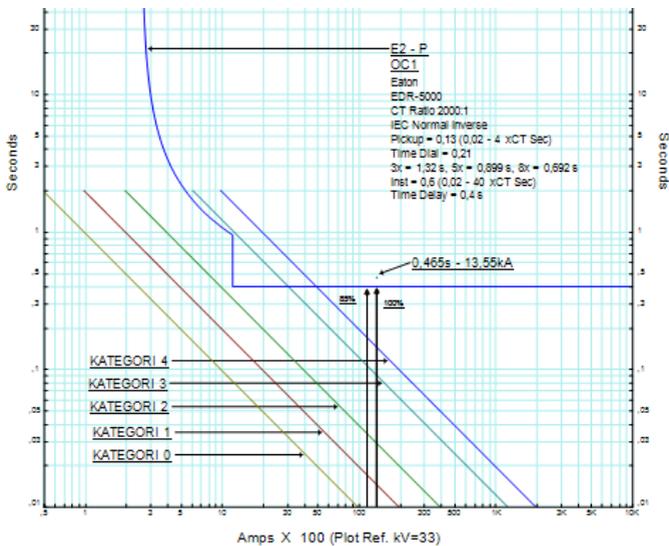
Untuk PPE kategori 4, $E_{wd}=167,36 \text{ J/cm}^2$:

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{167,36}}} = 5264 \text{ mm} = 5,26 \text{ meter}$$

4.4.4 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus SYN BUS NEW



Gambar 4.8 Tipikal 1 SYN BUS NEW Dengan 33 kV

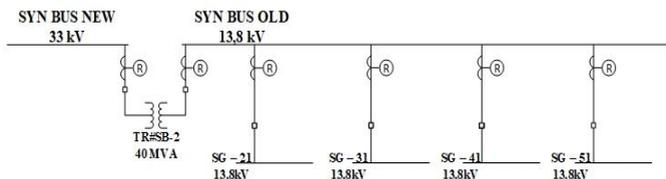


Gambar 4.9 Kurva Rele E2 dengan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan > 15 kV

Pada bus SYN NEW BUS, rele yang digunakan sebagai referensi kurva batasan energi adalah rele E2. Dimana rele ini bertugas mengamankan gangguan yang muncul pada bus tersebut. Tegangan bus adalah sebesar 33 kV, sehingga pada bus ini menggunakan kurva batasan energi dengan rating lebih dari 15 kV. Pada hasil *plotting* kurva rele E2, terlihat bahwa kurva rele sebagian besar berada dibawah dan diatas kurva batasan energi kategori 3. Kemudian sesuai dengan standart IEEE 1584 – 2002, dilakukan pengecekan dengan 85% hingga 100% arus *arcng*. Nilai arus *arcng* maksimal didapatkan pada saat 100% yaitu sebesar 13,55 kA. Dimana arus *arcng* tersebut berlangsung selama 0,465 detik sesuai dengan FCT bus SYN NEW BUS. Titik tersebut berada diatas kategori 4. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa nilai PPE pada bus SYN NEW BUS adalah lebih dari kategori 4. Dimana jarak aman untuk kategori tersebut adalah lebih dari 5,26 meter. Analisa penentuan kategori PPE pada bus tersebut dapat dilihat pada gambar (4.9)

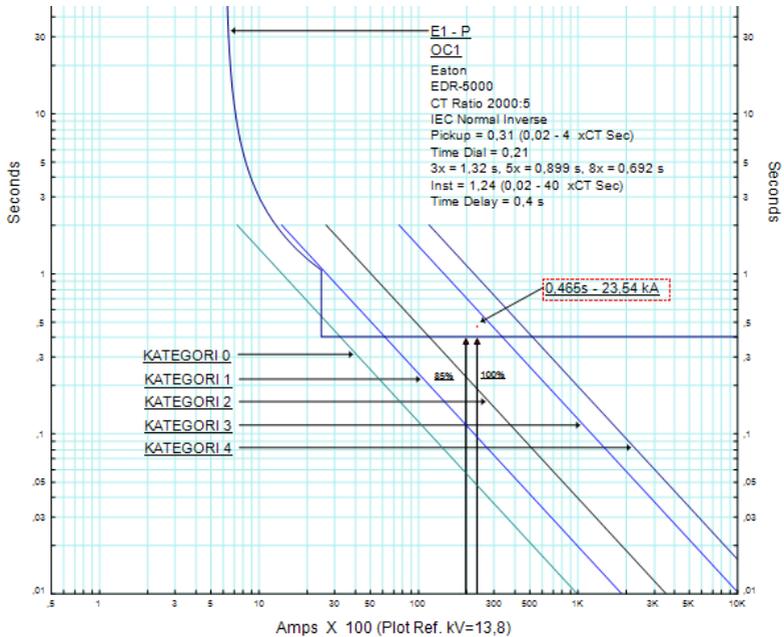
4.4.5 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus SYN BUS OLD

Pada bus SYN BUS OLD, rele yang digunakan sebagai referensi kurva batasan energi adalah rele E1. Dimana rele ini yang nantinya bertugas untuk mengatasi atau mengamankan gangguan yang muncul pada bus ini.



Gambar 4.10 Tipikal 2 SYN BUS OLD Dengan 13,8 kV

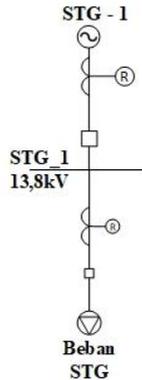
Analisa penentuan kategori PPE pada bus ini dapat dilihat pada gambar (4.11) berikut ini :



Gambar 4.11 Kurva Rele E1 dengan Kurva Batasan Energi Pada Level Tegangan 1 - 15kV

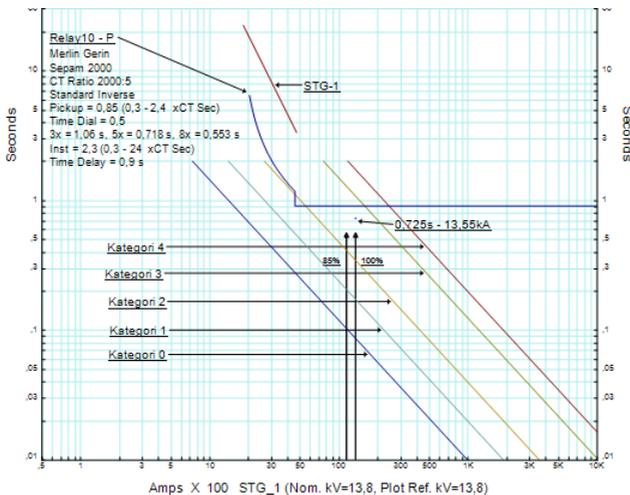
Pada bus SYN BUS OLD, tegangan bus adalah sebesar 13,8 kV, sehingga untuk kurva batasan energinya menggunakan kurva batasan energi dengan rentang tegangan antara 1 hingga 15 kV. Pada hasil *plotting* kurva rele E2, terlihat bahwa sebagian kurva rele berada dibawah kurva batasan energi kategori 1. Kemudian, sesuai dengan standar IEEE 1584 – 2002, dilakukan pengecekan dengan 85% hingga 100% arus *arcing*. Nilai maksimum arus *arcing* yang didapatkan adalah saat 100%, yaitu sebesar 23,54 kA dan terjadi selama 0,465 detik. Dimana titik tersebut berada dibawah kategori 3. Sehingga, PPE kategori 2 tidak cukup untuk daerah tersebut. Dan dapat disimpulkan pada bus SYN BUS OLD harus menggunakan PPE kategori 3. Jarak maksimum aman untuk daerah tersebut adalah pada 20,71 meter.

4.4.6 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus STG_1



Gambar 4.12 Tipikal 3 STG_1 Dengan 13,8 kV

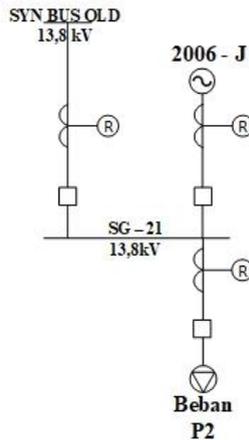
Analisa penentuan kategori PPE pada bus ini dapat dilihat pada gambar (4.13) berikut ini :



Gambar 4.13 Kurva Rele 10 dengan Kurva Batasan Energi 1-15kV

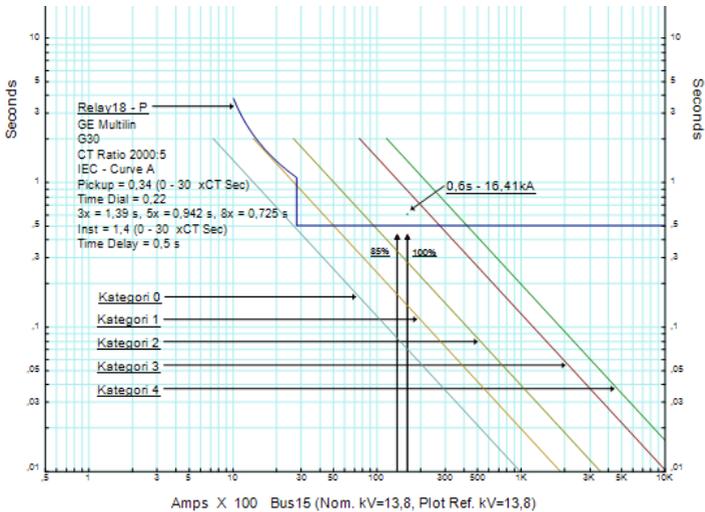
Pada bus STG_1, tegangan bus adalah sebesar 13,8 kV, sehingga pada bus ini, menggunakan kurva batasan energi dengan rentang antara 1 hingga 15 kV. Pada hasil *plotting* kurva rele 10, terlihat bahwa kurva rele sebagian besar berada dibawah dan diatas kurva batasan energi kategori 2. Kemudian sesuai dengan standart IEEE 1584 – 2002, dilakukan pengecekan dengan 85% hingga 100% arus *arcing*. Nilai arus *arcing* maksimal didapatkan pada saat 100% yaitu sebesar 13,55 kA. Dimana arus *arcing* tersebut berlangsung selama 0,725 detik sesuai dengan FCT bus STG_1. Titik tersebut berada diatas kategori 2. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa nilai PPE pada bus STG_1 adalah kategori 3. Dimana jarak aman untuk kategori tersebut adalah 20,71 meter.

4.4.7 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus SG - 21



Gambar 4.14 Tipikal 4 SG-21 dengan 13,8 kV

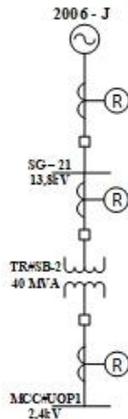
Analisa penentuan kategori PPE pada bus ini dapat dilihat pada gambar (4.15) berikut ini :



Gambar 4.15 Kurva Rele 18 dengan Kurva Batasan Energi 1-15kV

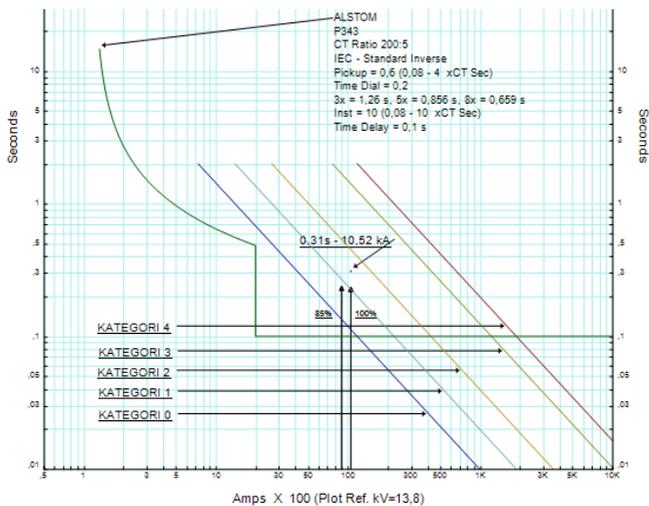
Pada bus SG-21, tegangan bus adalah sebesar 13,8 kV, sehingga pada bus ini, menggunakan kurva batasan energi dengan rentang antara 1 hingga 15 kV. Pada hasil *plotting* kurva rele 18, terlihat bahwa kurva rele sebagian besar berada dibawah dan diatas kurva batasan energi kategori 1. Kemudian sesuai dengan standart IEEE 1584 – 2002, dilakukan pengecekan dengan 85% hingga 100% arus *arcing*. Nilai arus *arcing* maksimal didapatkan pada saat 100% yaitu sebesar 16,41 kA. Dimana arus *arcing* tersebut berlangsung selama 0,6 detik sesuai dengan FCT bus SG-21. Titik tersebut berada diatas kategori 2. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa nilai PPE pada bus SG-21 adalah kategori 3. Dimana jarak aman untuk kategori tersebut adalah 20,71 meter.

4.4.8 Penentuan Kategori PPE Menggunakan Kurva Batasan Energi pada bus MCC#UOP1



Gambar 4.16 Tipikal 5 MCC#UOP1 dengan 13,8 kV

Analisa penentuan kategori PPE pada bus ini dapat dilihat pada gambar (4.15) berikut ini :



Gambar 4.17 Kurva Rele BKR P2-5 dengan Kurva Batasan Energi 1-15 kV

Pada bus MCC#UOP1, tegangan bus adalah sebesar 2,4 kV, sehingga pada bus ini, menggunakan kurva batasan energi dengan rentang antara 1 hingga 15 kV. Pada hasil *plotting* kurva rele BKR P2-5, terlihat bahwa kurva rele sebagian besar berada dibawah kurva batasan energi kategori 0. Kemudian sesuai dengan standart IEEE 1584 – 2002, dilakukan pengecekan dengan 85% hingga 100% arus *arcing*. Nilai arus *arcing* maksimal didapatkan pada saat 100% yaitu sebesar 10,52 kA. Dimana arus *arcing* tersebut berlangsung selama 0,31 detik sesuai dengan FCT bus MCC#UOP1. Titik tersebut berada dibawah kategori 2. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa nilai PPE pada bus MCC#UOP1 adalah kategori 2. Dimana jarak aman untuk kategori tersebut adalah 6,42 meter.

4.5 Perbandingan Penentuan Kategori PPE Antara Standar IEEE 1584-2002 dengan Metode Kurva Batasan Energi

Pada beberapa sub sub sebelumnya telah ditampilkan hasil dari perhitungan menggunakan IEEE 1584-2002 serta dengan metode kurva batas energi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Pada sub bab ini akan dijelaskan perbandingan hasil dari penentuan kategori PPE antara standar IEEE 1584-2002 dengan metode kurva batas energi. Bisa dilihat pada Tabel 4.3 perbandingan data penentuan kategori PPE.

Tabel 4.3 Tabel Perbandingan Penentuan Kategori PPE Serta Jarak Aman Antara Standar IEEE 1583-2002 Dengan Metode Kurva Batas Energi

| No | ID Bus | Standar IEEE 1584-2002 | | Metode Kurva Batas Energi | |
|----|-------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| | | Kategori | Jarak Aman (m) | Kategori | Jarak Aman (m) |
| 1 | SYN BUS NEW | >4 | 6,132 | >4 | >5,26 |
| 2 | SYN BUS OLD | 3 | 16,182 | 3 | 20,71 |
| 3 | STG_1 | 3 | 16,864 | 3 | 20,71 |
| 4 | SG-21 | 3 | 14,083 | 3 | 20,71 |
| 5 | MCC#UOP1 | 2 | 4,584 | 2 | 6,42 |

Dari hasil perbandingan penentuan kategori PPE serta jarak aman antara standar IEEE 1584-2002 dan metode kurva batas energi dapat disimpulkan bahwa nilai jarak aman dengan metode kurva batas energi lebih besar dibandingkan standar IEEE 1584-2002 dikarenakan metode tersebut tidak menghitung secara rinci nilai untuk insiden energi normalisasi serta nilai *fault clearing time*. Nilai jarak aman yang diberikan untuk metode kurva batas energi adalah nilai maksimal dari masing-masing kategori yang telah ditentukan. Serta untuk jarak aman pada kategori diatas 4 tidak dapat ditentukan, sehingga kategori diatas 4 menggunakan nilai maksimal jarak aman PPE dari kategori 4.

4.6 *Personal Protective Equipment (PPE) yang Digunakan*

Setelah mendapatkan nilai dari insiden energi *arc flash*, *arching current*, serta *flash protection boundary* sehingga nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk dasar penentuan pemakaian *Personal Protective Equipment (PPE)*. *Personal Protective Equipment (PPE)* merupakan peralatan untuk perlindungan diri yang harus digunakan ketika melakukan suatu pekerjaan di daerah yang beresiko terjadinya *arc flash*. Pada Tabel 4.4 akan dijelaskan penentuan *Personal Protective Equipment* yang harus digunakan agar terhindar dari resiko yang dapat mengancam nyawa pekerja.

Tabel 4.4 Tabel Penentuan Pemakaian PPE Bus Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

| No. | ID Bus | Kategori | PPE | Gambar |
|-----|-------------|----------|--|--|
| 1 | SYN BUS NEW | >4 | Up to 40 cal/cm ² Flash suit hood, Pelindung wajah serta kepala, Pelindung mata, Pemakaian tahan api, Pelindung telinga, Celana Panjang |  |

Tabel 4.4 Tabel Penentuan Pemakaian PPE Bus Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. (lanjutan)

| | | | | |
|---|-------------|---|---|---|
| 2 | SYN BUS OLD | 3 | <p><i>Flash suit hood,</i> Pelindung wajah serta kepala, Pelindung mata, Pemakaian tahan api, Pelindung telinga, Celana Panjang</p> |  |
| 3 | STG_1 | 3 | <p><i>Flash suit hood,</i> Pelindung wajah serta kepala, Pelindung mata, Pemakaian tahan api, Pelindung telinga, Celana Panjang</p> |  |
| 4 | SG-21 | 3 | <p><i>Flash suit hood,</i> Pelindung wajah serta kepala, Pelindung mata, Pemakaian tahan api, Pelindung telinga, Celana Panjang</p> |  |

Tabel 4.4 Tabel Penentuan Pemakaian PPE Bus pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. (lanjutan)

| | | | | |
|---|----------|---|--|---|
| 5 | MCC#UOP1 | 2 | Pelindung wajah serta kepala, Pelindung mata Pemakaian tahan api, Pelindung telinga, Celana Panjang |  |
|---|----------|---|--|---|

———— *Halaman ini sengaja dikosongkan* ————

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi analisa bahaya *arc flash* menggunakan kurva batasan energi pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa busur api untuk penentuan kategori PPE menggunakan kurva batasan energi ini lebih mudah digunakan. Karena, dengan metode ini hanya memasukkan karakteristik dari kurva pengaman pada kurva batasan energi. Sehingga pada perpotongan kedua kurva tersebut dapat ditentukan kategori PPE yang diperlukan.
2. Analisa penentuan kategori *Personal Protective Equipment* (PPE) menggunakan metode kurva batasan energi didapatkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan standar IEEE 1584-2002.
3. Perbandingan penentuan kategori PPE antara standar IEEE 1584-2002 dengan metode kurva batasan terdapat selisih nilai jarak aman dikarenakan metode kurva batasan tidak menghitung secara rinci nilai untuk besar insiden energi serta *fault clearing time*. Nilai jarak aman yang diberikan untuk metode kurva batasan energi adalah nilai maksimal dari masing-masing kategori yang telah ditentukan.
4. Pada bus SYN BUS NEW memiliki kategori lebih dari 4, dimana dengan menggunakan metode kurva batasan energi nilai dari jarak aman tidak dapat ditentukan. Hanya dengan melihat kurva rele/fuse serta nilai arus *arcing* maksimal kemudian di masukkan kedalam kurva batasan energi didapatkan kategori PPE yang dibutuhkan.

5.2 Saran

Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, diharapkan dapat menjadi masukan untuk PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang kedepannya, yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan *resetting* koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang sangat berpengaruh pada besarnya nilai busur api. Karena besar nilai busur api sebanding dengan

besarnya nilai *clearing time* serta nilai arus hubung singkat pada suatu bus. Sehingga diharapkan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat melakukan *resetting* sesuai dengan standar yang berlaku agar mengurangi besarnya nilai busur api.

2. Memasang rele differensial pada bus yang mempunyai kategori lebih dari 4 karena rele tersebut memiliki kepekaan waktu yang baik untuk mengamankan gangguan pada bus, sehingga nilai untuk *fault clearing time* pada bus tersebut dapat dipercepat.
3. Setelah mendapatkan hasil analisa dari penentuan kategori PPE di beberapa bus pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, diharapkan para pekerja menggunakan PPE sesuai kategori yang telah ditentukan agar terhindar dari bahaya busur api.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 1584TM – 2002, “*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2002.
- [2] NFPA 70E, “*Electrical Safety Requirements for Employed Workplaces 2009 Edition*”, NFPA 70E-2009.
- [3] C. Parsons, Anthony., Leuschner, W. Blane, “*Simplified Arc-Flash Hazard Analysis Using Energy Boundary Curves*” IEEE Industry Applications Society, November, 2008.
- [4] Jones, Ray. A, “*Safety BASICs 93TM Handbook for Electrical Safety Edition 2*”, Cooper Bussman, Inc., USA, 2004.
- [5] Anderson, P.M., “*Power System Protection*”,IEEE Press Power Engineering Series, New York, 1999.
- [6] Simms, J., Johnson, G., “Protective Relaying Methods for Reducing Arc Flash Energy”, IEEE Transaction On Industry Applications, Vol. 49, No. 2, pp 803, April, 2013.
- [7] Keller, Kimberley, “*Electrical Safety Code Manual*”, Elsevier, Inc., USA, Ch. 7, 2010.
- [8] Yasser Moustafa Atwa , “*Mitigating Arc-Flash Exposure*” IEEE Industry Application Magazine, July-August, 2011.
- [9] Timothy B. Dugan, “*Reducing The Arc flash Hazard,*” IEEE Industry Application Magazine, May-June 2007.

————— *Halaman ini sengaja dikosongkan* —————

BIODATA PENULIS



Rona Afdhola Haqi, dilahirkan pada tanggal 2 Oktober 1994 di Surabaya. Merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Marsudi dan Ibu Siti Zahrok. Mengenyam pendidikan sekolah dasar pada tahun 2001-2007 di SD Klampis Ngasem I/246 Surabaya, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 19 Surabaya pada tahun 2007-2010. Setelah lulus dari SMPN 19 Surabaya, penulis melanjutkan pendidikan ke SMAN 15 Surabaya pada tahun 2010. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan S1 di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), mengambil bidang studi Sistem Tenaga. Selama masa kuliah penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro sebagai Staff Departemen Lingkar Kampus. Penulis dapat dihubungi melalui email ronaafdhola@gmail.com.

----- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -----