

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISA SISTEM KENDALI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR FL SMIDTH PADA BAKING PLANT PT. INALUM (Persero )**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas – Tugas dan Memperoleh Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro (S-1)*

Disusun oleh :

**AIDIL PRATAMA LUBIS**

**NPM : 1107220028**



**PROGRAM STUDI TENIK ELEKTRO  
FAKULTAS TENIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA SISTEM KENDALI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR  
FL SMIDTH PADA BAKING PLANT PT. INALUM (Persero)**

*Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh  
gelas Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*


**Disusun Oleh :**

**AIDIL PRATAMA LUBIS**

**NPM : 1107220028**


Telah Diuji dan Disahkan Pada Tanggal  
12 April 2017

Pembimbing I



(DR. Suwarno.M.T)

Pembimbing II



(Rimbawati.S.T.M.T)

Pembanding I



(Rohana.S.T.M.T)

Pembanding II



(Faisal Irsan Pasaribu.S.T.Spd.M.T)

Diketahui dan Disahkan :  
Program Studi Teknik Elektro  
Ketua



(Rohana, ST, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

## **ABSTRAK**

Electrostatic Precipitator ( ESP ) adalah suatu perangkat listrik yang berfungsi sebagai alat pengendap atau pemisah debu dari udara yang menggunakan listrik statis. Dengan Elektrostatic Precipitator jumlah emisi gas buang sisa pembakaran anoda yang ada di PT. Inalum (Persero) dapat diturunkan hingga 95,43 %.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah efisiensi gas buang pada Baking Plant PT. Inalum (Persero) dan solusi tepat sebagai penanggulangan emisi gas buang pembakaran dari anoda.

***Kata kunci : Electrostatic Precipitator (ESP), Efisiensi Gas Buang***

## KATA PENGANTAR



Sembah puji dan sanjung tulus untuk Dzat yang mahamulia, Dia yang menurunkan Alquran sebagai petunjuk dan pedoman hidup bagi umat manusia di dunia ini. Menjadikan Alquran sebagai sumber ilmu pengetahuan dan Norma – norma. Dialah Allah SWT.

Sholawat bersama salam selalu terkumandang untuk utusannya tercinta manusia yang lembut laksana air dan perkasa laksana ombak. Dia yang mencintai ummatnya lebih dari dirinya dan keluarganya, Dia yang bermukjizatkan Alquran dan Akhlaknya adalah Alquran. Dialah Muhammad SAW.

Dengan perjuangan yang berat dan perilaku akhirnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “ **Analisa Sistem Kendali Electrostatic Precipitator FL SMIDTH Pada Baking Plant PT. Inalum ( persero )** ”.

. Dalam penyusunan Skripsi penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulisan dengan setulus hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Teristimewa buat Ayahanda Hasanuddin Lubis dan Ibunda Rosmawati yang telah banyak memberikan pengorbanan demi cita–cita bagi kehidupan penulis, serta Adik dan juga ibu saya Manja Dwi Utami Lubis dan Indrawati yang telah banyak memberikan doa dan dorongan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, S.T, M.T, sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ir. Zulfikar, sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Ir. Suwarno M.T, sebagai Dosen Pembimbing 1
6. Ibu Rimbawati, S.T. M.T, sebagai Dosen Pembimbing 2
7. Seluruh staf pengajar dan pegawai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh pengurus Badan Eksekutif Mahasiswa periode 2014 - 2015 yang membantu saya dengan tulus dalam penulisan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan Ikatan Mahasiswa Elektro, Himpunan Mahasiswa Sipil, dan Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai tempat bagi saya mengenal dunia organisasi.
10. Adinda Nurul Aulia Amanda Nasution yang selalu mengingatkan dan memotivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Saudara paguyuban BROTHER HOOD 011 ( Indra, rahmad, bobi tamba, putra, juna, yafis, juan, rido, aref ) yang menjadi kawan berjuang saya di fakultas teknik UMSU.
12. Rekan – rekan Pejuang Senyum 012 ( teguh, reza, bobi, abdi, ibes, nazili, runi, kiki, fahri, baskoro, gunung, juhri, rajali, ardiasyah, alpin, jhodil, romis, arep, fikri, akmal, atok ) serta anak – anak teknik sektor 13.
13. Komunitas Kampoeng Peradaban, basecamp vespa mas wok, masyarakat kopi tempuling sebagai tempat diskusi untuk saya.

14. PT. Inalum (Persero) yang telah mengizinkan saya melakukan penelitian tugas akhir saya khususnya bapak Kirno dan bapak Barus.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, Mei 2017  
Penulis

**Aidil Pratama Lubis**  
**1107220028**

# DAFTAR ISI

|                                       | <b>Halaman</b> |
|---------------------------------------|----------------|
| <b>ABSTRAK</b> .....                  | <b>i</b>       |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....           | <b>ii</b>      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....               | <b>iv</b>      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....            | <b>viii</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....             | <b>xi</b>      |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>              |                |
| 1.1 Latar Belakang .....              | 1              |
| 1.2 Rumusan Masalah .....             | 2              |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....           | 2              |
| 1.4 Batasan Masalah .....             | 3              |
| 1.5 Metode Penelitian .....           | 3              |
| 1.6 Sistematika Skripsi.....          | 4              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>        |                |
| 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....    | 6              |
| 2.2 Landasan Teori.....               | 8              |
| 2.2.1 Proses Produksi Aluminium ..... | 8              |
| 2.2.1.1 Blok Anoda Karbon .....       | 9              |
| 2.2.1.2 Pabrik Reduksi .....          | 11             |
| 2.2.1.3 Pabrik Pencetakan .....       | 11             |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.2 Parameter Pencemaran Udara .....                 | 13 |
| 2.2.3 Electrostatic Precipitator.....                  | 17 |
| 2.2.3.1 Prinsip Kerja Elektrostatic Precipitator ..... | 19 |
| 2.2.3.2 Proses Pembentukan Medan Listrik.....          | 21 |
| 2.2.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja ESP.....      | 22 |
| 2.2.3.4 Komponen ESP .....                             | 24 |
| 2.2.4 Teori Dasar Listrik Statis.....                  | 26 |
| 2.2.4.1 Muatan Listrik.....                            | 26 |
| 2.2.4.2 Penghantar Dan Isolator .....                  | 27 |
| 2.2.4.3 Hukum Coulumb.....                             | 27 |
| 2.2.4.4 Medan Listrik.....                             | 28 |
| 2.2.4.5 Perbedaan Potensial.....                       | 29 |
| 2.2.4.6 Arus Listrik .....                             | 29 |
| 2.2.4.7 Kecepatan Perpindahan Partikel .....           | 30 |
| 2.2.4.8 Nilai Efisiensi ESP .....                      | 30 |
| 2.2.5 Tipe – Tipe Elektrostatic Precipitator.....      | 31 |
| 2.2.6 Kelebihan Dan Kekurangan ESP .....               | 33 |
| 2.2.7 Keunggulan Tipe Yang Dipilih.....                | 34 |
| 2.2.8 keunggulan Utama ESP FL SMIDTH .....             | 36 |

### **BAB III METODE PENELITIAN**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Lokasi Penelitian.....                    | 37 |
| 3.2 Alat Dan Bahan Penelitian .....           | 37 |
| 3.3 Prosedur Penyetingan PIACS FL SMIDTH..... | 39 |



|   |           |
|---|-----------|
| 3.4 Data Penelitian .....               | 41        |
| 3.5 Jalannya Penelitian.....            | 42        |
| 3.6 Diagram Alir .....                  | 44        |
| <b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>    |           |
| 4.1 Pembentukan Listrik Korona .....    | 45        |
| 4.2 Menghitung Nilai Efisiensi ESP..... | 46        |
| <b>BAB V PENUTUP</b>                    |           |
| 5.1 Kesimpulan.....                     | 49        |
| 5.2 Saran.....                          | 49        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>             | <b>50</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>                         |           |

## DAFTAR GAMBAR

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Peletakan Elektrostatic Precipitator.....            | 19 |
| Gambar 2.2 | Prinsip Penangkapan Debu Oleh ESP .....              | 21 |
| Gambar 2.3 | Komponen – Komponen ESP .....                        | 24 |
| Gambar 2.4 | Hammer Pada ESP .....                                | 25 |
| Gambar 2.5 | Jumlah Field Dalam Satu ESP .....                    | 25 |
| Gambar 2.6 | Model Aliran Gas Buang Pembakaran Di Dalam ESP ..... | 26 |
| Gambar 3.1 | Transformator Rectifier .....                        | 37 |
| Gambar 3.2 | Control Cabinet FL SMIDTH.....                       | 38 |
| Gambar 3.3 | Stasiun Gas 4DT – 301B .....                         | 39 |
| Gambar 3.4 | Papan Tombol PIACS DC FL SMIDTH.....                 | 40 |
| Gambar 3.5 | MCB Power Panel Trafo .....                          | 40 |
| Gambar 3.6 | MCB Power Control.....                               | 41 |

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Rectifier ESP.....

Tabel 3.2 Spesifikasi Control Cabinet Untuk ESP.....

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Revolusi industri di Inggris pada akhir abad 18 atau sekitar tahun 1760 telah merubah masyarakat tradisional menuju masyarakat modern. Salah satu hal yang mendeterminasi revolusi ini adalah ditemukannya mesin uap oleh ilmuwan bernama James Watt pada tahun 1796. Yang kemudian Ia mendapat sebutan sebagai bapak revolusi industri. Dimana saat itu mulai ditemukannya alat-alat produksi baru yang semula digerakan secara manual oleh tenaga manusia maupun hewan diganti dengan mesin-mesin tenaga uap yang digerakan secara otomatis. Seperti pada industri tekstil, yang mana mesin pemintal kapas yang manual diganti dengan mesin pemintal yang otomatis.

Kemudian penemuan-penemuan baru tidak hanya pada bidang mesin produksi saja tetapi juga alat transportasi darat, laut dan udara, elektronika yaitu pesawat telepon, telegraph dan radio serta bidang kimia. Penemuan pun tidak hanya terjadi di Inggris melainkan juga merambah ke negara lain seperti Perancis, Italia, Belanda, Amerika Serikat dan lain-lain. Segala bentuk penemuan pada periode tersebut merupakan langkah awal menuju era teknologi seperti sekarang ini.

Disamping itu, kegiatan industri selalu dikaitkan dengan sumber pencemaran, karena industri merupakan kegiatan yang sangat tampak dalam pembebasan berbagai senyawa kimia kedalam lingkungan alam. Pemerintah telah menerbitkan Undang – Undang No. 23 Tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup.

Maka dari itu perlunya adanya suatu alat yang mampu mengurangi dampak dari setiap pembakaran yang dilakukan oleh industri. Adalah Elektrostatic

Precipitator sebagai salah satu alternatif penangkap debu dengan efisien tinggi (mencapai diatas 90 %) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan Elektrostatik Precipitator ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 0,32 % (efektifitas penangkap debu mencapai 99,68 %).

Kendatipun usia mesin Elektrostatik Precipitator masih tergolong baru, tetapi perkembangan dunia elektrostatik sudah cukup lama, dan terus berkembang sampai sekarang ini. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas tentang “ANALISA SISTEM KENDALI ELECTROSTATIC PRECIPITATOR FL SMIDTH PADA BAKING PLANT PT. INALUM (*persero*)”.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah

1. Bagaimanakah proses pembentukan listrik korona pada Electrostatic Precipitator pada Baking Plant PT. Inalum (Persero).
2. Seberapa besar nilai efisiensi Electrostatic Precipitator pada Baking Plant PT. Inalum ( Persero ).

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penulisan ini adalah :

1. Untuk menganalisis proses pembentukan listrik korona pada Elektrostatic Precipitator di PT.Inalum (Persero).

2. Untuk mengetahui seberapa besar tingkat efisiensi terhadap emisi gas buang pada Baking Plant di PT. Inalum (Persero).

#### **1.4. Batasan Masalah**

Permasalahan pada penulisan ini akan dibatasi pada :

1. Perhitungan pembentukan listrik korona terhadap Elektrostatic Precipitator di PT. Inalum (Persero).
2. Perhitungan tingkat efisiensi terhadap emisi gas buang Electrostatic Precipitator pada Baking Plant di PT. Inalum (Persero).

#### **1.5. Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian terdiri atas :

1. Studi Literatur

Dilakukan untuk mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan permasalahan penelitian.

2. Kunjungan Lapangan

Metode ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana alat yang ada dilapangan yang berkaitan dengan alat yang akan diteliti serta komponen – komponen pendukung lain yang berhubungan dengan alat yang akan diteliti.

3. Wawancara

Metode ini dilakukan untuk berdiskusi kepada praktisi atau pihak-pihak yang berkompeten untuk mengetahui gambaran dan informasi secara lebih jelas terhadap berbagai masalah dalam perancangan ini.

#### 4. Pengujian dan analisis

Pengujian merupakan metode untuk memperoleh data dari beberapa bagian perangkat keras dan perangkat lunak sehingga dapat diketahui apakah sudah dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan, Selain itu pengujian juga digunakan untuk mendapatkan hasil dan mengetahui kemampuan kerja dari sistem.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan ini tersusun atas beberapa bab pembahasan. Sistematika penulisan tersebut adalah sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penelitian.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan tentang pandangan umum tentang sistem Elektrostatic Precipitator sebagai penangkap emis debu.

#### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, data penelitian, jalannya penelitian, diagram alir/*flowchart*, serta hal – hal lain yang berhubungan dengan penelitian.

#### **BAB IV : PEMBAHASAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini berisi tentang perhitungan pembentukan listrik korona serta perhitungan efisiensi Elektrostatic Presipitator pada Baking Plant di PT. Inalum (Persero).

## **BAB V : PENUTUP**

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penulisan skripsi.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Udara adalah salah satu komponen penting dalam kehidupan. Salah satu indikator kesehatan lingkungan adalah tersedianya udara yang bersih. Akan tetapi di zaman modern ini, banyak polusi udara yang terjadi yang disebabkan asap industri, asap kendaraan bermotor, dan asap rokok. Partikel polusi akan berada dalam jangka waktu yang lama dan melayang- layang di udara yang kemudian masuk ke pernafasan. Hal ini berbahaya untuk kesehatan manusia (Raditya,2015).

Berbagai macam cara digunakan untuk mengendalikan emisi gas hasil pembakaran, terutama hasil pembakaran pada kendaraan bermotor. Salah satu cara yang digunakan adalah Electrostatic Precipitator (ESP). Efisiensi dari sistem ESP ini sangat berarti untuk mengurangi emisi Partikulat dan menghasilkan emisi yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Hadi, 2015).

Elektrostatik Precipitator (ESP) dapat dioperasikan dengan efisiensi tinggi dan penurunan tekanan rendah. Baru-baru ini, ESP juga telah digunakan untuk membersihkan ruangan udara. Dalam ulasan ini, prinsip-prinsip presipitasi elektrostatik, seperti partikel pengisian, migrasi kecepatan partikel bermuatan dan efisiensi pengumpulan, dijelaskan. Kinerja ESP memburuk oleh fenomena yang abnormal, termasuk korona untuk mengurangi debu resistivitas tinggi, normal untuk debu resistivitas rendah, dan korona pendinginan untuk debu halus. Untuk mengatasi dengan fenomena ini, teknologi baru telah dikembangkan. energization pulse adalah teknik untuk mengatasi debu resistivitas tinggi, dan hasil ini dalam konsumsi daya yang rendah. Menggunakan energization pulse, plasma non-termal

dapat dihasilkan dan reaksi kimia dapat dipromosikan untuk mengobati polutan gas seperti NO dan senyawa organik yang mudah menguap. basah ESP juga dapat menghapus debu dan polutan gas secara bersamaan, ini kemajuan baru akan memperluas bidang aplikasi presipitasi elektrostatik ( Mizuno Department of Ecological Engineering Toyohashi University of Technology Aichi, Japan ).

ESP digunakan sebagai penyaring debu yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada *burner*. Untuk menghasilkan listrik statis digunakan unit transformator yang masing-masing melayani perangkat alat pada precipitator. Listrik statis yang diperlukan pada proses penyaringan debu diperoleh melalui Converter AC/ DC melalui transformator step - up ( Dedy, 2008 ).

Pada umumnya ESP digunakan pada industri semen, kelapa sawit, pabrik aluminium, batu bara, dan lain – lain. Cerobong gas dari industri yang berbeda mengandung partikel debu dari endapan kimia yang berbeda yang berbahaya bagi lingkungan. Elektrostatik sangat sering digunakan dalam industri untuk menyaring gas buang gas mereka dan untuk mencegah atmosfer untuk menjadi tercemar. Elektrostatik sangat efisien dalam pekerjaan mereka. Debu elektrostatik menggunakan kekuatan medan listrik untuk memisahkan partikel debu dari cerobong gas. Elektrostatik mengisi partikel debu dan menghapus partikel-partikel ini dengan menarik partikel debu bermuatan menuju piring pengumpulan. Pengisian partikel debu membutuhkan zona pengisian. Ketika gas melewati zona pengisian, partikel debu dalam aliran gas menjadi bermuatan dan kemudian partikel bermuatan tertarik ke arah piring mengumpulkan. Desain dari debu elektrostatik memerlukan pengetahuan prinsip kerja dan masalah-masalah yang sering timbul selama kerjanya. Tesis ini adalah studi tentang kerja dan masalah-

masalah debu elektrostatis. Alasan utama untuk masalah dalam bekerja dari sebuah Electrostatic Precipitator adalah resistivitas debu. resistivitas debu ini mempengaruhi kinerja koleksi sebuah Electrostatic Precipitator ( Ahmad, 2011 ).

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Proses Produksi Aluminium**

Listrik yang dihasilkan melalui PLTA PT. Inalum (Persero), yang terletak di Sungai Asahan, disalurkan ke Pabrik Peleburan Aluminium di Kuala Tanjung melalui 275 kV jaringan transmisi. Bahan baku untuk Aluminium dibongkar di pelabuhan PT. Inalum (Persero) dan dimasukkan ke dalam silo masing-masing melalui *belt conveyor*. Alumina di dalam silo kemudian dialirkan ke *Dry Scrubber System* untuk direaksikan dengan gas HF dari tungku reduksi. *Reacted alumina* tersebut kemudian dibawa ke *Hopper Pot* dengan *Anode Changing Crane* (ACC) dan dimasukkan ke dalam tungku reduksi. Kokas yang ada di dalam silo dicampur dengan *butt* atau puntung anoda dan dipanaskan dulu. Material-material tersebut dicampur dengan *pitch* sebagai perekatnya. Kemudian material tersebut dicetak di *Shaking Machine* menjadi blok karbon mentah. Blok tersebut kemudian dipanggang di *baking furnace*. Anoda yang sudah dipanggang kemudian dibawa ke pabrik penangkaian untuk diberikan tangkai, namanya *Anode Assembly*. Anode assembly ini kemudian dibawa ke Pabrik Reduksi dengan kendaraan khusus, *Anode Transport Car* (ATC) untuk digunakan sebagai elektroda dalam proses elektrolisa. Setelah anoda tersebut dipakai selama kurang lebih 28 hari di dalam pot, puntung anoda tersebut diganti dengan yang baru. Puntung tersebut kemudian dipecah di pabrik penangkaian untuk kemudian dipakai lagi. Di dalam tungku

reduksi, alumina akan dielektrolisa menjadi aluminium cair. Setiap 32 jam, setiap pot akan dihisap 1,8 sampai 2 ton aluminium. Aluminium cair ini kemudian dibawa ke pabrik Penuangan dengan *Metal Transport Car* (MTC) dan dituangkan ke dalam  *Holding Furnace*. Setelah mendapat proses lanjutan, aluminium cair ini dicetak di *Casting Machine* menjadi *ingot*, beratnya 22,7 kg per batang. Aluminium batangan (*ingot*) ini kemudian diikat dan siap untuk dipasarkan. PT Inalum (Persero).

### **2.2.1.1 Blok Anoda Karbon**

Blok anoda karbon yang disebut *Baked Block* (BB) diproduksi di pabrik karbon dengan menggunakan bahan baku berupa kokas (*Petroleum Coke*) yang didatangkan dari Jepang dan Amerika, dan Pitch keras (*hard pitch*) yang telah dicairkan dan berfungsi sebagai *binder*/perekat yang diimpor dari Jepang. Disamping itu, sisa anoda dari tungku reduksi (*Butt*) dan bongkahan bekas dari pabrik pemanggangan masih digunakan sebagai bahan untuk pembuatan anoda blok. Proses pembuatan anoda blok ini terdiri atas :

1) Pembuatan Blok Anoda Mentah di pabrik Anoda Mentah (*Green Plant*) Kokas yang berasal dari penyimpanan kokas (*Coke Silo*) dibawa ke pabrik anoda mentah menggunakan ban berjalan yang disebut *belt conveyer* dan *bucket elevator*. Selanjutnya dilakukan penyaringan secara gravitasi dengan menjatuhkan kokas dari tingkat 8 sehingga tersaring sesuai dengan ukurannya. Setelah penyaringan, maka diperoleh kokas dengan ukuran sebagai berikut:

- a. Kasar-1 (*Coarse-1*) : 3-18 mm
- b. Kasar-2 (*Coarse-2*) : 1-3 mm

c. Menengah (*medium*) : 1-0,2 mm

d. Debu (*Dust*) : < 0,2 mm

2) Pemangangan Blok anoda mentah di Pabrik Pemangangan Anoda (*Baking Plant*) Blok anoda mentah dari pabrik anoda mentah diangkut ke pabrik pemangangan menggunakan Chain conveyor. Di PT. Inalum (Persero) terdapat 106 tungku pemangangan anoda yang berukuran 5 x 6 x 5 meter. Kapasitas 1 tungku adalah 75 anoda. Proses pemangangan ini terdiri atas 5 tahap :

a. *Anode Baking Crane* (ABC)

b. Pemanasan awal (*Preheating*)

c. Pembakaran awal (*Firing*)

d. Pendinginan (*Cooling System*)

e. Pengeluaran blok anoda (*Discharging*) dari *furnace*.

3) Penangkaian Anoda Karbon di pabrik penangkaian (*Rodding Plant*) Anoda yang telah dipanggang di *baking plant* diangkut ke pabrik penangkaian untuk diberi tangkai. Anoda-anoda yang telah diberi tangkai ini siap untuk digunakan di pabrik peleburan aluminium. Tangkai yang digunakan terbuat dari aluminium yang pada awalnya didatangkan dari Jepang. Tangkai ini dapat digunakan berulang kali, dengan kata lain bahwa tangkai yang digunakan adalah tangkai yang sudah dipakai sebelumnya di tungku reduksi. Pada saat pencetakan anoda mentah, pada sisi atas anoda tersebut telah dibuat lubang sebagai tempat pemasangan tangkai. Agar blok anoda dan tangkai dapat bersatu dengan kuat, maka digunakan besi tuang (*Cast Iron*). Setelah diberi tangkai, anoda tersebut disemprot dengan aluminium cair untuk mengurangi terjadinya oksidasi antara karbon dan udara.

### 2.2.1.2 Pabrik Reduksi

Aluminium merupakan unsur yang sangat reaktif sehingga mudah teroksidasi. Karena sifatnya itu, di alam tidak ditemukan *aluminium* dalam bentuk unsur, melainkan senyawa oksida. Umumnya dalam bentuk oksida alumina atau silikat. Proses produksi aluminium yang digunakan saat ini ditemukan secara bersamaan oleh *Charles Hall* di Amerika Serikat dan *Paul Herlout* di Prancis pada tahun 1886. Prosesnya adalah elektrolisa larutan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) di dalam lelehan Kriolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) pada temperatur  $980^\circ\text{C}$ , sehingga menghasilkan aluminium cair. Pot atau tungku reduksi berbentuk kotak baja persegi yang dindingnya berlapiskan batu isolasi atau batu tahan api (*Brick*) dan pasta yang disebut *Castable*. Di dasar pot terdapat katoda karbon yang dihubungkan dengan *collector bar*, yang berfungsi sebagai penghantar listrik. Di bawah katoda dilapisi brick. Di PT. Inalum (Persero) terdapat 510 unit pot reduksi yang terbagi menjadi 3 gedung, sehingga di masing-masing gedung terdapat 170 pot. Arus listrik yang digunakan sebesar 190 KA-195 KA, dengan tegangan rata-rata di setiap pot 4,3 Volt.

### 2.2.1.3 Pabrik Pencetakan

Aluminium cair yang dihasilkan di pabrik peleburan (*Reduction Plant*) yang telah dihisap oleh *vacuum ladle* dibawa dengan *Metal Transport Car* ke pabrik penuangan. Di pabrik pencetakan (*casting shop*) temperatur aluminium cair tetap dijaga dan ditaburi *flux* untuk memurnikannya. *Dross* yang terbentuk dipermukaan aluminium cair diambil, lalu didinginkan di tempat pendinginan *dross*. Terdapat 10 unit dapur di pabrik pencetakan, yang terdiri dari 1 unit dapur

pelebur (*Melting Furnace*) dan 9 unit dapur penampung (*holding furnace*) dengan masing-masing kapasitas 30 ton aluminium cair. Sebelum diisikan ke dalam dapur, *Metal Transport Car* beserta *ladle* dan isinya ditimbang pada 40 ton scale. Aluminium yang sudah murni diatur temperaturnya, kemudian dituangkan ke *casting machine* melalui suatu pengalir, dimana aluminium ini akan membeku membentuk aluminium batangan (*ingot*). *Ingot* yang keluar dari *casting machine* masuk ke konveyor pendingin, lalu dipindahkan ke conveyor penumpuk dengan menggunakan *servo arm*. Setelah tumpukan *ingot* ditimbang, selanjutnya dipindahkan ke lapangan pendingin dengan menggunakan *Forklift*, sedangkan *ingot* yang sudah dingin dilakukan proses *bundling*, kemudian disimpan ke lapangan penyimpanan *ingot*. Di PT. Inalum (Persero) terdapat 7 unit *casting machine* untuk pencetakan *ingot* 50 pon (22,7 Kg) dengan kapasitas 12 ton/jam untuk masing-masing unit *casting*.

Dari proses pemanggangan blok anoda yang tidak sempurna yang terdapat di baking plant menghasilkan partikulat debu yang melayang di udara (*fly ash*) yang merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang tersebar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Fly ash pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber emisinya. Maka dari itu untuk menekan emisi partikulat debu digunakan Electrostatic Precipitator (ESP).

### 2.2.2 Parameter Pencemaran Udara

Selama ini teknologi pengolahan limbah kurang mendapat perhatian di Indonesia. Padahal, tidak sedikit permasalahan limbah cair maupun gas terbentur pada permasalahan penggunaan teknologi. Dengan semakin berkembangnya perindustrian di Indonesia, sudah selayaknya pemilihan serta penggunaan teknologi yang tepat dalam mengatasi masalah limbah segera ditetapkan.

Adapun limbah industry dibedakan menjadi empat jenis, yaitu :

- a. Limbah cair
- b. Limbah padat
- c. Limbah gas dan partikel
- d. Limbah B3 ( Bahan Berbahaya Beracun )

Limbah gas atau asap yang diproduksi pabrik keluar bersamaan dengan udara. Secara alamiah udara mengandung unsure kimia seperti  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO_2$  dan lain – lain.

Pencemaran berbentuk gas hanya bisa dapat dirasakan dengan penciuman untuk gas – gas tertentu seperti  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ . Sedangkan partikel adalah butiran halus dan masih mungkin terlihat oleh mata seperti uap air, debu, asap, kabut dan fame.

Parameter pencemaran udara yang dihasilkan dari pembakaran anoda pada Baking Plant PT. Inalum (Persero) :

#### A. Sulfur Dioksida

##### a. Sifat Fisik

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida ( $SO_2$ ) dan sulfur



trioksida ( $SO_3$ ) dan keduanya disebut sulfur oksida (Sox). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.

b. Sumber Dan Distribusi

Masalah yang timbul oleh bahan pencemaran yang dibuat oleh manusia adalah dalam hal distribusinya yang tidak merata sehingga terkonsentrasi pada daerah tertentu. Sedangkan pencemaran yang bersala dari sumber alam biasanya lebih tersebar merata. Tetapi pembakaran bahan bakar di industry pada dasarnya merupakan sumber pencemaran Sox, misalnya bahan bakar batu bara.

c. Dampak Dan Pencegahan

Pencemaran Sox menimbulkan dampak pada terhadap manusia dan hewan, kerusakan pada tanaman terjadi pada kadar 0,5 ppm. Pengaruh utama Sox pada manusia adalah iritasi sistem pernapasan.

B. Karbon Monoksida

a. Sifat Fisik

Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pikmen darah.

b. Sumber Dan Distribusi

Sumber CO buatan antar lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin, sedangkan dari sumber yang tidak bergerak misalnya pembakaran batubara, minyak dari industry dan pembakaran sampah domestik.

c. Dampak Dan Pencegahan

Dampak dari CO bervariasi tergantung dari kesehatan seseorang, pengaruh CO kadar tinggi adalah terhadap sistem syaraf pusat. Untuk menekan emisi CO digunakan scrubber pada cerobong asap.

C. Nitrogen Dioksida

a. Sifat Fisik

Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida berwarna merah kecoklatan dan berbau tajam.

b. Sumber Dan Distribusi

Sumber terbesar NO<sub>x</sub> adalah dari aktivitas manusia di perkotaan dan kegiatan industri.

c. Dampak Dan Pencegahan

Dampak NO<sub>x</sub> berbahaya bagi makhluk hidup sekitar dan bersifat racun terutama terhadap paru. Untuk menekan NO<sub>x</sub> digunakan unit Low NO<sub>x</sub> Combustion.

D. Partikel Debu

a. Pada dasarnya sisa pembakaran gas buang anoda yang bersifat debu dibedakan menjadi dua jenis :

1. Bottom Ash (abu dasar), bersifat mengendap pada ruang pembakaran dan proses pembuangan hanya menggunakan conveyor.

## 2. Fly Ash (abu terbang)

Partikulat *fly ash* (debu terbang) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar diudara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Partikulat tersebut akan berada diudara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang – layang diudara dan masuk ke tubuh manusia melalui pernapasan. Fly ash pada umumnya mengandung senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber emisinya.

### b. Sumber Dan Distribusi

Partikulat debu yang melayang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang tidak sempurna sehingga terbentuk aerosol kompleks dari butiran – butiran tar. Dibandingkan dengan pembakaran batubara, pembakaran minyak dan gas menghasilkan abu terbang lebih sedikit.

### c. Dampak Dan Pencegahan

Pengaruh partikulat debu bentuk padat maupun cair yang berada di udara sangat tergantung kepada ukurannya. Ukuran partikulat debu yang membahayakan kesehatan umumnya berkisar antara 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron. Adanya ceceran logam beracun yang terdapat pada partikulat debu di udara merupakan bahaya yang sangat besar bagi kesehatan. Batas baku mutu emisi debu yang ditetapkan pemerintah sebesar  $150 \text{ mg/ m}^3$ . Untuk menekan emisi debu digunakan Elektrostatic Precipitator.

### 2.2.3 Electrostatic Precipitator ( ESP )

Abu adalah material padat yang tersisa setelah terjadinya proses pembakaran. Dalam jumlah banyak, abu menjadi salah satu polutan yang sangat berbahaya jika bercampur dengan atmosfer. Salah satu sumbernya pada penghasil abu yang cukup tinggi adalah boiler. Setiap boiler yang menggunakan bahan bakar fosil (kecuali gas alam) pasti menghasilkan emisi abu. Bahan bakar yang mengandung banyak abu adalah batubara. Kandungan abu dalam batubara berkisar antara 5 – 30 % tergantung dari jenisnya serta proses penambangan. Dan khususnya pada pabrik peleburan aluminium seperti yang terdapat di PT. Inalum (persero) terdapat baking plant, dimana baking plant adalah tempat pemanggangan blok anoda yang menjadi bahan pada proses pembuatan aluminium.

Ada dua jenis abu yang dihasilkan dari pemanggangan di dalam baking plant, yakni *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* adalah abu yang berukuran cukup kecil, sehingga ia bercampur dengan gas-gas hasil pembakaran (*flue gas*) dan akan keluar melalui cerobong asap. Sebagian dari abu yang dihasilkan dari proses pembakaran akan menempel pada dinding-dinding pipa cerobong, terakumulasi, memadat, dan suatu saat ia akan jatuh ke bagian bawah.

Berdasarkan penelitian, komponen abu pada baking plant tersusun atas berbagai senyawa oksida beracun diantaranya silikon oksida, titanium oksida, ferit oksida, aluminium oksida, kalsium oksida, magnesium oksida, sodium oksida, potasium oksida, sulfur trioksida, difosfor pentoksida, serta beberapa senyawa lain. Proporsi jumlah dari senyawa-senyawa penyusun abu dapat bervariasi tergantung dari jenis dan lokasi penambangan batubara yang digunakan.

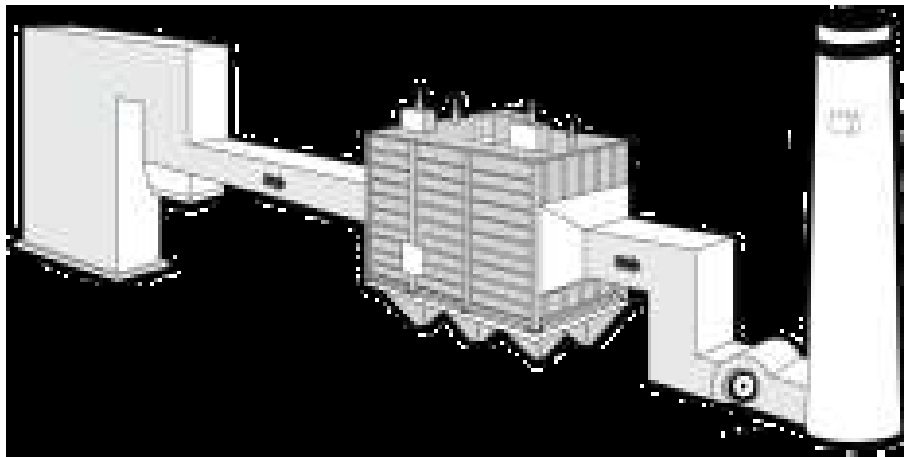
Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 30 Tahun 2009, *fly ash* atau abu yang dihasilkan oleh proses pembakaran dari boiler, dikategorikan sebagai Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Sehingga penanganan abu ini harus sesuai dengan regulasi pemerintah agar tidak mencemari lingkungan.

Ada beberapa teknologi yang dapat digunakan untuk mengontrol emisi *fly ash* yang dihasilkan dari proses pemanggangan blok anoda pada baking plant.. Alat pengontrol emisi abu ini bertugas untuk menghilangkan kandungan abu dari gas buang baking plant, menjaga abu tersebut agar tidak masuk kembali bercampur dengan udara pembakaran, serta mengontrol proses pembuangannya agar sesuai dengan peraturan daerah yang berlaku. Ada beberapa jenis teknologi yang dapat digunakan untuk mengontrol *fly ash*, diantaranya adalah *electrostatic precipitator*, sistem filter, kolektor abu mekanik, dan *venturi scrubbers*. Masing-masing jenis teknologi tersebut memiliki ciri khas dan fungsi sendiri-sendiri. Namun yang paling umum digunakan pada di dunia industri adalah *electrostatic precipitator* (ESP). Teknologi ini akan menjadi fokus pembahasan pada kesempatan kali ini.

Awal mula prinsip penggunaan ESP diilhami pada tahun 1824 oleh Dr. M. Hohlfeld di Leipzig melaporkan percobaannya tentang botol pembersih kabut yang mengandung listrik. Pada tahun 1884 elektrostatis precipitator pertama kali di gunakan dalam industri untuk menangkap partikel – partikel. Tercatat paten dari UK dengan nomor 11 120 oleh Alfred Walker tentang penyusunan peralatan, yang kemudian berkembang hingga sekarang.

ElectroStatic Precipitator (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi (mencapai diatas 90%) dan rentang partikel yang

didapat cukup besar. Dengan menggunakan electrostatic precipitator (ESP) ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 4,57 % (efektifitas penangkapan debu mencapai 95,43%), ukuran partikel debu terkecil yang diperoleh  $< 2 \mu\text{C}$ . Hasil pembakaran di ruang bakar tersebut mengandung banyak debu dan debu tersebut akan terbawa bersama gas buang menuju cerobong. Sebelum gas buang tersebut keluar melalui cerobong, maka gas buang tersebut akan melewati kisi-kisi suatu sistem *electrostatic precipitator* (ESP).



Gambar 2.1 Peletakan Electrostatic Precipitator.

### 2.2.3.1. Prinsip Kerja Electrostatic Precipitator

Prinsip kerja dari electrostatic precipitator (ESP) adalah :

Prinsip kerja *electrostatic precipitator* didasarkan atas partikel bermuatan listrik yang dilewatkan dalam satu medan elektrostatis. Sistem filter ini terdiri dari dua buah elektroda yaitu elektroda pelepasan (discharge electrode atau emitting) yang berupa kawat baja (*steel wire*) dan elektroda pengumpul (*collecting electrode*) yang berupa plat baja (*steel plate*). *Discharge electrode / emitting* bermuatan negatif (—) berfungsi menghasilkan elektron bebas yang digunakan untuk

memberikan muatan (charging) pada partikel debu, *Collecting electrode* berfungsi untuk menarik partikel bermuatan sehingga partikel debu dalam gas akan terakumulasi pada platnya. Dengan tegangan yang cukup besar diantara kedua elektroda, maka disekitar *emitting electrode* timbul korona. Elektron-elektron ini akan mengionisasi gas di sekitarnya sehingga akan terbentuk ion-ion positif dan negatif dari gas. Karena pengaruh medan yang kuat maka ion— ion positif bergerak menuju *emitting electrode*.

Dalam perjalanan ion negatif ke *collecting electrode* jika bertemu dengan partikel debu, maka ion tersebut akan melepaskan muatannya ke partikel tersebut sehingga muatan akan berpartikel negatif. Ion partikel ini kemudian tertarik ke *collecting electrode*. Pada *electrode* ini ion partikel ditangkap dan dinetralisir, disamping sebagian kecil partikel debu dimuati oleh ion positif sehingga partikel ini bermuatan positif yang kemudian bergerak menuju *emiting electrode*. *Discharge electrode* berada ditengah-tengah antara *collecting plate* dan dipasang secara berselang seling, Debu yang terbawa bersama gas dilewatkan melalui elektroda-elektroda tersebut dimana debu akan diberi muatan oleh *discharge electrode*. Kemudian debu yang bermuatan akan tertarik oleh *collecting plate* sedikit demi sedikit.

Material yang diberi muatan negatif akan menempel pada *collecting plate* sebagai efek medan elektrostatis yang ada secara simultan antara *discharge electrode* dan *collecting plate*. Debu yang menempel pada *collecting plate* secara periodik dilepas dengan cara pemukulan menggunakan *Rapper* dengan berat 8.2 kg dan di setting selama 3 detik, sehingga debu tersebut jatuh dan ditampung ke dalam *Hopper* yang kemudian dikirim ke proses berikutnya melalui *Belt*

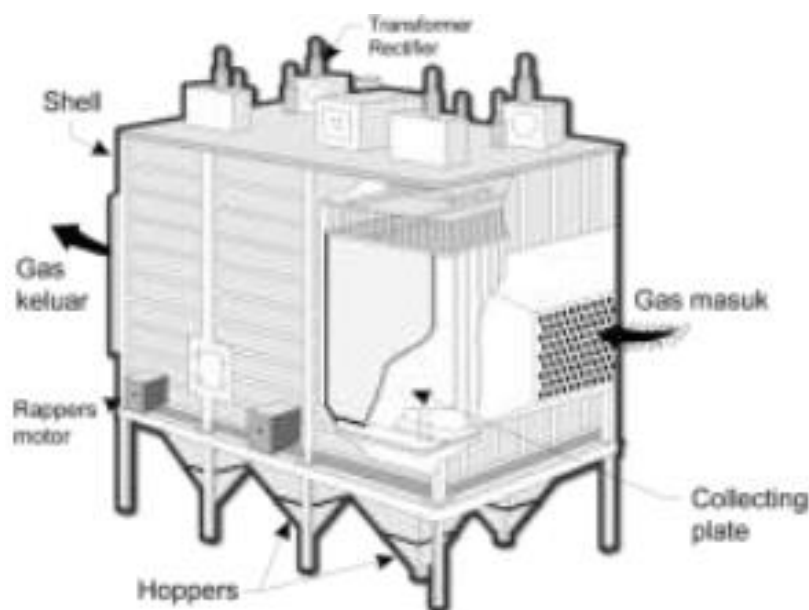
*Conveyor*, sedangkan debu yang tidak tertangkap karena faktor tertentu akan dihisap melalui *Chimney*.

Spesifikasi Runwill ESP :

Tipe : *Steel Casing, Outdoor type*

Volume gas : 9800 m<sup>3</sup> /menit pada 135°C

Kandungan debu keluaran : 0,08 g/Nm<sup>3</sup>



Gambar 2.2 Prinsip Penangkapan Debu Oleh ESP.

#### 2.2.3.2. Proses Pembentukan Medan Listrik

Pada proses pembentukan medan listrik :

1. Terdapat dua jenis elektroda, yaitu discharge electrode yang bermuatan negatif dan plat pengumpul bermuatan positif.
2. Discharge electrode diletakkan diantara plat pengumpul pada jarak tertentu.
3. Discharge electrode diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan minus. pada level tegangan antara 55 – 75 KvDC (sumber listrik awalnya adalah 380 volt AC, kemudian dinaikkan oleh transformer menjadi sekitar 55 – 75



Kv dan dirubah menjadi listrik DC oleh rectifier, diambil hanya potensial negatifnya saja.

4. Plat pengumpul ditanahkan (di-grounding) agar bermuatan positif.
5. Dengan demikian, pada saat discharge electrode diberi arus DC maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi tirai-tirai elektroda tersebut dan partikel-partikel debu akan tertarik pada pelatpelat tersebut. Gas bersih akan terus bergerak ke cerobong asap.

### **2.2.3.3 Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja ESP**

Faktor-faktor yang mempengaruhi desain dan kinerja electrostatic precipitator adalah sebagai berikut :

1. Resistivitas Debu (Dust Resistivity)

Salah satu sifat debu yang sangat penting adalah resistivitasnya, yaitu tahanan jenis listrik (specific electrical resistance). Resistivitas debu sangat tergantung pada komposisi fisik dan kimia serta distribusi ukuran partikel debu. Di samping itu, faktor lain yang mempengaruhi resistivitas adalah kandungan uap air dan suhu dari gas.

2. Ukuran Partikel Debu (Particle Size)

Seperti diketahui bahwa ESP beroperasi dengan cara memberikan gaya listrik kepada setiap individu dari partikel debu. Dengan demikian maka kinerjanya sangatlah tergantung pada ukuran partikel debu yang dapat diberikan gaya listrik. Debu halus akan lebih sulit untuk ditangkap dibandingkan dengan debu yang kasar. Dengan demikian partikel debu dengan ukuran  $\leq 1$  mikron akan lebih efektif ditangkap dengan penangkap debu selain ESP.

### 3. Aliran Gas (Gas Flow)

Semakin tinggi kecepatan aliran udara berakibat pada makin tingginya kecepatan berpindah ion-ion. Maka akan semakin sulit partikel untuk tertangkap oleh collecting plate.

### 4. Suhu Gas (Gas Temperature)

Temperatur gas yang masuk ke dalam ESP harus dikendalikan agar berada di dalam jangkauan optimum yang menyebabkan debu dapat ditangkap. Efektivitas bisa turun karena suhu terlalu tinggi atau terlalu rendah dari spesifikasi alat. Tertutupnya elemen elektroda konektor oleh debu yang sudah mengeras disebabkan oleh rendahnya suhu pada EP dibanding suhu spesifikasi, sehingga debu yang lewat menjadi lembab dan mudah mengeras pada elektroda konektor. Bila suhu terlalu tinggi, maka pengionisasi debu kurang optimal sehingga debu banyak lolos.

### 5. Kandungan Uap Air pada Gas (Moisture Content)

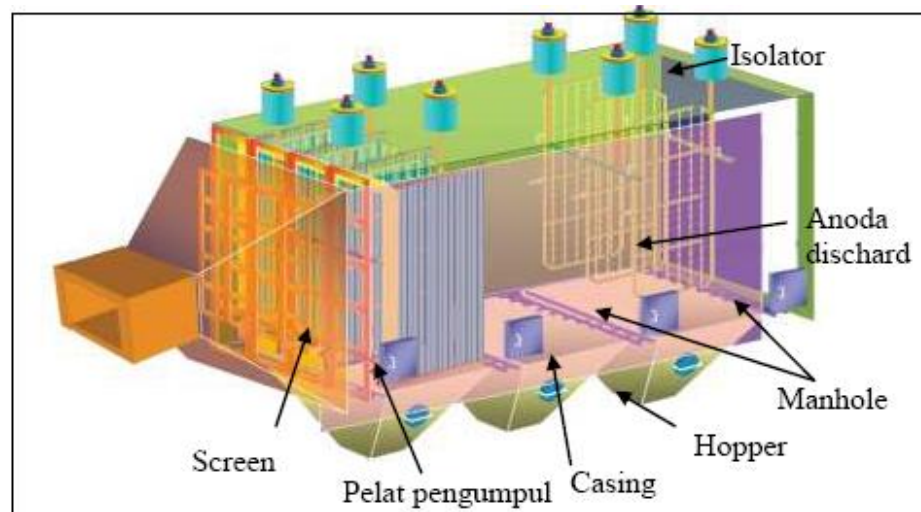
Kandungan uap air sendiri sangat menentukan suhu, dimana kandungan uap air yang rendah mencerminkan tingginya suhu, dan sebaliknya jika kandungan uap air tinggi berarti temperatur rendah, dan efisiensi EP akan berkurang.

### 6. Kandungan Gas CO

Efektivitas EP juga bisa terganggu apabila kandungan CO melebihi kadar tertentu, sehingga peralatan otomatis akan mati untuk alasan keamanan. Apabila masih dalam kondisi operasi, maka berpotensi menimbulkan ledakan.

### 2.2.3.4 Komponen - Komponen Elektrostatic Precipitator ( ESP )

Adapun komponen - komponen ESP sebagai berikut :



Gambar 2.3 Komponen – Komponen ESP

Terdapat dua komponen utama pada ESP yaitu :

- A. Komponen utama mekanikal, dan
- B. Komponen utama elektrik.

#### A. Komponen utama mekanikal ESP

Bagian-bagian utama mekanikal ESP terdiri dari *Casing*, *Duct*, *Hopper*, *Hammer* dan *Manhole*.

- a. *Hopper* terpasang pada bagian bawah ESP, sebagai tempat jatuhnya partikel dari elektroda pengumpul akibat mekanisme rapping menggunakan pemukul (*hammer*). Selanjutnya dari *hopper* partikel dikirim ke tangki penampung menggunakan sistem konveyor.
- b. *Casing* dan *Manhole* ESP berada pada bagian luar. *Casing* terbuat dari pelat baja Fe 37B dengan ketebalan hingga 5mm. Panel-panel casing disambung dengan cara di las.

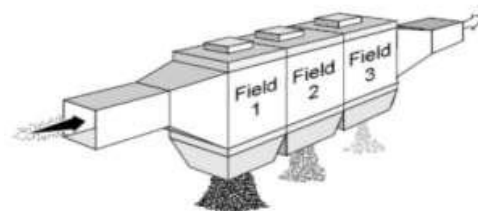
- c. *Hammer* digunakan untuk memukul elektroda pengumpul yang tergantung agak partikel jatuh akibat getaran mekanis yang diakibatkannya.



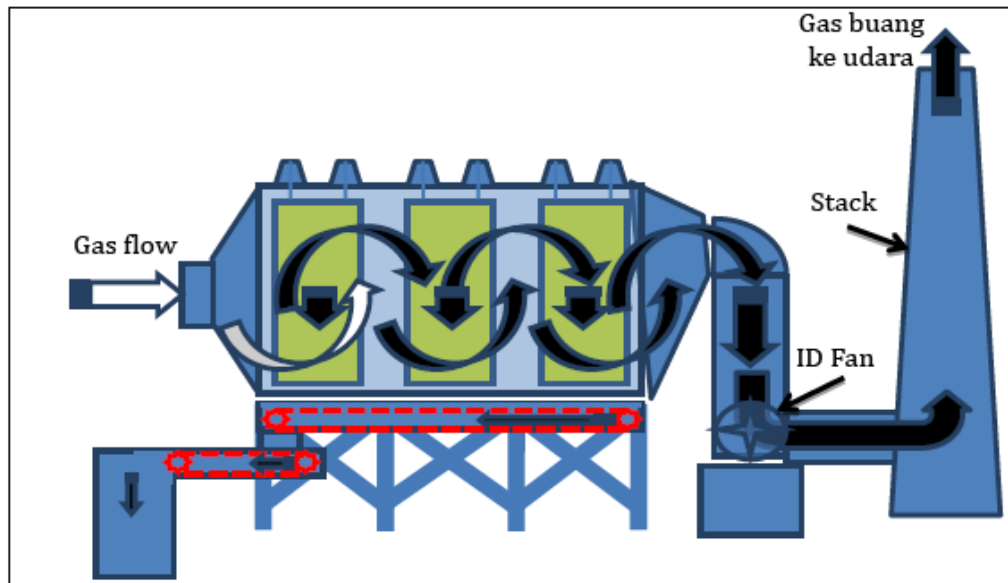
Gambar 2.4 Hammer pada ESP.

## B. Komponen Utama Elektrikal

Komponen utama elektrikal ESP adalah sistem kontrol panel, Rectifire, anoda dan katoda. Rectifire akan menghasilkan arus searah (DC) yang dialirkan pada anoda (kutub positif) dan katoda/ pelat pengumpul (kutub negatif). Selain itu terdapat pula satu fan penghisap gas buang yang berada saluran keluar gas buang ESP. Kontrol panel digunakan untuk mengatur parameter kerja ESP berdasarkan sensor yang terpasang, seperti Hammer Isolator Anoda Dischard Pelat Pengumpul Screen CaPelat pengumpul sing Hopper Manhole Page sensor temperatur, flow rate gas buang dan lain-lain. ESP pada recovery boiler 1, terdiri dari 3 field seperti terlihat pada gambar 2.4. Masing masing field tersusun atas pelat pengumpul dan anoda dischard dalam jumlah yang sama. Susunan pelat pengumpul dan anoda dischard membentuk kisi-kisi, sebagai ruang antara yang akan dilalui oleh partikel-partikel gas buang.



Gambar 2.5 Jumlah Field Dalam Satu ESP



Gambar 2.6 Model Aliran Gas Buang Pembakaran di Dalam ESP.

#### 2.2.4 Teori Dasar Listrik Statik

Listrik statik merupakan proses elektrifikasi terhadap suatu benda sehingga benda tersebut mempunyai muatan potensial listrik electrostatic. Pada dasarnya daya listrik menurut prinsipnya dibagi atas beberapa bagian, yaitu :

- a. Sumber daya yang menimbulkannya disebut Elektrostatic.
- b. Sumber daya magnet yang menimbulkannya disebut Electromagnet
- c. Sumber daya proses kimia yang menimbulkannya disebut Electrochemical.
- d. Sumber daya proses panas yang menimbulkannya disebut Electrothermic.

##### 2.2.4.1 Muatan Listrik

Muatan merupakan suatu sifat dasar dan ciri khas dari partikel dasar yang menyusun zat. Sebenarnya, semua zat tersusun dari proton, neutron dan electron. Dari tinjauan makro, muatan zat sebenarnya merupakan muatan bersih atau

muatan lebih. Benda yang bermuatan lebih artinya kelebihan elektron (negatif) atau kelebihan proton (positif). Muatan biasanya dinyatakan dengan lambang ( $q$ ).

#### 2.2.4.2 Penghantar Dan Isolator

Pada listrik statik, sifat bahan dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu : penghantar listrik dan isolator (dielektrik). Penghantar adalah sifat bahan yang mengandung pembawa muatan bebas dalam jumlah besar, misalnya logam. Dielektrik adalah sifat bahan yang semua partikel bermuatan di dalamnya terikat kuat pada molekul penyusunannya. Kedudukan partikel bermuatan dapat bergeser sedikit akibat adanya suatu medan listrik.

Dielektrik yang sebenarnya mempunyai daya hantar yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan daya hantar pada penghantar yang baik.

#### 2.2.4.3 Hukum Coulumb

Gaya  $F$  pada hukum Coulumb menyatakan besar gaya listrik yang diberikan masing-masing benda bermuatan kepada yang lainnya. Jika kedua benda muatannya sejenis, maka gaya pada masing-masing ber arah menjauhi muatan (tolak-menolak). Sebaliknya jika kedua benda muatannya tidak sejenis, maka gaya pada masing-masing benda mempunyai arah menuju benda yang lain (tarik-menarik).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dimana :  $\epsilon_o$  = konstanta permitifitas

$$\epsilon_o = 8,85 \times 10^{-12}$$

$r$  = jarak antara  $q_1$  dan  $q_2$

#### 2.2.4.4 Medan Listrik

Medan listrik menimbulkan gaya pada setiap partikel yang bermuatan, partikel positif didorong ke arah medan, sedangkan muatan negatif ke arah sebaliknya. Medan listrik akan dihasilkan oleh satu atau lebih muatan listrik, serta dapat disamakan atau dibedakan arah magnetisasinya dari satu tempat ke tempat lainnya.

Besar kuat medan listrik pada Elektrostatic Precipitator ( ESP ) :

1. *Kuat medan pada daerah discharge sebelum ada partikel*

$$E_0 = 3 \times 10^6 m \frac{\partial}{\partial s} \left[ 1 + \frac{0,301}{\sqrt{\frac{\partial}{\partial s} r}} \right] \quad (2.2)$$

Rumus diatas dalam satuan (  $v/m$  )

Dimana :  $\frac{\partial}{\partial s}$  = desitas udara relative =  $2,95 \frac{P}{T}$

$m$  = ( untuk kawat dengan nilai 0,6 )

$r$  = jari – jari kawat

$P$  = tekanan (kPa)

$T$  = temperatur (°K )

2. *Kuat medan listrik pada daerah discharge setelah ada partikel*

$$E_0 = \left( \frac{8IR_2}{\mu_i w \epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

Dimana :

$w$  = jarak antar kawat (m)

$\epsilon_0$  = permitifitas udara (  $8,85 \times 10^{-12}$  )

$\mu_i$  = mobilitas gas ion (  $m^2/$  meter – detik )

$$= \frac{v}{E_0}$$

V = harga rata – rata kecepatan partikel ( m/ s)

#### 2.2.4.5 Perbedaan Potensial

##### 1. Tegangan kritis korona

$$v_o = E_o R_o 1n \frac{R_o}{R_1} \dots (kV) \quad (2.4)$$

Dimana :

$$R_o = \text{jari – jari korona } (R_{1+0,02\sqrt{R_2}})$$

$$R_o = \text{jarak kawat – plat (m)}$$

##### 2. Tegangan aplikasi

$$v_o = E_o \frac{R_o^2 - R_1^2}{R_1} \dots (kV) \quad (2.5)$$

#### 2.2.4.6 Arus Listrik

Arus mengalir pada ESP merupakan arus *drift*, yaitu arus yang mengalir disebabkan oleh berjalannya patikel bermuatan karna adanya medan listrik.

$$I = 2\mu_i \frac{V}{R_2^2 1n \frac{R_2}{R_1}} (V - V_0) \quad (2.6)$$

Dimana :

$$\mu_i = \text{mobilitas gas ion } ( m^2/ \text{meter-detik} ) = \frac{V}{E_0}$$

$$V = \text{harga rata – rata kecepatan partikel ( m/ s )}$$

$$E_0 = \text{kuat medan listrik ( V/ m )}$$



#### 2.2.4.7 Kecepatan Perpindahan Partikel

Perpindahan partikel dipengaruhi oleh kecepatan aliran gas yang dihisap dan medan listrik yang timbul dari proses ionisasi partikel. Kecepatan partikel dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$W = \frac{d_p E_o E_p}{4\mu\pi} \quad (2.7)$$

Dimana :

$d_p$  = Diameter rata – rata partikulat

$E_o$  = Kuat medan listrik (v/ m)

$\mu$  = Viskositas gas buang (kg/ m)

#### 2.2.4.8 Nilai Efisiensi ESP

Menurut *Deutch Anderson* nilai efisiensi dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa ukuran partikel adalah seragam :

$$\eta = 1 - e^{-w(A/Q)} \quad (2.8)$$

Dimana :

e = Tetapan ( 2,718 )

w = Kecepatan perpindahan partikel ( m/s )

A = Luas perpindahan partikel efektif (  $m^2$  )

Q = Kapasitas aliran gas (  $m^3 /h$  )

### 2.2.5 Tipe – Tipe Electrostatic Precipitator

Tipe-tipe Electrostatic Precipitator Menurut Buonicore dan Davis, 1992, Electrostatic Precipitator dikonfigurasi dalam beberapa tipe. Tipe – tipe Electrostatic Precipitator itu sendiri yaitu :

#### 1. Plate-Wire Precipitator

Plate Wire EP ini digunakan pada industri-industri : semen, boiler bertenaga batubara, insinerator buangan padat, pabrik kertas, pemurnian minyak, industri gelas dan lain sebagainya. Pada plate-wire EP ini gas mengalir diantara lempengan paralel dan elektroda bertegangan tinggi. Elektroda merupakan bentangan kawat dan menggantung diantara lempengan. Tegangan yang dialirkan pada elektroda menyebabkan gas bermuatan listrik, proses ini yang dinamakan korona. Elektroda biasanya dialiri dengan listrik bermuatan negatif. Partikulat yang melewati zona bermuatan akan menyerap sebagian ion. Partikel aerosol ( diameter  $< 1\mu\text{m}$  ) dapat menerima ion, sedangkan partikel yang lebih besar ( diameter  $> 10\mu\text{m}$  ) dapat menyerap sampai ribuan ion. Gaya listrik yang lebih besar diperoleh oleh partikel yang lebih besar. Pada EP tipe ini cocok untuk menangani gas dalam volume yang besar. Oleh karena itu power supply untuk EP mengubah tegangan AC (220-480 volts) untuk tegangan DC berkisar antara 20.000-100.000 volts. Power supply ini terdiri dari step-up transformer, high-voltage rectifiers, dan terkadang kapasitas penyangga. Electrostatic Precipitator.

#### 2. Flat-Plate Precipitators

Beberapa presipitator berukuran kecil menggunakan lempengan datar (Flat-Plate) sebagai pengganti kawat. Lempengan datar (Flat-Plate) meningkatkan medan listrik yang dapat digunakan untuk mengumpulkan partikel. Corona tidak

dapat terbentuk, oleh karena itu pembentukan corona dilakukan sebelum dan setelah zona pengumpulan lempengan datar (Flat-Plate). Elektroda-elektroda ini berbentuk seperti jarum dan menempel pada sisi lempengan atau pada kawat bebas. Presipitator jenis flat-plate, dapat beroperasi dengan baik menggunakan muatan positif maupun muatan negatif. Pada umumnya digunakan muatan positif untuk mengurangi pembentukan ozon. Penggunaan ESP jenis ini memerlukan desain yang baik, karena gaya listrik pada partikel yang kecil lebih lemah dibandingkan dengan partikel yang besar. Kecepatan aliran yang rendah dapat menyebabkan kehilangan sejumlah partikulat yang seharusnya tidak terpisahkan. EP tipe flat-plate precipitator.

### 3. Turbular Precipitators

Pada tubular electrostatic precipitator, elektroda bertegangan tinggi terletak pada sumbu tabung. Tabung-tabung dipararelkan untuk mengantisipasi peningkatan aliran gas. Tabung yang digunakan dapat berbentuk : bulat, persegi, ataupun segienam, dengan arah aliran ke atas atau ke bawah. Panjang tabung dipilih sesuai keperluan. Tubular electrostatic precipitator dapat dilapisi dengan bahan untuk mencegah kerusakan akibat bahan berbahaya. Elektroda bertegangan tinggi beroperasi dengan satu jenis tegangan sepanjang tabung. Ketidakteraturan corona yang terbentuk, mengakibatkan beberapa partikel tidak terkena medan listrik. Sehingga hal ini dapat mempengaruhi unjuk efisiensi peralatan. EP tipe turbular precipitator.

### 4. Wet Precipitators

Pada wet precipitator, air dialirkan secara intermitten atau kontinyu untuk membersihkan partikel yang terkumpul di dalam tempat pembuangan. Keuntungan

penggunaan wet precipitator adalah tidak terdapat masalah pada kehilangan volume gas yang bisa diolah, ataupun dengan back corona. Kerugian precipitator ini ialah kompleksitas proses pencucian dan permasalahan pada penanganan lumpur yang dihasilkan. Berikut disajikan gambar EP tipe wet precipitator.

#### 5. Two-Stage Precipitators

Pada keempat precipitator di atas bekerja secara paralel, dimana elektroda medan listrik dan elektroda pengumpul saling berdampingan. Pada two-stage precipitator beroperasi secara seri dimana elektroda pengumpul diletakkan setelah elektroda medan listrik. Untuk penggunaan di dalam ruangan, unit ini dioperasikan dengan menggunakan muatan positif untuk membatasi pembentukan ozon. Keuntungan precipitator two-stage adalah waktu charging yang lebih lama, pembentukan back corona yang lebih sedikit, dan biaya konstruksi yang lebih murah untuk ukuran yang kecil. Precipitator jenis ini biasanya digunakan untuk gas bervolume sampai dengan 50.000 acfm.

#### 2.2.6 Kelebihan dan Kekurangan ESP

Kelebihan dan kekurangan penggunaan Electrostatic Precipitator menurut Cooper (1986) dalam Jati E.K, (2010), adalah :

1. Kelebihan
  - a. Memiliki biaya operasi yang rendah kecuali hendak mencapai efisiensi yang tinggi.
  - b. Efisiensi sangat tinggi untuk partikel yang berukuran sangat kecil.
  - c. Dapat mengatasi volume gas yang tinggi dengan penurunan tekanan yang rendah.

- d. Dapat melakukan dry collection untuk material yang akan digunakan.
  - e. Dapat di desain untuk skala gas yang tinggi.
2. Kekurangan
- a. Harganya mahal.
  - b. Tidak dapat mengontrol emisi gas.
  - c. Sangat tidak fleksibel untuk berubah sesuai kondisi operasional.
  - d. Memerlukan tempat yang luas.
  - e. Tidak bekerja pada partikulat dengan resistivitas elektrik yang tinggi.

### **2.2.7 Keunggulan Tipe Yang Dipilih**

Pada pembahasan kali ini, produk yang menjadi pilihan adalah produk FLSmidth. PT .FLSmidth Contruction Indonesia adalah perusahaan kontraktor yang mengembangkan teknologi komponen bangunan dan struktur baja, instalasi pipa pabrik kimia, pabrik kelapa sawit, anjungan pengeboran minyak, pabrik semen dan lain – lain. Sebagai salah satu produsen Electrostatic Precipitator teknologi, PT. FLSmidth mengembangkan sistem pengendalian pencemaran canggih untuk memenuhi standar industri yang ketat. Efisiensi removal partikel dikendalikan secara real time oleh kontrol tegangan berdasarkan mikro prosesor canggih. FLSmidth memutuskan untuk mengintegrasikan sistem komunikasi HMS industrial Network untuk menginformasikan pengguna dari status peralatan pengendalian pencemaran udara. Karena mampu mengimplementasikan interface ini dengan standar dan solusi mudah terintegrasi. Dalam industri baja, di mana peralatan HMS Industrial Network telah digunakan sebagai peralatan

pengendalian polusi udara harus mampu mengumpulkan berbagai macam polutan. Karena ESP dapat mengumpulkan sangat halus, partikel kering, partikel abrasif dan korosif, solusi ini yang lebih sering disukai di industri. ESP harus mengatasi 2 fenomena yang menurunkan efisiensi yaitu :

1. Efek Spark

Efek Spark ini adalah sirkuit pendek antara pelat dalam ESP. Tidak ada koleksi debu mungkin selama periode ini.

2. Efek Korona Kembali

Efek korona kembali ini adalah ion positif yang dihasilkan dalam lapisan debu dan dapat dipancarkan kembali ke dalam gas.

ESP dikembangkan oleh FLSmidth merupakan solusi teknologi yang sangat tinggi. Ini mengintegrasikan COROMAX pulsa sistem catu daya terbaru yang paling canggih sistem tegangan tinggi di pasar. COROMAX adalah sistem kekuatan tegangan DC dengan menawarkan kontrol yang unik pada partikel listrik yang dibebankan selama 75 impulsions mikrodetik pada 140 kV, sedangkan tegangan rata-rata adalah 40kV. Arus juga dapat dikontrol. Dengan menerapkan pulsa elektrik yang sangat singkat, COROMAX<sup>TM</sup> memungkinkan pengurangan Sparks. Karena tidak ada saat ini, efek korona kembali juga berkurang.

Mikroprosesor milik kontrol tegangan tinggi merespon dengan cepat untuk memproses variasi, atau kondisi bahaya. Sistem kontrol ini memungkinkan kontrol respon yang cepat dan memastikan emisi yang rendah. Kinerja Electrostatic Precipitator mampu mencapai kurang dari 5 mg emisi / Nm<sup>3</sup>. Dan sekaligus mengurangi konsumsi energi listrik. Semua bagian dari ESP sistem rap

adalah seumur hidup diuji oleh 1.000.000 stroke sesuai dengan 20 tahun beroperasi.

### **2.2.8 Keunggulan Utama ESP FLSmith**

1. Peningkatan partikulat.
2. Mengurangi konsumsi energi.
3. Pemanfaatan 100% dari area pengumpulan.
4. Peralatan minimal footprint.
5. Biaya instalasi dan operasi berkurang kecuali hendak mencapai efisien tinggi.
6. Pemeliharaan yang minimal.
7. Dapat mengatasi volume gas yang tinggi dengan penurunan tekanan yang rendah.

FLSmith telah banyak bekerja sama dengan perusahaan seperti pabrik semen dan lain – lain karena mampu memberikan life time yang lebih tinggi di bandingkan produsen lain. Selain itu juga hemat energi dan ramah lingkungan serta biaya operasi dan maintenance yang lebih rendah

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT.Inalum (Persero) Asahan. Perusahaan ini dipilih karena cukup merepresentatif untuk kebutuhan pemenuhan data dalam penulisan tugas akhir ini. Dan waktu penelitian merentang dari 6 Juni 2016 sampai 29 Oktober 2016. Sangat disayangkan ketika penelitian berlangsung tidak seluruhnya data yang detail mengenai electrostatic precipitator dapat diperoleh dilapangan, dikarenakan para pegawainya sendiri kurang memahami alat tersebut. Guna memenuhi kebutuhan data yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka dilakukan study literatur sebagai salah satu solusinya.

#### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang menjadi dasar penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Transformator Rectifier



Gambar 3.1 Transformator Rectifier



## 2. Control Cabinet



Gambar 3.2 Control Cabinet FL SMIDTH

Pada control cabinet terdapat PIACS DC ( *Precipitator Integrated Automatic Control System* ). PIACS DC merupakan perangkat pengontrol yang terintegrasi atau satu paket dengan electrostatic precipitator. Sistem PIACS DC mempunyai 2 fungsi waktu dimana waktu pertama digunakan sebagai *rapping* pada *collecting system* ( *pengumpul* ) dan waktu kedua sebagai *discharge system* ( *pelepas* ).

Kegunaan dari control cabinet seperti gambar 3.2 adalah sebagai panel pengontrol dari station gas 4DT – 301B electrostatic precipitator yang terdapat di PT. Inalum ( persero ) seperti pada gambar 3.4 dibawah ini :



Gambar 3.3 Station Gas 4DT – 301B

Serta bahan penelitian yang digunakan mencakup hasil survey dan observasi yang telah dilakukan. Bahan – bahan penelitian itu berupa data – data spesifikasi alat serta masing – masing fungsi dari komponen yang menjadi bagian dari proses kerja sistem electrostatic precipitator yang terdapat di PT. Inalum ( Persero ).

### 3.3 Prosedur Penyetingan PIACS FL SMIDTH

Pada control cabinet terdapat PIACS DC ( *Precipitator Integreted Automatic Control System* ). PIACS DC merupakan perangkat pengontrol yang terintegrasi atau satu paket dengan electrostatic precipitator. Sistem PIACS DC mempunyai 2 fungsi waktu dimana waktu pertama digunakan sebagai *rapping* pada *collecting system* ( *pengumpul* ) dan waktu kedua sebagai *discharge system* ( *pelepas* ).



Gambar 3.4 Papan Tombol PIACS DC FL SMIDTH

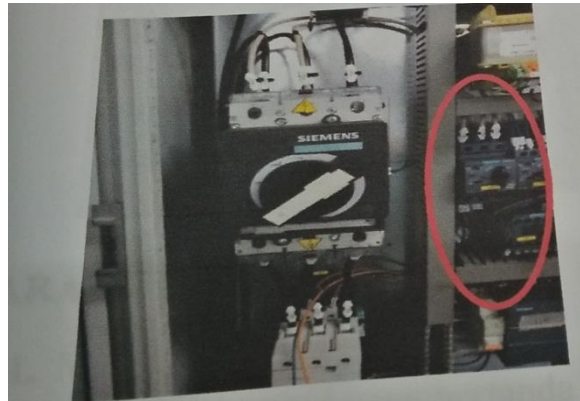
Adapun langkah – langkah dalam penyetingan PIACS DC adalah sebagai berikut :

1. ON – kan MCB dari panel ke trafo.



Gambar 3.5 MCB Panel Trafo.

2. ON – kan MCB power control.



Gambar 3.6 MCB Power Control

3. Jika lampu LED sudah menyala, control dan trafo siap dioperasikan.
4. Tekan tombol yang bertanda kunci di kontrol HMI.
5. Masukkan angka “2220” dan tekan tombol enter sebagai tanda OK.
6. Masukkan set point arus, tekan tanda limit trafo ( Limit T/ R ).
7. Untuk melihat tegangan, tekan tombol “U”.
8. Untuk melihat arus tekan tombol “I” serta tanda panah ke atas.
9. Untuk melihat *spark*, tekan tombol yang bertanda misc.

### 3.4 Data Penelitian

Berdasarkan survey yang dilakukan di lapangan, maka diperoleh data seperti yang tertera pada table 3.1 dibawah ini :

Table 3.1 Spesifikasi Transformator Rectifier Electrostatic Precipitator

| No. | DESKRIPSI   | TYPE                          |
|-----|-------------|-------------------------------|
| 1.  | Serial No.  | 14987- 07 – 12 – 15           |
| 2.  | Costumer    | FLS/ A/C PT.Kingkata Kharisma |
| 3.  | Project No. | 6628                          |

| <b>NO.</b> | <b>DESKRIPSI</b>          | <b>TYPE</b>                          |
|------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 4.         | AC Input Voltage          | 380 V                                |
| 5.         | AC Output Current         | 63 A                                 |
| 6.         | Max. KVA                  | 23.94                                |
| 7.         | Frequency                 | 50 Hz                                |
| 8.         | Phase                     | Single                               |
| 9.         | % Impedance               | 30                                   |
| 10.        | Design Ambient Temp. Min  | -30° C                               |
| 11.        | Design Ambient Temp. Max  | 40° C                                |
| 12.        | Total Wight ( W/ O Duct ) | 952 kg                      1200 lbs |
| 13.        | DC Output Voltage         | 80 kv                                |
| 14.        | DC Output Current         | 300 mA (AVE) MEAN                    |
| 15.        | Current Forn Factor       | 1.4                                  |
| 16.        | TYPE OF COLLING           | ONAN                                 |
| 17.        | ENCLOSURE TYPE            | Ip : 65                              |
| 18.        | DUTY                      | CONTINUOUS                           |
| 19.        | FLUID TYPE (NON-PCB)      | IEC : 296-I                          |
| 20.        | BASIC INPLUSE LEVEL       | 170 Kv                               |
| 21.        | MAX                       | 40° C                                |
| 22.        | MAX TAMP RISE             | 55° C                                |
| 23.        | FLUID                     | 314 kg 348 LTRS                      |

Adapun spesifikasi control cabinet electrostatic precipitator adalah seperti table 3.2 dibawah ini :

Table 3.2 Spesifikasi Control Cabinet untuk ESP

| <b>NO.</b> | <b>DESKRIPSI</b>            | <b>TYPE</b>                          |
|------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1.         | Supply Voltage              | 3 x 380 V / 50 Hz                    |
| 2.         | Motor Voltage               | 3 x 380 V / 50 Hz                    |
| 3.         | Control Voltage             | 220 V                                |
| 4.         | Signal Voltage              | 24 V DC                              |
| 5.         | Lighting Voltage            | 230 V                                |
| 6.         | Short Circuit               | 50 kA, 1 sec                         |
| 7.         | Signal Exchange             | Remote control/ hard ware – profinet |
| 8.         | Day max. mean temp. cabinet | 40°C                                 |
| 9.         | Day max. mean temp. cable   | 40°C                                 |

### 3.5 Jalannya Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Tahap persiapan

1. Menentukan topik serta masalah yang akan di teliti.
2. Melakukan studi kepustakaan untuk mendapatkan gambar yang jelas yang berkaitan dengan variable yang akan di teliti.
3. Pengurusan masalah administrasi yang meliputi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta perizinan kepada pihak PT. Inalum ( persero ) Kuala Tanjung, Kab. Batubara.

b. Tahap penelitian lapangan

Setelah tahap persiapan dilakukan maka, selanjutnya tahap penelitian lapangan. Tahap penelitian lapangan juga dibagi dalam beberapa metode pengambilan data yaitu:

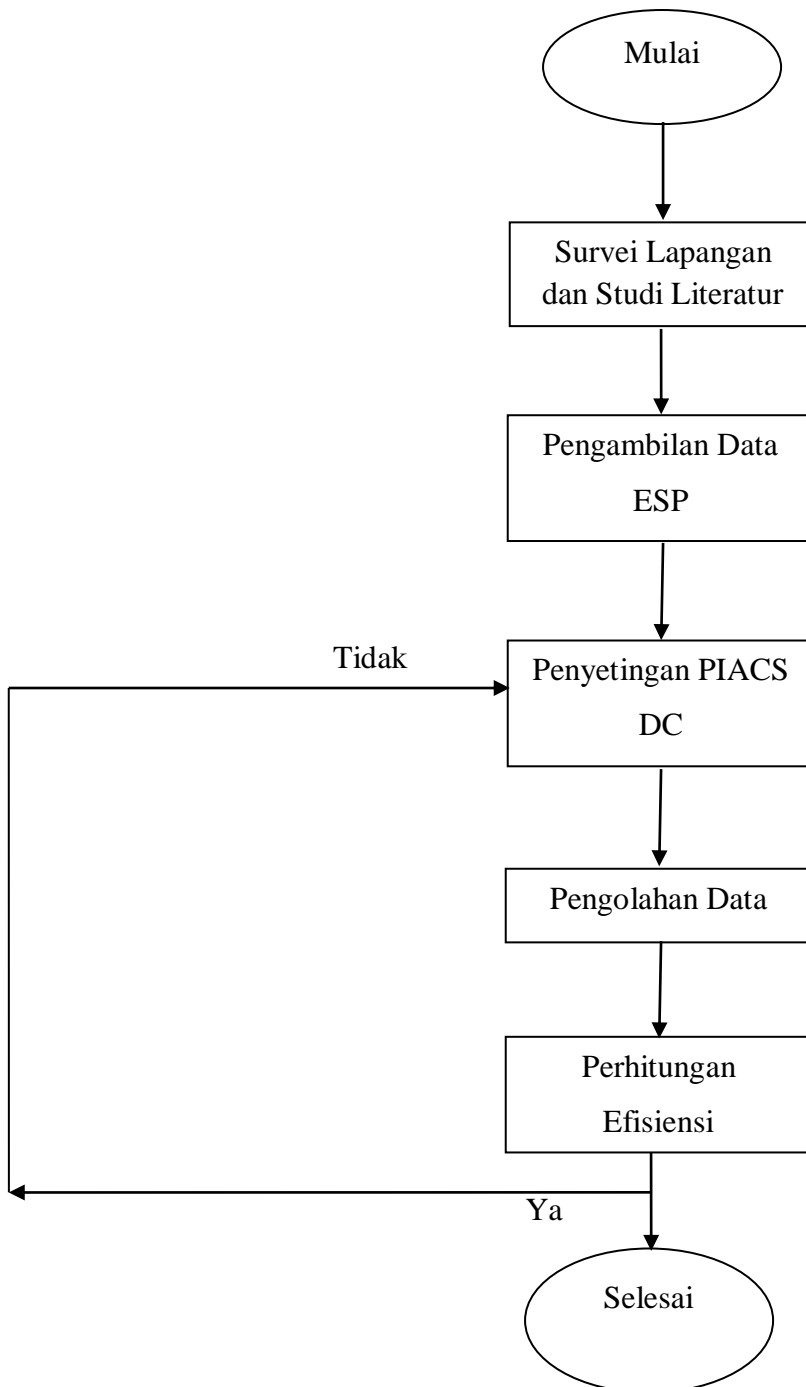
1. Pengambilan data dengan cara pencatatan dilapangan.
2. Pengambilan data lapangan dengan alat yaitu berupa pengambilan gambar dengan menggunakan kamera.
3. Pengambilan data yang sudah ada spesifikasinya dari alat tersebut seperti buku panduan atau manual book.
4. Pengecekan alat yang ada dilapangan yang berhubungan dengan alat yang akan diteliti.

c. Tahap pengolahan data lapangan dan analisa data

Tahap pengolahan data ini meliputi tahapan setelah pengambilan data lapangan dilakukan dimana meliputi pengolahan data struktur, spesifikasi alat, komponen alat, jenis dan tipe alat. Setelah proses pengolahan data dilakukan maka langkah selanjutnya adalah tahap analisa data yang terdapat dilapangan. Pada tahap ini mulai dilakukan perhitungan – perhitungan dan penarikan kesimpulan

terhadap data yang telah diolah berdasarkan data – data yang telah diperoleh.tahap analisa data dilakukan untuk mempermudah penarikan kesimpulan.

### 3.6. Diagram alir



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian.

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembentukan Listrik Korona

Besarnya tegangan untuk membangkitkan korona dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.4.

Anoda dan katoda diatur pada jarak 150 mm. pada kawat pijar korona yang dialiri listrik dengan tegangan 0,501 kV/ m, yang dapat menghasilkan panjaran pijar ( *spark* ) 123 spark/ menit. Dengan data tersebut dapat dihitung tegangan kritis korona atau tegangan terkecil yang dapat membangkitkan korona sebagai berikut :

##### 1. Tegangan Kritis Korona

$$V_o = E_o R_o \ln \frac{R_o}{R_1}$$

Dengan :

$$E_o = 0,501 \text{ kV/ m}$$

$$R_o = 0,15 \text{ m}$$

Dikarenakan nilai dari  $R_o$  belum diketahui, selanjutnya dapat ditentukan besar  $R_o$  dengan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$( R_1 + 0,02 \sqrt{R_1} ) = 0,15 + 0,02 \sqrt{0,15} = 0,158 \text{ m}$$

Maka dapat ditentukan besarnya tegangan kritis korona sebesar :

$$V_o = 0,501 \times 0,158 \left( \ln \frac{0,158}{0,15} \right)$$

$$V_o = 0,00277 \text{ kV}$$



## 2. Tegangan Aplikasi

Tegangan aplikasi adalah tegangan yang diaplikasikan berdasarkan persamaan 2.5 :

$$V = V_o E_o \frac{R_o^2 - R_1^2}{R_1}$$

$$V = 0,02277 + 0,501 \frac{0,15^2 - 0,158^2}{0,15}$$

$$= 0,0145 \text{ kv}$$

## 4.2 Menghitung Nilai Efisiensi ESP

Untuk menghitung nilai efisiensi pada ESP terlebih dahulu yang harus dicari adalah :

1. Kecepatan perpindahan partikel
2. Luas permukaan plat pengumpul
3. Kapasitas aliran gas buang.

Pada kapasitas aliran gas buang, rata – rata diketahui ( Q )

$$= 12,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

### 1. Kecepatan Perpindahan Partikel

Pada persamaan (2.7) kecepatan perpindahan partikel dapat dihitung sebagai berikut :

$$w = \frac{d_p E_o E_p}{4\mu\pi}$$

Dimana :

Diameter rata – rata partikulat ( $d_p$ ) hasil analisis lap kimia adalah  $65,3 \mu\text{m}$ .

$$E_o = 501 \text{ v/ m}$$

$$E_p = 448 \text{ v/ m}$$

$$\mu = 2,57 \times 10^7$$

Maka kecepatan perpindahan partikulat adalah :

$$w = \frac{65,3 \times 501 \times 448}{4 \times (2,57 \times 10^7) \times 3,14}$$

$$= \frac{1,47 \times 10^7}{3,23 \times 10^8} = 0,0454 \text{ m/ s} = 4,54 \text{ cm/ s}$$

## 2. Jumlah Luas Plat Pengumpul

Panjang pada satu unit ESP diketahui sebesar 5 m, dan total plat pengumpul pada ESP PT. Inalum (Persero) diketahui sebanyak 170 unit.

Jadi, untuk mencari jumlah luas plat pengumpul (A) dapat dihitung dengan rumus :

$$A = \text{Panjang plat pengumpul} \times \text{jumlah plat pengumpul}$$

$$= 5 \text{ m} \times 170 \text{ unit}$$

$$A = 850 \text{ mm}^2$$

Jadi, jumlah luas plat pengumpul adalah 850  $\text{mm}^2$

## 3. Kapasitas Gas Buang

Kapasitas gas buang rata – rata diketahui (Q) sebesar = 12,500  $\text{Nm}^3/\text{h}$

Menurut *Deutch Anderson* nilai efisiensi dapat dihitung seperti pada persamaan (2.8) adalah sebagai berikut :

$$\eta = 1 - e^{-w(A-Q)}$$

Dimana :

$$e = 2,718$$

$$w = 0,0454 \text{ m/ s} = 4,54 \text{ cm/ s}$$

$$A = 850 \text{ mm}^2$$

$$Q = 12,500 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Maka :

$$\eta = 1 - 2,718^{-0,0454 (850/12,500)}$$

$$= 1 - 2,718^{-3,0872}$$

$$= 0,9543 = 95,43 \%$$

Hasil perhitungan efisiensi ESP pada Baking Plant PT. Inalum (Persero) mencapai 95,43 %, berarti ada sekitar 4,57 % partikel dari gas buang yang lepas ke udara. Ini mengartikan bahwa penggunaan ESP pada Baking Plant PT. Inalum (Persero) bekerja baik dan solusi tepat sebagai penanggulangan emisi gas buang pembakaran dari anoda.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Gas buang hasil pembakaran Anoda pada Baking Plant PT. Inalum (Persero) bersifat netral. Untuk menarik partikel – partikel yang di bawa oleh gas buang maka dilakukan proses ionisasi terhadap partikel – partikel agar menjadi muatan listrik. Sistem ionisasi partikel – partikel debu pada ESP adalah dengan menghasilkan korona. Untuk menaikkan tegangan korona maka perlu dihitung tegangan kritis korona. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil sebesar  $V_o = 0,00277$  kV.
2. Dari hasil analisis nilai efisiensi menurut *Deutch Anderson* secara keseluruhan diperoleh nilai efisiensi ESP PT. Inalum sebesar 95,43 %. Hal ini berarti penggunaan ESP pada Baking Plant PT. Inalum (Persero) bekerja cukup baik dalam menyerap emisi gas buang pembakaran dari anoda.

#### 5.2 Saran

1. Perlu diadakannya pemeliharaan tiap bagian Electrostatic Precipitator dan unit pengontrol sehingga dapat bekerja dengan baik.
2. Karena alat ini merupakan teknologi baru dan berhubungan dengan lingkungan, maka perlu diberitahukan tentang alat industri yang mengatasi permasalahan lingkungan dari dosen ke mahasiswa khususnya Teknik Elektro.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Sefitrah, Yose Rizal, *Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler*, Jurnal, 2015.
2. Bosco, Don, *Analisis dan Simulasi Tegangan Awal Terbentuknya Korona Pada Model Kubikel*, Tugas Akhir FT UI ( Jakarta, 2008 )
3. Pasaribu, Dedy Advento *Penggunaan Electrostatic Precipitator Sebagai Penanggulangan Polusi Udara Pada Cerobong Gas Buang Boiler*. Tuga Akhir FT USU ( Medan, 2008 ).
4. Gigih, Mahar Toto, Pratama, *PIACS DC Sebagai Pengatur Parameter Pada Electrostatic Precipitator*, Laporan Kerja Praktek FT UNDIP ( Semarang, 2012 ).