

**ANALISIS OPTIMALISASI PENGGUNAAN *ELECTROSTATIC  
PRECIPITATOR (ESP)* BERDASARKAN *SETTING ARUS/TEGANGAN  
DAN CHARGE INPUT MATERIAL* PADA PABRIK NIKEL PT.ANTAM  
POMALAA**

**Fariz Maulana Siyu**

Mahasiswa Fakultas Teknik UMY

[Maulanalp700@gmail.com](mailto:Maulanalp700@gmail.com)

***ABSTRACT***

Contributors of air pollution one of them is the result of industrial process emissions. Many regulations are issued by the government to control the emission of these emissions. To meet these rules required a technology that can deal with these pollution problems. One such technology is the Electrostatic Precipitator. This method uses an electric field to ionize the dust particles so that the dust particles can be attached to the collecting plate electrodes. By using this ESP the amount of dust particulate that exits through the factory stack / chimney can be lowered to 64%. PIACS DC is a control unit present in ESP that serves to control parameters on ESP which in its operation ESP has been integrated in the purchase package from the manufacturer. In this study discusses the analysis of optimization of electrostatic precipitator (ESP) based on current / voltage setting and material input charge. Based on this research data the researcher found that; of the material input charge, about 3-4% of the input material in RK-3 will be the output waste and while about 3.5-7.1% of the input material in RK-4 will be the output waste. When the charge input material setting is increased, efficiency will decrease if not matched with the appropriate current setting. For the current setting the higher the current setting then the amount of dust captured by ESP will become more and the efficiency will increase.

Keyword : Electrostatic Precipitator (ESP), Emission, Rotary Kiln, PIACS DC

## INTISARI

Penyumbang polusi udara salah satunya adalah hasil emisi proses industri. Banyak regulasi yang dikeluarkan pemerintah untuk mengendalikan hasil emisi ini. Untuk memenuhi aturan tersebut dibutuhkan teknologi yang dapat menangani permasalahan polusi ini. Salah satu teknologi tersebut adalah *Electrostatic Precipitator*. Metode ini menggunakan medan listrik untuk mengionisasi partikel debu sehingga partikel debu tersebut dapat menempel pada elektroda plat pengumpul. Dengan menggunakan ESP ini banyaknya partikulat debu yang keluar melalui stack/cerobong asap pabrik bisa diturunkan hingga 64 %. PIACS DC adalah suatu unit pengontrol yang ada pada ESP yang berfungsi untuk mengontrol parameter pada ESP yang dimana dalam operasionalnya ESP telah terintegrasi di dalam paket pembelian dari pabrikan. Pada penelitian ini membahas tentang analisis optimalisasi penggunaan *electrostatic precipitator* (ESP) berdasarkan setting arus/tegangan dan charge input material. Berdasarkan data penelitian ini peneliti menemukan bahwa ; dari charge input material, sekitar 3-4% material input pada RK-3 akan menjadi limbah keluaran dan sedangkan sekitar 3.5-7.1% material input pada RK-4 akan menjadi limbah keluaran. Ketika setting charge input material dinaikan, maka efisiensi akan menurun jika tidak diimbangi dengan setting arus yang sesuai. Untuk setting arus semakin tinggi arus setting maka jumlah debu yang tertangkap oleh ESP akan menjadi lebih banyak dan efisiensi pun akan naik.

Kata Kunci : Electrostatic Precipitator (ESP), Emisi, Rotary Kiln, PIACS DC

## 1. Pendahuluan

Pencemaran udara merupakan salah satu dari sekian banyak jenis pencemaran, yang dimana pencemaran udara ini termasuk dalam pencemaran yang sangat berbahaya yang memiliki dampak cukup besar terhadap lingkungan. Hal ini disebabkan karena partikel pencemaran ini sangat kecil sehingga masyarakat akan sangat sulit untuk menyadari pencemaran ini. Berdasarkan wujud fisiknya, pencemaran yang terjadi di udara tidak hanya berupa uap atau pun gas, melainkan ada juga benda-benda padat lainnya yang dalam wujud partikel. Partikel tersebut dapat berupa debu, asap dan bau. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi pencemaran udara tersebut yaitu dengan menggunakan *Electrostatic Precipitator* (ESP). Prinsip kerja utama dari alat ESP ini adalah menangkap debu yang keluar dari hasil pembakaran atau dari peraratan-peralatan industri lainnya yang dalam operasinya menghasilkan debu, dengan cara mengalirkan arus listrik bertegangan tinggi pada discharge plate sehingga debu-debu yang mulanya bermuatan netral menjadi bermuatan negatif, kemudian debu yang sudah bermuatan negatif tersebut akan menempel pada collecting plate yang bermuatan positif. Sehingga gas buang

yang keluar pada stack/cerobong asap pabrik adalah gas yang bersih.

Pada proses produksi biji nikel di PT.ANTAM Pomalaa terdiri dari beberapa proses, salah satunya proses pembuatan kalsine pada *Rotary Kiln*. Pada proses pembuatan kalsine tersebut, menggunakan bahan campuran yaitu biji nikel kering (*Ore Dryer*) dan batu bara sebagai bahan utama pada proses pembuatan kalsine tersebut. Dalam prosesnya,

Nikel merupakan jenis logam yang berwarna kelabu perak dan memiliki sifat logam yang kekuatan dan kekerasannya menyerupai besi. Daya tahan terhadap korosi dan karat lebih dekat dengan tembaga. Batubara merupakan suatu material yang mudah untuk terbakar, yang dimana batubara ini terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan purba yang mengendap dan kemudian berubah bentuk akibat proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun, sehingga batubara dikategorikan kedalam bahan bakar fosil. Sehubungan dengan itu maka kelestarian lingkungan sekitarnya harus tetap diperhatikan, karena proses pembuatan kalsine pada PT.ANTAM Pomalaa menggunakan batubara sebagai bahan campuran untuk pembuatan kalsine yang dapat menjadi sumber polusi udara .

Adapun debu dari hasil proses pembuatan kalsine pada *rotary kiln* jika

tanpa adanya pengendalian untuk debu tersebut dan langsung dibuang ke lingkungan, maka akan dapat menimbulkan pencemaran udara. Maka dari itu diperlukan adanya perhatian terhadap lingkungan dengan cara pengendalian debu dari hasil produksi kalsine sebelum dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan suatu alat untuk mengurangi atau mengontrol debu hasil produksi tersebut. Alat yang efektif untuk mengurangi atau mengontrol debu tersebut adalah *electrostatic precipitator* (ESP).

Berdasarkan latar belakang di atas maka akan dilakukan observasi dengan judul Analisis Optimalisasi penggunaan *Electrostatic Precipitator* (ESP) berdasarkan *setting* Arus/Tegangan dan *Charge Input* Material pada Rotary Kiln PT.Antam Pomalaa

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Pencemaran dan Polutan

Pencemaran udara ialah kehadiran dari sejumlah substansi atau polutan di atmosfer pada jumlah yang mungkin membahayakan bagi kesehatan maupun keselamatan manusia, hewan, dan tumbuhan atau berbagai prasarana lain seperti sarana rekreasi dan lain sebagainya. Pencemaran udara juga dapat diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya zat,

energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun hingga ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

### 2.2 Debu

Debu atau Dust merupakan suatu partikel padat yang berukuran sangat kecil yang dibawa oleh udara. Partikel-partikel ini terbentuk karena adanya suatu proses disintegrasi atau fraktur contohnya yaitu penggilingan, penghancuran atau pemukulan terhadap benda padat

### 2.3 Electrostatic Precipitator (ESP)

*Electrostatic precipitator* adalah sebuah alat penangkap debu yang bekerja dengan menggunakan sistem elektrik yang terdiri atas plat – plat baja yang merupakan elektroda positif (*collecting electrode*) dan elektroda negatif (*discharge electrode*) dengan perbedaan tegangan yang sangat tinggi.



Gambar 2.1 *Electrosatic precipitator*

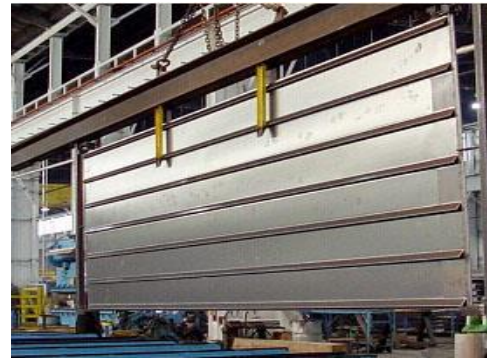
### 2.3.1 Prinsip Kerja ESP

Prinsip kerja ESP adalah gas buang yang keluar dialirkan melalui inlet ESP kemudian dilewatkan *collecting plate system* yang sudah diberi muatan listrik sehingga abu akan menempel pada dinding *collecting plate*, dilakukan pengetukan oleh *rapping system* dan abu akan jatuh ke dalam *hopper*, setelah itu gas buang menjadi bersih dan terpisah dari abu, kemudian gas tersebut akan keluar melalui *stack*.

### 2.3.2 Komponen Utama ESP

Adapun masing-masing komponen dan fungsinya adalah sebagai berikut :

- a. Transformator berfungsi untuk memberikan daya listrik yang bertegangan tinggi pada *collecting plate* dari sumber listrik yang awalnya hanya 380 volt menjadi 110 Kv dc .
- b. *Collecting plate system* merupakan suatu sistem yang terdiri atas *discharge electrode* dan *collecting plate* yang berfungsi sebagai pengumpul atau collection ash setelah diberikan arus listrik, karena setelah debu yang keluar dari hasil proses produksi pabrik, maka debu tersebut akan terurai menjadi partikel-partikel yang akan menempel pada permukaan dinding *collecting plate*.

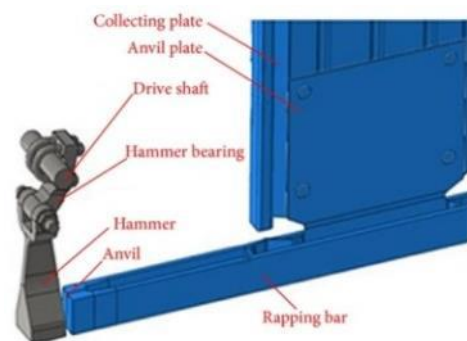


Gambar 2.2 *Collecting Plate*



Gambar 2.3 *Discharge Electrode*

- c. *Rapper* berfungsi sebagai pembuat getaran dengan cara memukul dinding dari *collecting plate* yang akan membuat debu yang menempel pada *collecting plate* akan jatuh dan terkumpul pada *hopper*.



Gambar 2.4 *Rapping System*

- d. *Hopper* terpasang pada bagian bawah EP sebagai tempat jatuhnya partikel dari elektroda pengumpul akibat

mekanisme *rapping* menggunakan pemukul (*hammer*).



Gambar 2.5 Hopper

## 2.4 Ionisasi

*Ionisasi* adalah proses fisik mengubah atom atau molekul menjadi ion dengan menambahkan atau mengurangi partikel bermuatan seperti elektron atau lainnya.

## 2.5 Hukum Coulomb

Berdasarkan penemuan Charles Augustin de Coulomb yang disebutkan diatas, maka bunyi dari Hukum Coulomb adalah sebagai berikut :**“Gaya pada Muatan akan saling tarik-menarik apabila kedua muatan tidak sejenis, dan akan saling tolak-menolak apabila kedua muatan sejenis”**.



Gambar 2.6 Hukum Coulomb

## 2.6 Rotary Kiln

*Rotary Kiln* (RK) adalah sebuah perangkat *pyro-processing* yang digunakan untuk menaikkan suhu material sampai pada suhu tinggi dengan tujuan mengurangi kadar air pada material tersebut (proses kalsinasi) dalam suatu proses berkelanjutan.

## 2.7 PIACS DC

PIACS DC (Precipitator Integrated Automatic Control System) merupakan perangkat pengontrolan yang terintegrasi atau satu paket dengan Electrostatic precipitator.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan :

1. Satu unit laptop Asus A45V dengan Intel Core i3-237M 2.4 ghz.
2. Data setting Arus/tegangan serta data banyaknya debu yang tertangkap selama proses produksi berlangsung pada ESP .
3. Beberapa refsensi dari berbagai macam buku yang berkaitan dalam proses penyusunan skripsi.

### 3.2 Alur Penelitian

1. Studi pustaka : mengumpulkan beberapa informasi dan data dari berbagai referensi yang telah terpercaya

kebenarannya, sepertihalnya jurnal ilmiah, buku, dll.

2. Perancangan awal : merupakan gambaran secara umum dari sebuah pembahasan yang akan dilakukan.
3. Pengumpulan data : yaitu sebuah alat bantu yang berupa data yang digunakan peneliti guna penyelesaian tugas akhir ini, dimana data tersebut dapat diperoleh dari berbagai buku, jurnal dan lokasi penelitian.
4. kongkrit yang akan dijadikan sebagai bahan analisis.
5. Analisis hasil : memahami dan menganalisis data apa yang terdapat di balik semua data yang telah didapat.
6. Simpulan : membuat sebuah kesimpulan dari data yang telah dianalisis sesuai dengan rumusan masalah.

### **3.3 Lokasi Kajian**

Lokasi penelitian yaitu dilakukan di PT.ANTAM (Persero) Tbk Pomalaa, Sulawesi Tenggara

### **3.4 Metode Analisa**

Data yang dibutuhkan adalah data setting arus/tegangan (max/min) pada ESP PT.ANTAM Pomala dan juga data jumlah debu yang tertangkap selama proses produksi berlangsung. Dengan adanya data tersebut maka dapat diketahui seberapa efektif penangkapan debu oleh ESP

tersebut. Selain itu juga dengan mengetahui data setting arus dan tegangan beserta dampaknya bagi efektifitas penangkapan debu ESP, maka dapat dilakukan optimalisasi penggunaan daya pada ESP tersebut. Sehingga diharapkan dapat memberikan keuntungan kepada pihak PT.ANTAM POMALA baik secara teknik maupun non teknik.

## **4. Hasil dan Pembahasan**

### **4.1 Menentukan Besarnya setting arus/tegangan yang Optimum Terhadap partikel debu yang dihasilkan**

Untuk menganalisa besarnya setting arus yang optimum terhadap partikel debu yang dihasilkan perlu diketahui beberapa parameter yang menjadi acuan sebelum menentukan tegangan tersebut. Diantaranya efisiensi ESP aktual, kondisi material, kecepatan rotary kiln, dan abu yang tertangkap setiap *field*. Untuk itu perlu adanya data dari masing-masing parameter berdasarkan survey dan pengukuran yang dilakukan pada ESP RK-3 dan RK-4.

#### **4.1.1 Tegangan dan Arus Setting pada ESP**

Berdasarkan data yang didapat dari hasil survey yang dilakukan, besar tegangan dan arus setting pada ESP RK-3 dan RK-4

Tabel 4.1 Kapasitas Tegangan dan Arus *Setting* pada ESP

ESP	Field	Tegangan (KV)	Arus (mA)
ESP RK-3	1	110	900
	2	110	900
	3	110	900
ESP RK-4	1	110	900
	2	110	900
	3	110	900

Dimana tegangan 110 kV merupakan tegangan maksimum pada transformator

#### 4.1.2 Tegangan dan Arus Aktual pada ESP

##### 1. Tegangan dan Arus aktual di RK-3

Adapun nilai tegangan dan arus aktual yang ada disetiap *field* ESP dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Tegangan dan Arus aktual di RK-3

Room	Arus <i>Setting</i> (mA)	Arus Aktual (mA)	Tegangan (KV)
1	250	250	68
2	300	300	52.5
3	400	238	51.3

##### 2. Tegangan dan Aus Aktual di RK-4

Adapun nilai tegangan dan arus aktual yang ada disetiap *field* ESP dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Tegangan dan Arus aktual di RK-4

Room	Arus <i>Setting</i> (mA)	Arus Aktual (mA)	Tegangan (KV)
1	300	300	53
2	200	200	53.5
3	250	250	50

#### 4.2 Perhitungan Tegangan transformator

Rumus perhitungan transformator :

$$\frac{VP \times IP}{mA} \times 0,7$$

##### 1. Perhitungan tranformator RK-3 dengan *setting* awal

Data-data spesifikasi untuk *Field* 1

Tegangan primer (Vp) = 215 Volt  
 Arus sekunder (Ip) = 113 Ampere  
 M ampere (mA) = 250 mA

$$V_{sett} = \frac{215 V \times 113 A}{250 mA} \times 0,7$$

Sehingga di peroleh hasil perhitungan sebesar 68.026 kV

Data-data spesifikasi untuk *Field* 2

Tegangan primer (Vp) = 205 Volt  
 Arus sekunder (Ip) = 103 Ampere



$$M \text{ ampere (mA)} = 300 \text{ mA}$$

$$V_{\text{sett}} = \frac{205 \text{ V} \times 103 \text{ A}}{300 \text{ mA}} \times 0,7$$

Sehingga di peroleh hasil perhitungan sebesar 49.26 kV

Data-data spesifikasi untuk Field 3

Tegangan primer (Vp) = 230 Volt  
 Arus sekunder (Ip) = 115 Ampere  
 M ampere (mA) = 400 mA

$$V_{\text{sett}} = \frac{230 \text{ V} \times 115 \text{ A}}{400 \text{ mA}} \times 0,7$$

Sehingga di peroleh hasil perhitungan sebesar 46.28 kV

**2. Perhitungan tranformator RK-4 dengan setting awal**

Dari tabel 4.4 dan data dari tranformator dapat dihitung tegangan pada trafo

Data-data spesifikasi untuk Field 1

Tegangan primer (Vp) = 212 Volt  
 Arus sekunder (Ip) = 107 Ampere  
 M ampere (mA) = 300 mA

$$V_{\text{sett}} = \frac{212 \text{ V} \times 107 \text{ A}}{300 \text{ mA}} \times 0,7$$

Sehingga di peroleh hasil perhitungan sebesar 52.92 kV

Data-data spesifikasi untuk Field 2

Tegangan primer (Vp) = 194 Volt  
 Arus sekunder (Ip) = 79 Ampere  
 M ampere (mA) = 200 mA

$$V_{\text{sett}} = \frac{194 \text{ V} \times 79 \text{ A}}{200 \text{ mA}} \times 0,7$$

Sehingga di peroleh hasil perhitungan sebesar 53.64 kV

Data-data spesifikasi untuk Field 3

Tegangan primer (Vp) = 195 Volt  
 Arus sekunder (Ip) = 89 Ampere  
 M ampere (mA) = 250 mA

$$V_{\text{sett}} = \frac{195 \text{ V} \times 89 \text{ A}}{250 \text{ mA}} \times 0,7$$

Sehingga di peroleh hasil perhitungan sebesar 48.59 kV

Tabel 4.4 Perbandingan antara nilai perhitungan dengan nilai yang tertera

ESP	Field	Hasil Perhitungan	Nilai yang tertera pada PIACS DC
ESP RK-3	1	68.026 kV	68 kV
	2	49.26 kV	52.5 kV
	3	46.28 kV	51.3 kV
ESP RK-4	1	52.92 kV	53 kV
	2	53.64 kV	53.5 kV
	3	48.59 kV	50 kV

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa dari hasil perhitungan dengan nilai yang tertera pada PIACS DC, terdapat perbedaan. Penyebab perbedaan tersebut karena *Electrostatic Precipitator* beserta alat kontrolnya belum di kalibrasi..

Jadi untuk mengatur tegangan masukan ESP, yakni dengan mengatur nilai SCR yang diinginkan. *Firing Angle* adalah sudut yang mengatur berapa tegangan yang diinginkan.

### 4.3 Rata-rata debu da Efisiensi

Tabel 4.5 Rata-rata debu dan efisiensi

ESP	Debu Masuk	Debu Tertangkap	Debu Terlepas	Efisiensi
ESP RK-3	2.22	1.253	0.965	56.34 %
	2.69	1.52	1.17	
	2.75	1.55	1.19	
ESP RK-4	0.695	0.659	0.0368	94.7 %
	3.647	3.454	0.193	
	3.498	3.313	0.185	
ESP RK-3 (Setting)	4.644	2.296	2.34	49.44 %
	4.757	2.352	2.39	
	4.053	1.995	2.033	
ESP RK-4	1.446	1.4	0.046	96.8 %

(Setting)	3.42	3.307	0.109	
	5.096	4.933	0.163	
ESP EK-3	2.676	1.718	1.0045	62.46 %
Setting	2.812	1.755	1.055	
Arus dinaikan	2.841	1.773	1.066	
ESP RK-4	0.744	0.728	0.0156	97.9 %
Setting	3.72	3.614	0.078	
Arus dinaikan	3.642	3.566	0.076	

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa pada saat setting charge input material dinaikan dan setting arus tetap maka efisiensi ESP akan turun dan sebaliknya. Ketika setting arus dinaikan dan charge input material tetap maka efisiensi ESP akan naik dan begitu sebaliknya.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dan perhitungan dari data yang diperoleh maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter-parameter yang memengaruhi efektifitas penangkapan debu ESP di PT.Antam Pomalaa, yaitu: arus input ESP, tegangan input ESP, kecepatan putaran produksi pada *Rotary Kiln*, kualitas pembakaran pada Burner Kiln, kondisi peralatan ESP, dan kondisi meterial (Tingkat Kelembapan Material)
2. Dari hasil survey dan invetigasi pada alat ESP, terdapat beberapa hal yang sering menjadi penyebab gangguan pada fungsi ESP dan berpotensi menurunkan efisiensinya. Salah satunya yaitu, kerusakan pada motor blower ESP dan terjadinya anomali pada pengaturan arus pada field 3 ESP RK-3
3. Dari *setting Charge Input Material*, rata-rata material yang menjadi debu pada RK-3 yaitu berkisar antara 3-4 % dari total charge input material dan untuk RK-4 rata-rata material yang menjadi debu yaitu berkisar antara 3.5-7.1 % dari total *charge input* material.
4. Dari grafik rata-rata debu masuk, debu tertangkap dan debu terlepas, dapat disimpulkan semakin besar *setting* arus pada ESP maka jumlah debu yang tertangkap akan meningkat dan efisiensi

pun akan naik. Untuk *charge input* material, semakin besar charge input material maka jumlah debu yang tertangkap akan meningkat akan tetapi efisiensi ESP akan menurun.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan data yang telah dilakukan maka diharapkan kepada PT.Antam Pomalaa Perlu memperhatikan parameter-parameter sebelum melakukan konfigurasi pada alat kontrol ESP agar mendapatkan hasil yang optimal dan umur peralatan juga akan semakin panjang. Sebagai contoh, sebelum melakukan konfigurasi setting arus maximum dan arus minimum di PIACS DC, operator harus memperhatikan parameter-parameter yang telah ditentukan.

### Daftar Pustaka

1. Noza Afrian. Firdaus. Edy Ervianto. 2015. *Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC Yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi di Power Boiler Industri Pulp and Paper*. Jurnal Jom FTEKNIK Volume 2 No. 2 .
2. Sepfitrah, Yose Rizal. 2015. *Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada*

- Recovery Boiler. JURNAL APTEK Vol. 7 No. 1 .*
3. Luthfi Maslul Muttaqim. Andi Trimulyono.Eko Sasmito Hadi. 2015. *Analisa Electrostatic Precipitator (ESP) Pada Exhaust Dalam Upaya Pengendalian Partikulat Debu Gas Buang Main Engine Kapal Latih BIMASAKTI.* Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 3, No. 1.
  4. Solikin. 2014. *Rencana Pengendalian Kualitas Udara Emisi Cerobong Boiler di PG. Pradjekan Bondowoso.* LIGHT Vol 7 No 2.
  5. Gigih Mahartoto Pratama. 2012. *PIACS DC sebagai Pengatur Parameter pada Electrostatic Precipitator di PT. Holcim Indonesia Tbk Cilacap Plant.* Laporan Kerja Praktek Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
  6. Manual Book for Operation and Maintenance Electrostatic Precipitator Kiln No. 1703 VOL.1 PT.Antam Pomalaa.
  7. Manual Book for Operation and Maintenance Electrostatic Precipitator Kiln No. 1703 VOL.2 PT.Antam Pomalaa
  8. www.<http://healthsafetyprotection.com/mengenal-debu-dust-dan-pengendaliannya-dust-control/>
  9. www.<http://planetcopas.blogspot.co.id/2012/08/prinsip-kerja-electrostatic.html>
  10. www. <http://artikel-teknologi.com/electrostatic-precipitator-teknologi-mengendalikan-polusi-abu-fly-ash-dari-boiler/>
  11. [www.teknikelektronika.com/pengertian-muatan-listrik-bunyi-hukum-coulomb/](http://www.teknikelektronika.com/pengertian-muatan-listrik-bunyi-hukum-coulomb/)
  12. [www.id.wikipedia.org/wiki/Ionisa](http://www.id.wikipedia.org/wiki/Ionisa)

