

# **ANALISA KINERJA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP) BERDASARKAN BESARNYA TEGANGAN DC YANG DIGUNAKAN TERHADAP PERUBAHAN EMISI DI POWER BOILER INDUSTRI PULP AND PAPER**

**Noza Afrian\*, Firdaus\*\*, Edy Ervianto\*\***

\*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
E-mail: [noza.afrian@yahoo.com](mailto:noza.afrian@yahoo.com)

## **ABSTRACT**

*Coal-fired power plant can be a source of air pollution if the combustion of coal is not handled properly. The ash from the combustion of coal in a boiler to produce fly ash and bottom ash. Based on this condition, required tools to reduce or control the fly ash. The most effective tool to be used is the electrostatic precipitator (ESP). This observation purposes to Analyze the performance of ESP by the magnitude of the DC voltage used and able to improve the performance of ESP based on the magnitude of the voltage used to changes in emissions. Based on the observations made that the greater the emissions into the ESP, the greater the voltage, which is the actual maximum voltage of 70 kV and a maximum emission incoming ( $135 \text{ mg/Nm}^3$ ), as well as the efficiency of ESP is also influence by the voltage generated, the greater the voltage generated then the efficiency would be increase.*

*Keywords: Electrostatic precipitator (ESP), voltage, emissions*

## **1. PENDAHULUAN**

Pencemaran udara merupakan salah satu pencemaran yang dikategorikan sebagai pencemaran yang sangat berbahaya dan memberikan dampak yang cukup besar. Hal ini dikarenakan partikel polutan dari pencemaran ini berukuran sangat kecil sehingga tidak disadari oleh masyarakat. Berdasarkan wujud fisiknya, pencemar-pencemar yang terdapat di udara tidak hanya berupa gas atau uap, melainkan dapat juga benda-benda padat sebagai partikel, yaitu berupa debu, asap dan bau.

Bertambahnya perindustrian yang muncul saat ini menyebabkan tuntutan

akan kebutuhan listrik meningkat. Pada saat ini di Indonesia pembangkit listrik yang paling banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Hal ini dikarenakan di Indonesia masih banyak terdapat tambang batubara, minyak bumi dan gas bumi. Namun, yang lebih banyak digunakan adalah batubara, karena jumlahnya masih cukup banyak dibanding dengan minyak bumi dan gas bumi.

Batubara adalah mineral organik yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan purba yang mengendap dan selanjutnya berubah bentuk akibat proses fisika dan kimia yang berlangsung

selama jutaan tahun, sehingga batubara termasuk dalam kategori bahan bakar fosil<sup>(1)</sup>. Sehubungan dengan itu maka kelestarian lingkungan sekitarnya harus tetap diperhatikan, karena PLTU dengan bahan bakar batubara dapat menjadi sumber polusi udara apabila sisa pembakaran batubara tidak ditangani dengan baik. Abu sisa pembakaran batubara ini merupakan partikel kecil yang besarnya sebagian besar sekitar 10  $\mu\text{m}$ <sup>(2)</sup>.

Adapun abu hasil pembakaran batubara dalam boiler menghasilkan abu terbang (*Fly ash*) dan abu dasar (*Bottom ash*). Abu terbang disebut *fly ash* adalah material yang tidak bisa terbakar habis dan yang ikut terbawa terbang oleh gas panas. Sedangkan, Abu Dasar (*Bottom ash*) adalah material sisa pembakaran batubara yang tidak terbawa oleh gas panas. Abu terbang hasil pembakaran batubara umumnya dilepaskan ke atmosfer tanpa adanya pengendalian, sehingga dapat menimbulkan pencemaran udara. Oleh karena itu diperlukan adanya perhatian terhadap lingkungan dan pengendalian pencemaran terhadap abu terbang tersebut sebelum dilepaskan ke alam.

Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan alat untuk mengurangi atau mengontrol abu terbang. Alat yang paling efektif untuk digunakan adalah *electrostatic precipitator* (ESP).

Berdasarkan latar belakang di atas maka akan dilakukan observasi dengan judul Analisa Kinerja *Electrostatic Precipitator* (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC Yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi Di Power Boiler PT. RPE.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Debu

Debu merupakan partikel yang kecil dimana sangat mudah terbawa oleh udara. Pada PLTU dimana proses pembakaran batubara pada ruang bakar menghasilkan abu yang masih

mengandung unsur kimia yang tidak baik bagi lingkungan. Adapun abu hasil pembakaran batubara dalam ruang bakar menghasilkan *Fly ash* (Abu terbang) dan *Bottom ash* (Abu dasar).

Adapun faktor yang mempengaruhi penangkapan debu<sup>(3)</sup>, yaitu:

#### a. Resistifitas Partikel<sup>(4)</sup>

Resistifitas partikel, suatu ukuran resistansi partikel terhadap listrik, yang merupakan indikator kecepatan migrasi partikel. Resistifitas sangat penting dalam mempengaruhi efisiensi ESP. Satuan untuk resistifitas adalah  $\Omega\cdot\text{cm}$ . Adapun persamaan resistifitas partikel, yaitu:

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (1)$$

Dimana:

$\rho$  = Resistifitas ( $\Omega\cdot\text{cm}$ )

R = Tahanan ( $\Omega$ )

A = luas penampang ( $\text{cm}^2$ )

l = Panjang penghantar (cm)

Nilai resistifitas bahan secara umum berada diantara  $10^{-3}$  sampai  $10^{14}$   $\Omega\cdot\text{cm}$ , sedangkan nilai resistivitas partikel yang baik untuk ESP adalah  $10^7 - 10^{10}$   $\Omega\cdot\text{cm}$ .

#### b. Ukuran Partikel

Semakin besar ukuran partikel debu, semakin besar kemungkinan ion gas menabraknya sehingga semakin besar muatan yang dimilikinya. Dengan demikian kecepatan partikel untuk bergerak ke elektroda positif (*collecting plate*) akan semakin cepat. Ini berlaku untuk partikel yang berukuran lebih dari 1 mikrometer

#### c. Pengaruh Temperatur

Jika temperature naik maka kuat medan listrik akan turun dan daya penangkapan debu akan turun sehingga efisiensi ESP akan turun.

#### d. Pengaruh *Spark*

*Spark* dapat timbul jika lapisan debu pada permukaan *collecting electrode* terlalu tebal.

## 2.2 Flue Gas System

*Flue Gas system* adalah bagian yang sangat penting untuk menjaga agar PLTU tidak menyebabkan polusi berlebihan kepada lingkungan.

## 2.3 Electrostatic Precipitator (ESP)

*Electrostatic precipitator* atau yang disebut ESP adalah suatu alat yang berfungsi sebagai alat penangkap abu atau *Ash collection* pada industri dan berfungsi untuk mengurangi polusi yang ditimbulkan oleh hasil pembakaran batubara dalam *furnace*.



Gambar 2.1 *Electrostatic 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*<sup>(5)</sup>.

### 2.3.2 Komponen Utama ESP

Adapun masing-masing komponen dan fungsinya adalah sebagai berikut :

- Transformer berfungsi sebagai pemberi daya arus listrik bertegangan tinggi pada *collecting plate system* dari listrik yang semula hanya 660 volt menjadi 110 KV DC.

- Collecting plate system* terdiri dari *collecting plate* dan *discharge electrode* setelah mendapatkan arus tegangan tinggi akan timbul medan magnet dan *collecting plate* akan berfungsi sebagai pengumpul atau *collection ash*, karena setelah *ash* atau abu yang keluar dari boiler dan masuk ke dalam ESP maka abu tersebut akan terurai menjadi partikel-partikel yang akan menempel pada permukaan dinding *collecting plate*.

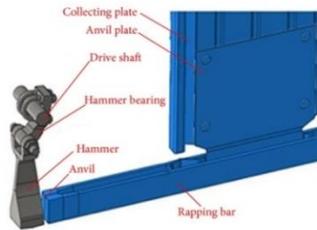


Gambar 2.2 *Collecting plate*<sup>(9)</sup>



Gambar 2.3 *Discharge Electrode*<sup>(10)</sup>

- Rapper* atau *rapping system* ini berfungsi sebagai pemukul atau pembuat getaran yang mana setelah abu menempel pada permukaan *collecting plate* maka dipukul menggunakan *rapping system*, sehingga abu yang menempel di dinding *collecting plate* akan jatuh ke dalam *hopper*.



Gambar 2.4 Rapping System<sup>(11)</sup>

- d. Hopper ini berfungsi sebagai penampung abu yang jatuh dari hasil pemukulan oleh rapping system.



Gambar 2.5 Hopper

## 2.4 Pengumpulan Partikel

Pengumpulan partikel pada ESP terjadi ketika partikel-partikel bermuatan pindah menuju permukaan *collecting plate* dan terjebak oleh medan electrostatik partikel-partikel tersebut.

## 2.5 Kecepatan Migrasi Partikel ( $\omega$ )<sup>(4)</sup>

Kecepatan migrasi partikel adalah kecepatan gerak partikel ketika diberi muatan negatif bergerak menuju elektroda plat pengumpul. Variable yang mempengaruhinya yaitu ukuran partikel, kuat medan listrik dan viskositas gas. sehingga kecepatan migrasi partikel dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2 K_0 p a E_c E_p}{3 \mu} \quad (2)$$

Dimana :

$\omega$  = Kecepatan migrasi partikel ( $m/s$ )

A = Jari-jari partikel (m)

p = Tekanan (1 atm)

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

$E_p$  = Kuat medan precipitator (v/m)

Dapat dianggap bahwa  $E_c = E_p = E$

$\mu$  = Viskositas gas (pascal . detik)

$K_0$  = Permittivity ( $8,85 \times 10^{-12} F/m$ )

Adapun persamaan lain untuk mencari kecepatan migrasi<sup>(5)</sup>, yaitu :

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta) \quad (3)$$

Dimana:

$\omega$  = Kecepatan migrasi partikel ( $m/s$ )

Q = Laju aliran gas ( $m^3/s$ )

A = Luas media penangkap ( $m^2$ )

$\eta$  = Efisiensi ESP

## 2.6 Efisiensi Pengumpulan Partikel<sup>(3)</sup>

Efisiensi pengumpulan partikel dari sebuah ESP pertama dikembangkan secara empiris oleh Elvald Anderson ditahun 1919 dan dikembangkan secara teoritis oleh W. deutsch di tahun 1922. Persamaan ini dikenal sebagai persamaan Deutsch-Anderson. Adapun persamaan Deutsch-Anderson sebagai berikut:

$$Eff = 1 - e^{-\left(\frac{wA}{Q}\right)} \quad (4)$$

Dimana:

$\omega$  = Kecepatan migrasi partikel ( $m/s$ )

A = Luas media penangkapan ( $m^2$ )

Q = Laju aliran gas ( $m^3/s$ )

e = Bilangan napier

## 3. Metode Observasi

### 3.1 Umum

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah dengan peninjauan langsung ke lokasi observasi untuk memperoleh data yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

### 3.2 Langkah-Langkah Observasi

Adapun proses (langkah-langkah) observasi ini dilaksanakan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data
2. Analisa dan pengolahan data

Untuk langkah-langkah observasi yang lebih terstruktur dapat dilihat pada flowchart.

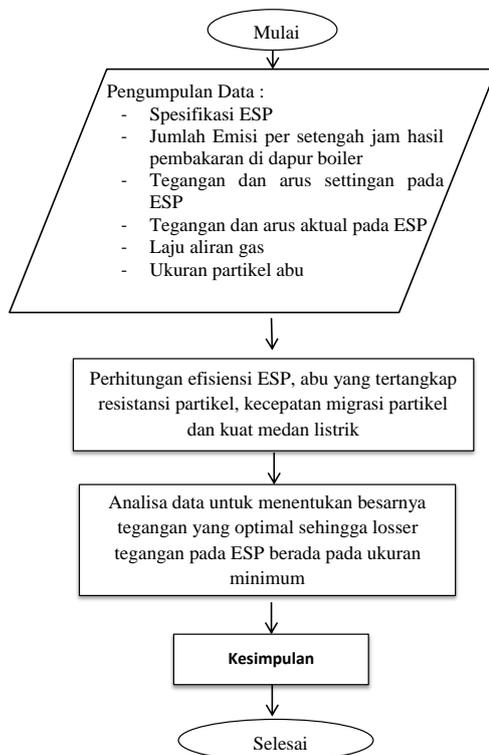
### 3.3 lokasi observasi

Observasi ini dilaksanakan di PT. RPE pada ESP Power Boiler 3.

### 3.4 Data

Data yang diperlukan untuk observasi ini adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi ESP
2. Jumlah emisi per setengah jam hasil pembakaran di dapur boiler
3. Tegangan dan arus settingan pada ESP
4. Tegangan dan arus aktual pada ESP
5. Laju aliran gas
6. Ukuran partikel abu



Gambar 3.1 Pembahasan Observasi

## 3.5 Prosedur Observasi

### 3.5.1 Observasi Ke ESP Power Boiler

Observasi ke ESP dimaksudkan untuk melihat ESP serta melihat komponen-komponen apa saja yang terdapat pada ESP kemudian melihat bagaimana kondisi fisik ESP serta

melihat kondisi fisik transformator, *hopper*, ID fan, *rapper*, *collecting plate*.

### 3.5.2 Mengamati Nilai Tegangan Dan Arus Aktual Pada ESP

Untuk mengamati nilai tegangan dan arus aktual pada ESP dapat dilihat pada *system control unit* pada ESP, yaitu PIACS-DC. PIACS DC (*Precipitator Integrated Automatic Control System*) merupakan perangkat pengontrolan yang terintegrasi atau satu paket dengan *electrostatic precipitator* yang digunakan untuk tegangan tinggi DC. Adapun salah satu pengontrolnya adalah tegangan dan arus.



Gambar 3.2 Panel PIACS-DC

### 3.5.3 Mengumpulkan Data Hasil Pengukuran

Pada tahap ini data yang didapat melalui proses pengamatan tegangan dan arus aktual pada ESP terhadap perubahan emisi. Adapun pengamatan dilakukan dengan cara bertahap. Hal ini dilakukan karena untuk mengukur efisiensi ESP, serta untuk mengetahui kecepatan partikel.

Mengamati besar nilai tegangan dan arus settingan serta nilai aktualnya.

Setelah masing-masing nilai tegangan dan arus aktual didapat, peneliti juga menghitung nilai efisiensi ESP per fieldnya, resistivitas partikel, perhitungan kecepatan migrasi partikel, kuat medan

listik dan jumlah abu yang tertangkap setiap field ESP.

#### 4. Analisa Dan Hasil

##### 4.1 Menentukan Besarnya Tegangan yang Optimum Terhadap Perubahan Emisi

Untuk menganalisa besarnya tegangan yang optimum terhadap perubahan emisi perlu diketahui beberapa parameter yang menjadi acuan sebelum menentukan tegangan tersebut. Diantaranya efisiensi ESP aktual, resistifitas partikel, kecepatan migrasi partikel, abu yang tertangkap setiap field dan kuat medan listrik. Untuk itu perlu adanya perhitungan masing-masing parameter berdasarkan survey dan pengukuran yang dilakukan pada ESP PB 3.

##### 4.1.1 Jumlah Emisi

Dari data emisi tersebut dapat dilihat nilai minimum dan maksimum emisi. Dimana emisi minimum *outlet* partikulat 29 mg/Nm<sup>3</sup> dan maksimum *outlet* sebesar 40 mg/Nm<sup>3</sup> dan untuk jumlah abu yang masuk di flue gas minimum sebesar 178 kg/s dan maksimum 297 kg/s.

##### 4.1.2 Tegangan dan Arus Setting pada ESP

Berdasarkan data yang didapat dari hasil survey yang dilakukan, besar tegangan dan arus setting pada ESP PB 3.

**Tabel 4.1 Tegangan dan Arus Setting pada ESP**

ESP	Field	Tegangan (KV)	Arus (mA)
ESP 1	1	110	1000
	2	110	1000
	3	110	1000
ESP 2	1	110	1000
	2	110	1000
	3	110	1000

Dimana tegangan 110 kV merupakan tegangan maksimum pada transformator.

##### 4.1.3 Tegangan dan Arus Aktual ESP Terhadap Perubahan Emisi

Adapun nilai tegangan minimum, tegangan maksimum, arus minimum dan arus maksimum aktual setiap field ESP dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.2 Tegangan dan Arus Aktual Setiap Field ESP**

ESP	FIELD	Tegangan (kV)		Arus (mA)	
		Min	Max	Min	Max
ESP 1	1	77.76	89.26	488.5	854.37
	2	64.42	69.5	747.15	922.32
	3	64.34	78.69	1088.65	1189.56
ESP 2	1	31.89	38.6	41.59	59.28
	2	62.83	70.49	762.75	1119.33
	3	62.32	72.46	859.61	985.19
RATA-TATA		61	70	665	855

Dimana efisiensi tegangan aktual setiap field adalah:

$$\text{Eff} = \frac{V_{\text{aktual}}}{V_{\text{setting}}} \times 100 \%$$

**Tabel 4.3 Efisiensi Tegangan Pada Saat Emisi Minimum dan Maksimum**

ESP	Field	Efisiensi Tegangan (%)	
		Emisi MIN	Emisi Max
ESP 1	1	71	81
	2	59	63
	3	58	72
ESP 2	1	29	35
	2	57	64
	3	57	66

#### 4.1.4 Resistifitas Partikel

Setelah mengetahui besar tahanan partikel setiap field maka dapat dilakukan perhitungan besar resistifitas partikel dengan menggunakan persamaan (1).

**Tabel 4.4 Besar Resistifitas Partikel Pada Saat Emisi Minimum dan Maksimum**

ESP	Field	Resistifitas Partikel ( $\Omega.cm$ )	
		Emisi Min	Emisi Max
ESP 1	1	$284 \times 10^7$	$187 \times 10^7$
	2	$154 \times 10^7$	$135 \times 10^7$
	3	$106 \times 10^7$	$118 \times 10^7$
ESP 2	1	$1369 \times 10^7$	$1163 \times 10^7$
	2	$147 \times 10^7$	$112 \times 10^7$
	3	$129 \times 10^7$	$131 \times 10^7$

#### 4.1.5 Kecepatan Migrasi Partikel Berdasarkan Desain

ESP yang dirancang untuk efisiensi 99,52%, maka kecepatan migrasi partikel nya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3), yaitu :

$$\text{Dik : } A = 11785 \text{ m}^2$$

$$Q = 176,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka :

$$\omega = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta)$$

$$= -\frac{176,6}{11785} \ln(1 - 0,9952)$$

$$= 0,080 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan migrasi partikel berdasarkan desain adalah  $0,080 \text{ m/s}$ . Adapun untuk menghitung kuat medan listrik yang dibutuhkan partikel untuk bergerak sebesar  $0,080 \text{ m/s}$  dapat menggunakan persamaan (2) adalah :

$$E^2 = \frac{3 \omega \mu}{2 K_0 P a}$$

$$E^2 = \frac{3 \times 0,080 (1,8 \times 10^{-5})}{2 (8,85 \times 10^{-12}) (0,5 \times 10^{-6})}$$

$$E = 699 \text{ kV/m}$$

Maka besar tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan kuat medan listrik seperti diatas dapat dihitung dengan persamaan :

$$V = E \cdot d$$

Diketahui:

$$E = 699 \text{ kV/m}$$

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

maka:

$$V = 699 \times 0,15$$

$$= 105 \text{ KV}$$

#### 4.1.6 Menghitung Kuat Medan Listrik dan Kecepatan Migrasi Partikel Berdasarkan Kondisi Aktual

Adapun besar kuat medan listriknya, yaitu:

1. Besar kuat medan listrik pada saat emisi minimum :

$$E = \frac{V}{d} = \frac{61 \text{ kV}}{0,15 \text{ m}} = 407 \text{ kV/m}$$

2. Besar kuat medan listrik pada saat emisi maksimum :

$$E = \frac{V}{d} = \frac{70 \text{ kV}}{0,15 \text{ m}} = 467 \text{ kV/m}$$

Jadi, besar kuat medan listrik rata-rata, yaitu:

$$E_{\text{rata-rata}} = \frac{407 \text{ kV} + 467 \text{ kV}}{2} = 437 \text{ kV/m}$$

sehingga, kecepatan migrasi partikel aktual pada ESP dapat diketahui, yaitu:

$$\omega = \frac{2 K_0 P a E_c E_p}{3 \mu}$$

$$= \frac{2 (8,85 \times 10^{-12}) (0,5 \times 10^{-6}) (437.000) (437.000)}{3 (1,8 \times 10^{-5})}$$

$$= 0,031 \text{ m/s}$$

Dalam hal ini terjadi penurunan kecepatan migrasi partikel, berdasarkan inspeksi ESP yang dilakukan oleh PT. RPE *maintenance* ditemukan kerusakan pada *collecting plate*, berupa pembengkokan dan korosi. Pada bagian rapping banyak terjadi *rappier* atau pemukul mengalami aus karena gesekan dan juga anvil atau palu sudah tidak simetris lagi sehingga menyebabkan *collecting* bengkok. Kemudian pada

poros maupun bantalan *hammer* korosi mengakibatkan gerak pukul *hammer* menjadi terhambat, Serta pada *emitting wire* beberapa bagian putus sehingga panjang *emitting wire* berkurang yang dapat mengakibatkan muatan medan listrik berkurang. Faktor ini lah yang menyebabkan penurunan kecepatan migrasi partikel.

#### 4.1.7 Analisa Perhitungan Jumlah Abu Yang Tertangkap Setiap Field ESP

Karena ESP pada PB 3 ada 2 buah maka diasumsikan setiap abu yang masuk dibagi 2.

**Tabel 4.5 Jumlah Abu Minimum yang Masuk**

ESP	Field	Abu (kg/s)		
		Masuk	Tertangkap	Terlepas
ESP 1	1	88.83	62.83	26
	2	26	15.22	10.78
	3	10.78	6.28	4.5
ESP 2	1	88.83	25.76	63.07
	2	63.07	36.01	27.06
	3	27.06	15.36	11.7

Berdasarkan tabel diatas didapat efisiensi kedua ESP pad sebesar 91%.

**Tabel 4.6 Jumlah Abu Maksimum yang Masuk**

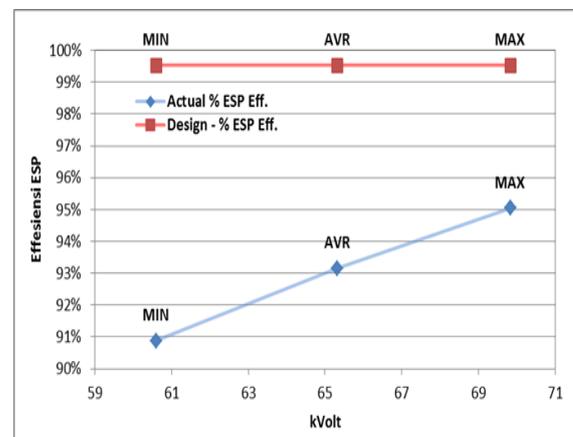
ESP	Field	Abu (kg/s)		
		Masuk	Tertangkap	Terlepas
ESP 1	1	148.31	120.4	27.91
	2	27.91	17.63	10.28
	3	10.28	7.38	2.9
ESP 2	1	148.31	52.04	96.27
	2	96.27	61.7	34.57

	3	34.57	22.77	11.8
--	---	-------	-------	------

Berdasarkan tabel diatas didapat efisiensi kedua ESP sebesar 95%.

#### 4.2 Hubungan Efisiensi ESP Terhadap Tegangan

Setelah dilakukan pengambilan dan analisa data, maka dibuat grafik perbandingan efisiensi terhadap tegangan dan emisi terhadap tegangan, sebagai berikut:

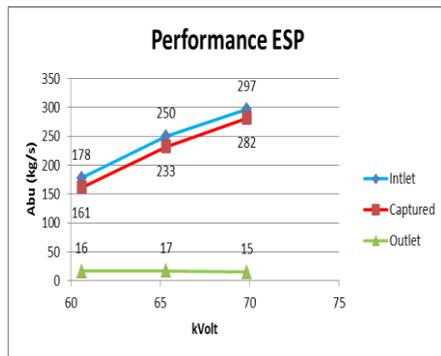


**Gambar 4.1 Grafik Efisiensi ESP Terhadap Tegangan**

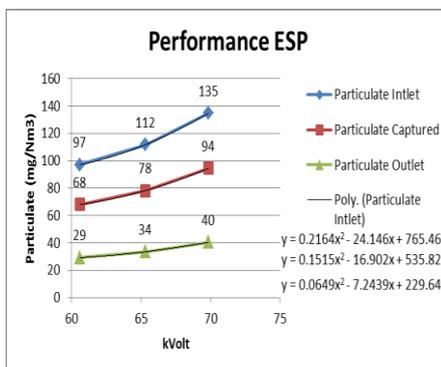
Berdasarkan gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa besar tegangan efisiensi aktual minimum sebesar 91 % dan efisiensi aktual maksimum sebesar 95%. Sehingga, semakin besar tegangan maka semakin tinggi efisiensi ESP. Namun disini efisiensi aktual tidak sesuai dengan efisiensi desain, yang mana efisiensi aktual maksimal hanya sebesar 95%, sedangkan efisiensi ESP desain sebesar 99,52%.

#### 4.3 Hubungan Emisi Masuk, Tertangkap dan Keluar Terhadap Tegangan

Dilihat juga abu yang masuk, tertangkap dan yang keluar terhadap tegangan serta grafik emisi yang masuk, emisi yang tertangkap dan emisi yang keluar terhadap tegangan dibawah ini.



**Gambar 4.2 Grafik Abu masuk, tertangkap dan keluar Terhadap Tegangan**

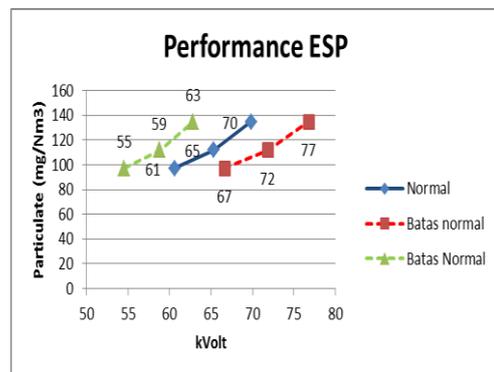


**Gambar 4.3 Grafik Particulate Inlet, captured dan outlet Terhadap Tegangan**

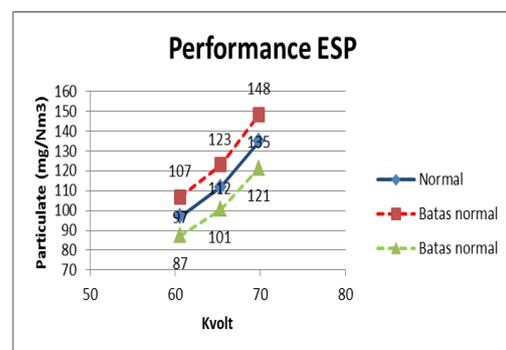
Berdasarkan gambar grafik (4.2) dan (4.3) bahwasanya semakin besar abu atau emisi yang masuk ke dalam ESP maka semakin besar tegangannya untuk menangkap emisi tersebut. Besar tegangan inilah yang mempengaruhi efisiensi ESP. Pada grafik (4.3) terlihat juga besar partikulat maksimum yang keluar atau terlepas ke udara adalah sebesar 40 mg/Nm<sup>3</sup>. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa ESP pada power boiler 3 masih dalam sesuai standar walaupun dibagian komponen ESP sebagian mengalami kerusakan, yang mana batas ambang gas buang untuk partikulat pada power boiler berdasarkan kep-13/MENLH/3/1995+ attachment IIB/kep-205/BAPEDAL/07/1996) sebesar 230 mg/Nm<sup>3</sup>. Dapat dilihat juga bahwasanya besar partikulat yang

masuk ke dalam ESP masih dalam keadaan standar. Namun, perusahaan tetap menggunakan ESP karena perusahaan ini berjalan dalam waktu jangka panjang. Sehingga, diperkirakan sewaktu-waktu emisi yang keluar bisa melebihi batas ambang standar, serta perusahaan berkomitmen untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup dari zat pencemar.

Adapun batas persentase tegangan dan emisi apabila terjadi gangguan tanpa harus mematikan ESP. Hal ini dimaksudkan sebagai antisipasi mencegah emisi yang keluar melebihi standar, serta dapat juga mengetahui adanya kerusakan yang fatal pada komponen-komponen ESP, sehingga ESP dapat di trip kan. Diasumsikan besar toleransi antara tegangan dan emisi sebesar ±10%. Maka dapat dilihat grafiknya sebagai berikut.



(a)



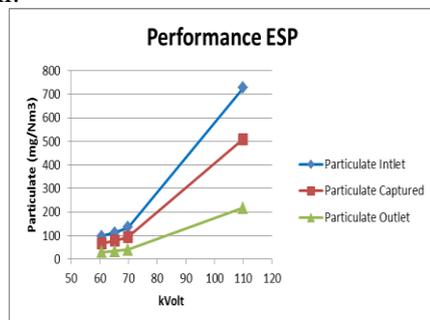
(b)

**Gambar 4.4 a) Grafik Batas Normal Tegangan b) Batas Normal Emisi**

Berdasarkan grafik 4.4a dapat dilihat pada saat emisi minimum batas tegangan minimum sebesar 55 kV dan batas maksimum 67 kV, dan pada saat emisi maksimum batas tegangan minimum sebesar 63 kV dan maksimum sebesar 77 kV. Begitu juga pada grafik 4.4b pada saat terjadi perubahan pada emisi namun tegangan tetap yang mana pada saat tegangan minimum batas emisi minimum sebesar 87 mg/Nm<sup>3</sup> dan maksimum 107mg/Nm<sup>3</sup>, dan pada saat tegangan maksimum batas emisi minimum sebesar 121mg/Nm<sup>3</sup> dan batas maksimum 148 mg/Nm<sup>3</sup>. Didalam hal ini, apabila tegangan atau emisi melebihi batas normal yang telah ditentukan maka dapat diartikan ESP mengalami gangguan.

#### 4.4 Penentuan Besarnya Tegangan yang Optimum Terhadap Emisi

Berdasarkan observasi yang telah dilakukan besar tegangan yang disetting pada ESP PB 3 PT. RPE sebesar 110 kV DC sudah tepat. Dapat dilihat dari grafik 4.3 apabila grafik emisi yang masuk diekpresikan dengan persamaan polynomial  $y = 0,2164x^2 - 24,146x + 765,46$  untuk *particulate inlet*,  $y = 0,1515x^2 - 16,902x + 535,82$  untuk *particulate captured* dan  $y = 0,0649x^2 - 7,2439x + 229,64$  untuk *particulate outlet* dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Particulate

Berdasarkan dari grafik 4.5 jika tegangan mencapai 110 kV maka

partikulat yang masuk sebesar 728 mg/Nm<sup>3</sup>, partikulat yang tertangkap 510 mg/Nm<sup>3</sup> dan partikulat yang keluar sebesar 218 mg/Nm<sup>3</sup>. Dalam hal ini, apabila emisi yang keluar melebihi batas ambang yang telah ditetapkan maka ESP akan TRIP.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan observasi yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Berdasarkan observasi yang telah dilakukan, besar tegangan yang disetting pada ESP PB 3 sebesar 110 kV DC sudah tepat
2. Semakin besar emisi yang masuk ke dalam ESP maka semakin besar tegangannya untuk menangkap emisi tersebut, yang mana tegangan aktual maksimumnya sebesar 70 kV dan emisi maksimum yang masuk 135 mg/Nm<sup>3</sup>
3. Efisiensi ESP tergantung pada tegangan yang dibangkitkan, semakin besar tegangan yang dibangkitkan maka efisiensi akan naik.
4. Terjadinya penurunan efisiensi ESP dan kecepatan migrasi partikel, yang mana efisiensi ESP aktual sebesar 95% dan kecepatan migrasi partikel 0,031 m/s, sedangkan efisiensi desain 99,52% dan kecepatan migrasi partikel 0,080 m/s.
5. Efisiensi tegangan aktual per field maksimum sebesar 81%.
6. Berdasarkan dari grafik batas persentase tegangan dan emisi. Apabila tegangan atau emisi melebihi batas normal yang telah ditentukan maka ESP mengalami gangguan.
7. Berdasarkan ke-13/MENLH/3/1995+ attachment IIB/kep-205/BAPEDAL/07/1996) batas

ambang gas buang *particulate* pada power boiler sebesar 230 mg/Nm<sup>3</sup>. Berarti emisi *particulate* yang dikeluarkan oleh power boiler 3 PT. RPE sebesar 40 mg/Nm<sup>3</sup> sesuai dengan standar.

8. Dari hasil survey dan inspeksi ESP yang dilakukan oleh PT. RPE *maintenance* terdapat kerusakan pada komponen-komponen ESP. sehingga hal ini lah penyebab efisiensi pada ESB berkurang.

## 5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan perbaikan dan penggantian komponen yang rusak, serta melakukan perawatan ESP secara berkala agar efisiensi ESP dan umur pakai ESP akan bertambah panjang.

## Daftar pustaka

- [1] Whardani, E. M. Sutisna dan A. H. Dewi. 2012. *Evaluasi pemanfaatan abu terbang (Fly ash) batubara sebagai campuran media tanam pada tanaman tomat (Solanum lycopersicum)*. Jurnal Itenas Rekayasa Institut Teknologi Nasional, Vol. XVI, No. 1. Hal 45.
- [2] Chiang, T. W. 2001. *Simulasi electrostatic precipitator keeping sejajar 10 KV DC*. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- [3] Wibowo, H. Y. 2010. *Pemicuan metode intermittent energization pada rawmill electrostatic precipitator PT. inducement tunggal prakarsa Tbk. Plant 9*. Makalah seminar kerja praktek. Teknik elektro Universitas Diponegoro. Semarang
- [4] Wang, L. K., N. C. Pereira dan Y. Hung. 2004. *Air pollution control engineering*. Humana Press Inc. Totowa, New Jersey.
- [5] Sugeng, M. dan Supriyo. *Pengaruh kegagalan collecting plate system electrostatic precipitator dengan kenaikan emisi pada pembangkit listrik tenaga uap*. Jurnal Teknologi Industri, Vol XIII, No. 2. Hal 22-40.
- [6] Yahdi, U. 1995. *Pengantar fisika listrik magnet*. Gunadarma. Jakarta.
- [7] Sunardi A. F. Annonymus. *Perancangan dan pembuatan model miniature electrostatic precipitator (pengedap debu electrostatic) untuk mengurangi partikel debu gas buang pabrik gula krebet baru I kabupaten malang*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- [8] Hartono, R. 2012. *Analisa electrostatic precipitator (ESP) untuk penurunan emisi gas buang pada recovery boiler di PT. RAPP*. Skripsi. Teknik mesin STTP. Pekanbaru  
<http://www.hamonusa.com/aftermarket/hrc/equipment/collectingplates>, Akses tanggal 28 maret 2015 jam 20.00  
[www.vaayushanti.in/discharge-electrodes.htm](http://www.vaayushanti.in/discharge-electrodes.htm), Akses tanggal 28 maret 2015 jam 20.10  
<http://www.hindawi.com/journals/amse/2014/136059/fig10/>, Akses tanggal 28 maret 2015 jam 20.35

