



## STUDI VARIASI TEGANGAN DISCHARGE PADA ALAT *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* UNTUK FILTER UDARA

Sudrajad A, Firmansyah W

*Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jalan Jendral Sudirman km 03 Cilegon, Banten, Indonesia 42435*

Email Penulis: [agung@untirta.ac.id](mailto:agung@untirta.ac.id)

### INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 20/01/2019  
Naskah Direvisi 10/04/2019  
Naskah Disetujui 12/04/2019  
Naskah Online 12/04/2019

### ABSTRAK

Udara bersih di dalam rumah dan kantor menjadi kebutuhan di era masyarakat modern. Kita tidak dapat menyangkal bahwa udara partikulat di dalam rumah dan kantor akan dapat membahayakan kesehatan bagi manusia. Penelitian ini membahas tegangan discharge yang diaplikasikan pada alat penyaring udara berbasis *Electrostatic Precipitator* (ESP), dengan metode experimental. Pengambilan data dilakukan dengan memasukkan asap ke dalam ruang eksperimen dan dilakukann treatment aplikasi ESP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan efektif terdapat pada tegangan yang mendekati tegangan maksimum, untuk kawat yang berdiameter 0,7 mm tegangan efektifnya adalah 8250 V (DC), dan untuk kawat yang berdiameter 0,4 mm tegangan efektifnya adalah 8500 V (DC).

**Kata kunci:** *Electrostatic precipitator, penyaring udara, tegangan discharge*

### 1. PENDAHULUAN

Udara merupakan media lingkungan yang merupakan kebutuhan dasar manusia, sehingga perlu mendapatkan perhatian yang serius. Udara bersih di dalam rumah dan kantor menjadi kebutuhan di era masyarakat modern. Kita tidak dapat menyangkal bahwa udara partikulat di dalam rumah dan kantor akan dapat membahayakan kesehatan bagi manusia. Emisi partikulat yang masuk ke dalam sistem pernafasan manusia dalam waktu yang lama dapat menyebabkan reaksi dengan segera atau reaksi jangka panjang. Sehingga dituntut untuk membuat alat penyaring udara yang dapat diaplikasikan di rumah tinggal dan kantor. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan antara lain industri, transportasi, perkantoran, dan perumahan. Berbagai kegiatan tersebut merupakan kontribusi terbesar dari pencemar udara yang dibuang ke udara bebas. Dampak dari pencemaran udara tersebut menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia.

Teknologi terbaru untuk mengurangi dampak dari pencemaran udara saat ini yaitu bernama *Gas Phase Advanced Oxidation* (GPAO). Teknologi ini meniru cara kerja bumi dalam menghilangkan polutan dari udara. Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan teknologi ESP (*Electrostatic Precipitator*) untuk menyaring udara di rumah dan kantor. Teknologi ini memanfaatkan tegangan DC (*Direct Current*) tinggi untuk menangkap debu atau partikel, oleh karenanya penelitian ini melakukan studi variasi tegangan discharge pada alat *Electrostatic Precipitator* untuk filter udara.

### 2. KONSEP DASAR *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR* (ESP)

#### 2.1 Proses Ionisasi

Udara ideal adalah gas yang hanya terdiri dari molekul netral, yang tidak mengalirkan arus listrik pada kondisi normal. Namun pada kenyataannya udara sekitar tidak hanya terdiri dari molekul netral saja, tetapi ada yang berupa ion dan elektron bebas, sehingga dapat mengalirkan arus listrik walaupun

kecil. Pada kondisi normal, udara bersifat isolator, namun bila ada proses ionisasi maka dapat berubah menjadi konduktor. Perubahan sifat ini dikarenakan adanya elektron bebas yang bergerak sehingga akan terjadi tumbukan antar elektron dengan muatan lainnya. Di dalam medan listrik, bila sebuah elektron dengan muatan  $e$  ditempatkan dalam medan listrik  $E$ , maka elektron-elektron tersebut akan mendapat tambahan energi yang cukup besar untuk merangsang timbulnya pelepasan muatan dari molekul-molekul netral di sekitarnya, yang besarnya adalah

$$W = e \cdot E \cdot x = \frac{1}{2} m_e v_e^2, \quad (2.1)$$

di mana:

- $W$  = Energi
- $e$  = Muatan elektron
- $E$  = Muatan listrik (V/m)
- $m_e$  = Massa elektron
- $v_e$  = Kecepatan elektron.

## 2.2 Korona

Korona merupakan gejala pelepasan muatan elektron dari molekul udara di sekitar penghantar bertegangan tinggi, sehingga akan tampak pijaran bercahaya di sekitar penghantar dan mengeluarkan suara desis. Gejala ini penting dalam teknik tegangan tinggi terutama di mana medan tidak seragam tidak dapat dihindari. Korona yang terjadi di daerah medan listrik yang tidak seragam ini dianggap merugikan karena menimbulkan rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi dan merusak bahan isolasi. Gradien potensial yang dibutuhkan untuk membangkitkan korona pada permukaan konduktor biasa disebut dengan kuat medan korona atau kuat medan kritis.

$$E_c = 3.1 \times 10^6 m \cdot d \cdot \left[ 1 + \frac{0.301}{\sqrt{dR}} \right], \quad (2.2)$$

di mana:

- $E_c$  = Kuat medan korona (V/m)
- $m$  = Faktor iregularitas
- $d$  = Densitas udara relatif  $\left( \frac{0.392p}{T} \right)$
- $R$  = Jari-jari kawat (m).

## 2.3 Tegangan Korona

Tegangan korona merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk membangkitkan kuat medan korona. Tegangan korona ini dapat dihitung dengan persamaan

$$V_c = E_c r \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right), \quad (2.3)$$

di mana:

- $V_c$  = Tegangan kritis korona (V)
- $E_c$  = Kuat medan korona (V/m)
- $r$  = Jari-jari korona (m)
- $r_1$  = Jari-jari kawat (m)
- $r_2$  = Jarak antara kawat dengan plat (m).

## 2.4 Tegangan Aplikasi

Tegangan aplikasi merupakan tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan *Electrostatic Precipitator* (ESP). Tegangan aplikasi ini dapat dihitung dengan persamaan

$$V_a = V_c + E_c \left( \frac{r^2 + r_1^2}{2r_1} \right), \quad (2.4)$$

di mana:

- $V_a$  = Tegangan aplikasi (V)
- $V_c$  = Tegangan kritis korona (V)
- $E_c$  = Kuat medan korona (V/m)
- $r$  = Jari-jari korona (m)
- $r_1$  = Jari-jari kawat (m).

## 2.5 Rumusan *Electrostatic Precipitator* (ESP)

Aplikasi elektrostatis pada dunia industri digunakan untuk mengatasi masalah limbah debu. *Electrostatic Precipitator* (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan ESP ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan lebih sedikit. Berikut adalah beberapa rumusan ESP [5].

(i) Medan Korona

$$E_c = 3.126 \times 10^6 d \left[ 1 + 0.0301 \left( \frac{dr}{rw} \right)^{0.5} \right], \quad (2.5)$$

di mana:

- $E_c$  = Medan korona (V/m)
- $dr$  = Densitas gas relatif (1 atm)
- $rw$  = Radius kawat (m).

(ii) Tegangan Korona

$$V_c = E_c rw \ln \left( \frac{d}{rw} \right), \quad (2.6)$$

di mana:

- $V_c$  = Tegangan korona (V)
- $d$  = Jarak dari plat ke kawat (m)

(iii) Medan Maksimum

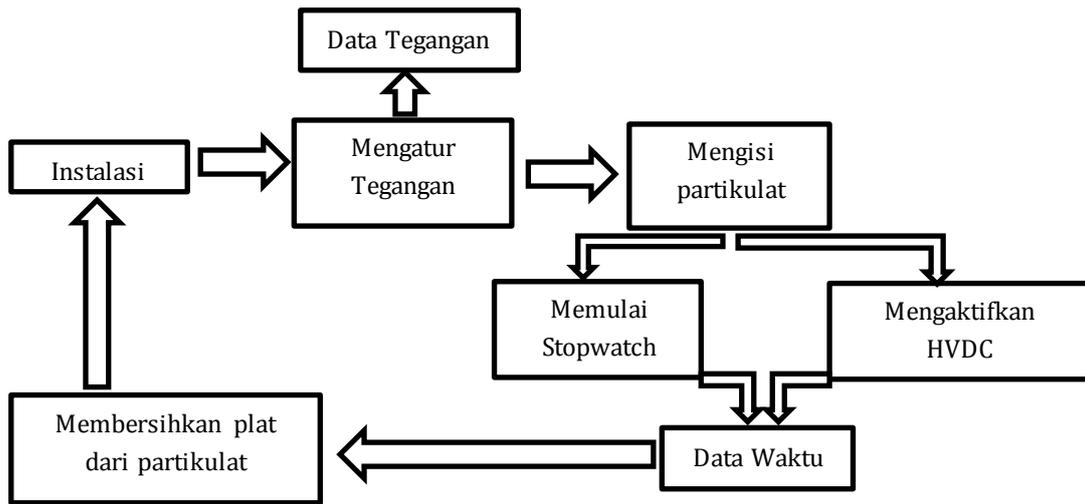
$$E_{max} = \frac{V}{L}, \quad (2.7)$$

di mana:

- $E_{max}$  = Medan maksimum (V/m)
- $V$  = Tegangan aplikasi (V)
- $L$  = Jarak terdekat kawat (m).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Data hasil penelitian ini didapatkan melalui metode eksperimental (percobaan) yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin FT Untirta. Proses pengambilan data yang dilakukan dalam studi variasi tegangan discharge untuk keperluan rumah tinggal dan kantor berbasis *Electrostatic Precipitator* (ESP) diilustrasikan melalui skema yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengambilan data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tegangan Maksimum

Pada Percobaan ini dilakukan menggunakan 2 buah plat dengan material *stainless steel* yang berukuran 180 x 200 mm, dengan ketebalan 0.15 mm dan jarak antar plat yaitu 12 mm yang dihubungkan pada *hopper grounding* sumber tegangan. 3 buah batang kawat besi berdiameter 0.7 mm digunakan sebagai elektroda dengan jarak antar kawat 80 mm. Sumber tegangan berasal dari *high voltage power supply* DC. Setelah dilakukan percobaan pada jarak antar plat 12 mm, tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 8300 V. Percobaan berikutnya dilakukan menggunakan 2 buah plat dengan material *stainless steel* yang berukuran 180 x 200 mm, dengan ketebalan 0.15 mm dan jarak antar plat yaitu 12 mm yang dihubungkan pada *hopper grounding* sumber tegangan. 3 buah batang kawat besi berdiameter 0.4 mm digunakan sebagai elektroda dengan jarak antar kawat 80 mm. Sumber tegangan berasal dari *high voltage power supply* DC. Setelah dilakukan percobaan pada jarak antar plat 12 mm, tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 8600 V.

4.2 Medan Korona

Nilai medan korona ( $E_c$ ) didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.5), di mana dalam persamaan tersebut dibutuhkan nilai radius kawat ( $r_w$ ). Pada percobaan ini menggunakan kawat berdiameter 0.7 mm = 0.0007 m, maka nilai radius yang dimasukan pada persamaan adalah  $\frac{1}{2}$  dari diameter kawat, yaitu 0.35 mm = 0.00035 m, sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$E_c = 3.126 \times 10^6 \cdot 1 \cdot \left[ 1 + 0.0301 \left( \frac{1}{0.00035} \right)^{0.5} \right]$$

$$= 8155461.04 \text{ V/m} \approx 8155 \text{ V/mm.}$$

Sementara itu pada kawat berdiameter 0.4 mm, maka nilai radius yang dimasukan pada persamaan adalah  $\frac{1}{2}$  dari diameter kawat, yaitu 0.2 mm = 0.0002 m didapatkan  $E_c \approx 9.779 \text{ V/mm.}$

4.3 Tegangan Korona

Faktor yang mempengaruhi medan korona adalah jarak plat ke kawat, pada percobaan ini menggunakan jarak antar plat 12 mm, maka jarak dari plat ke kawat adalah 6 mm, karena kawat yang digunakan berdiameter 0.7 mm, maka jarak kawat terluar ke kawat yaitu 5.65.

$$V_c = 8155 (0,35) \ln \left( \frac{5.65}{0.35} \right)$$

$$= 7939.03 \text{ V.}$$

Sementara itu untuk kawat yang berdiameter 0.4 mm, maka jarak kawat terluar ke kawat yaitu 5.8 mm didapatkan  $V_c = 6599.22 \text{ V.}$

Tabel 1. Hasil percobaan dengan menggunakan kawat bediameter 0.7 mm

No	Tegangan (V)	Waktu (S)			Rata - rata
		Perco-baan 1	Perco-baan 2	Perco-baan 3	
1	7000	110	117	117	114.67
2	7250	98	94	95	95.67
3	7500	86	84	83	84.33
4	7750	71	71	69	70.33
5	8000	62	58	61	60.33
6	8250	50	51	47	49.33
7	8300	59	59	58	58.67

Dari data hasil percobaan, tegangan terbaik adalah tegangan yang mendekati tegangan maksimum yaitu pada tegangan 8250 V. dengan tegangan sebesar 8250 V alat ESP ini hanya membutuhkan waktu rata rata 49.33 detik untuk mengendapkan asap pada ruang uji dari hasil pembakaran  $\frac{1}{2}$  lembar obat nyamuk asap. Sementara itu dengan menggunakan diameter kawat yang berbeda yaitu menggunakan kawat yang berdiameter 0.4 mm didapatkan hasil sebagaimana tabel 2.

Tabel 2. Hasil percobaan dengan menggunakan kawat bediameter 0.4 mm

No	Tegangan (V)	Waktu (S)			
		Perco-baan 1	Perco-baan 2	Perco-baan 3	Rata - rata
1	7000	287	284	281	284
2	7250	255	252	251	252.67
3	7500	201	197	198	198.67
4	7750	166	162	162	163.33
5	8000	130	127	125	127.33
6	8250	77	77	80	78
7	8500	71	69	69	69.67
8	8600	98	104	99	100.33

Dari data hasil percobaan, tegangan terbaik adalah tegangan yang mendekati tegangan maksimum yaitu pada tegangan 8500 V. dengan tegangan sebesar 8500 V alat ESP ini hanya membutuhkan waktu rata rata 69.67 detik untuk mengendapkan asap pada ruang uji.

#### 4.4 Tegangan Aplikasi

Tegangan aplikasi merupakan tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan Electrostatic Precipitator (ESP). Sebagaimana persamaan (2.4) maka didapatkan hasil untuk tegangan 0.7 mm adalah

$$V_a = 7939.03 + 8155 \left( \frac{0.35^2 + 0.35^2}{2(0.35)} \right)$$

$$= 8224.455 \text{ V.}$$

Sementara itu untuk diameter 0.4 mm didapat  $V_a = 8555.02 \text{ V.}$

## 5. KESIMPULAN

Eksperimen untuk menguji tegangan pada sistem penyaring udara ESP bagi keperluan rumah tinggal dan kantor telah dilakukan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa perubahan tegangan dapat mempengaruhi performa electrostatic precipitator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan efektif terdapat pada tegangan yang mendekati tegangan maksimum, untuk kawat yang berdiameter 0,7 mm tegangan efektifnya adalah 8250 V (DC), dan untuk kawat yang berdiameter 0,4 mm tegangan efektifnya adalah 8500 V (DC).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudrajad A, Yusof AF. 2015. Review of electrostatic precipitator device for reduce of diesel engine particulate matter. *Energy Procedia*. 68(2015):370–380.
- [2] Sunardi AF, Dhofir M, Soemarwanto. 2013. Perancangan dan pembuatan model miniatur *electrostatic precipitator* (pengendap debu elektrostatis) untuk mengurangi partikel debu gas buang Pabrik Gula Krebbe Baru I Kabupaten

Malang. *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*.

- [3] Chang CL, Bai H. 2000. Effect of some geometric parameter on the electrostatic precipitator efficiency at different operation indexes. *Aerosol Science and Technology*. 33:228–238. PP. *American Association for Aerosol Research*.
- [4] Mizuno, A. 2000. Electrostatic precipitation. *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*. 7(5):615-624. PP. *IEEE Explore*.
- [5] James HT. 2002. *EPA Air Pollution Control Cost Manual (Sixth Edition)*. Nort Carolina (US): United States Environmental Protection Agency.