

Pengaruh Perubahan Tegangan dan Jari-Jari Elektroda Pengion Pada *Electrostatic Precipitator* Silinder Konsentris Terhadap Efisiensi Penangkapan Partikel Gas Buang Kendaraan Bermotor

Aji Prasetya Wibawa

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

ABSTRAK

*Proses pembakaran minyak pada kendaraan bermotor akan mengeluarkan unsur-unsur dan senyawa pencemar ke udara seperti partikulat, oksida-oksida sulfur (SO_x), oksida-oksida nitrogen (NO_x), timbal (Pb), dan oksida fotokimia. Emisi partikulat (partikel) lebih berbahaya dari senyawa gas buang yang lain karena memiliki toksisitas yang tinggi sehingga perlu dikendalikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi emisi partikulat pada kendaraan bermotor menggunakan *Electrostatic Precipitator* dengan cara merubah tegangan (5 - 20kV) dan ukuran jari-jari elektroda pengion (2, 4, 7 mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penangkapan partikulat pada *Electrostatic Precipitator* akan meningkat apabila tegangan diperbesar dan jari-jari elektroda pengion diperkecil.*

Kata kunci: *Electrostatic Precipitator*, Partikulat, Kendaraan Bermotor

1. Pendahuluan

Pencemaran udara di Indonesia merupakan masalah yang cukup serius dalam beberapa tahun terakhir terutama yang dirasakan di beberapa kota-kota besar. Hal tersebut ditandai dengan menurunnya kualitas udara ke tingkat yang cukup memprihatinkan dimana telah mengakibatkan gangguan kesehatan terhadap manusia maupun kehidupan lainnya disamping kerusakan benda. Menurunnya kualitas udara tersebut terjadi dengan adanya berbagai bahan pencemar udara yang melampaui baku mutu ambien di berbagai tempat.

Dari beberapa penelitian telah dilakukan oleh JICA tahun 1995 dan ADB tahun 2002 kendaraan bermotor merupakan kontributor terbesar pencemaran udara di kota-kota besar di Indonesia. Emisi gas buang kendaraan seperti HC, CO, NO_x dan Partikulat

merupakan polutan-polutan dominan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan meningkatnya polutan-polutan di udara akan meningkatkan pula biaya kesehatan yang dikeluarkan oleh masyarakat.

Partikulat dapat mengakibatkan gangguan kesehatan seperti peradangan saluran pernafasan, iritasi kulit, hilang nafsu makan, konstipasi, sakit kepala, anemia, athralgia, kelumpuhan, kejang dan gangguan penglihatan (Depkes RI, 1993).

Electrostatic Precipitator adalah sebuah metode penangkapan partikel berupa debu dan aerosol cair dengan menggunakan medan elektrostatis. Electrostatic Precipitator telah banyak diterapkan di sektor industri karena efisiensi penangkapannya yang tinggi

Di sektor industri, medan elektrik pada sebuah Electrostatic Precipitator dihasilkan oleh sebuah sumber tegangan tinggi DC yang dihubungkan dengan dua buah elektroda. Korona dihasilkan oleh elektroda berdiameter kecil atau bentuk lain yang dapat menghasilkan sebuah medan elektrik setempat yang sangat tinggi

Elektroda penangkap (pengumpul) dapat berupa sebuah silinder yang konsentris dengan elektroda korona atau berbentuk lempengan yang paralel dengan kawat-kawat korona

Korona dibangkitkan di daerah medan tinggi yang menghasilkan muatan-muatan penting untuk penangkapan partikel secara elektrostatis. Partikel-partikel bermuatan bergerak ke arah elektroda penangkap dan tertahan oleh gaya elektrik.

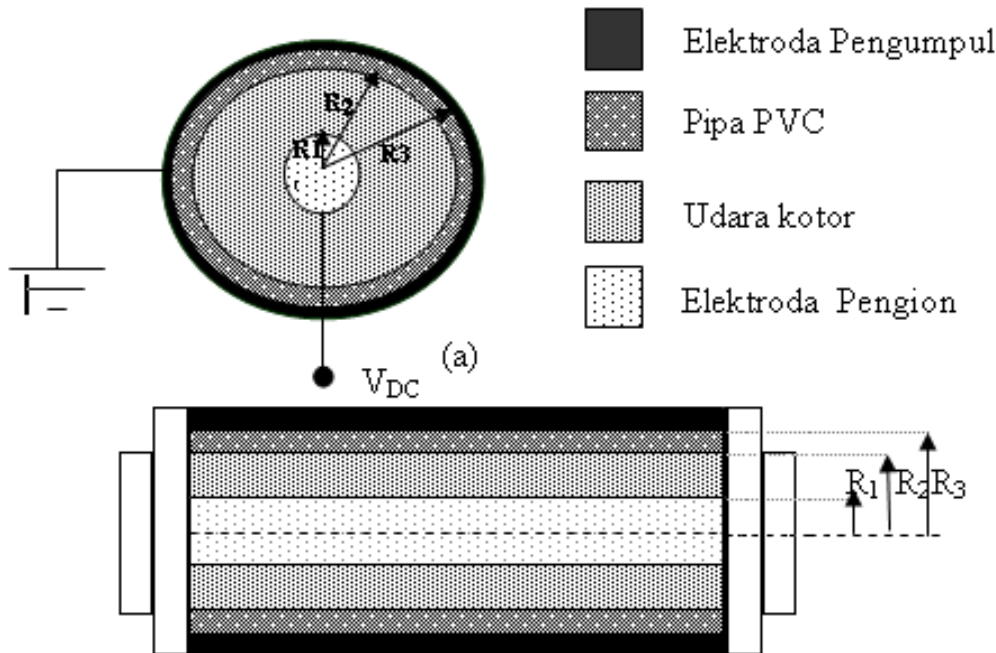
Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan metode Electrostatic Precipitator untuk mengurangi emisi gas partikulat pada gas buang kendaraan bermotor.

2. Eksperimen

Penelitian ini menggunakan Electrostatic Precipitator berbentuk silinder konsentris seperti tampak pada Gambar 1 dengan jari-jari $R_2=3,7\text{cm}$, $R_3=3,8\text{cm}$. Panjang tabung $L=60\text{ cm}$. Elektroda pengion berbentuk spiral dengan ukuran R_1 yang beragam yaitu 2 mm, 4 mm dan 7 mm.

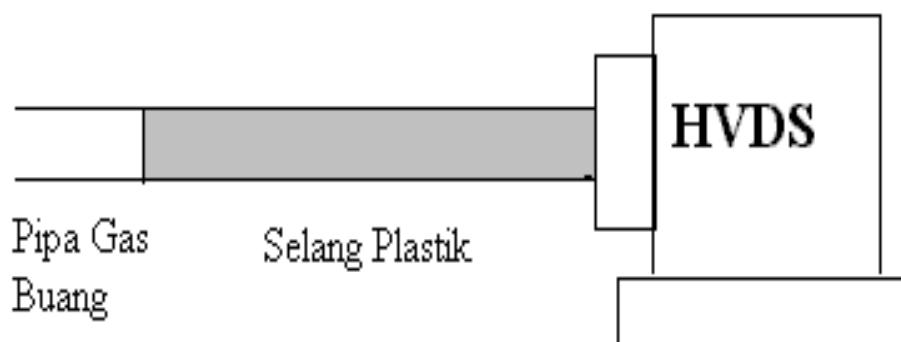
Emisi partikulat berasal dari kendaraan bermotor berbahan bakar solar yang kecepatan aliran gas buangnya dibuat tetap sebesar 2 m/s. Sumber tegangan yang digunakan adalah sumber tegangan tinggi DC (5-25 kV).

Efisiensi penangkapan partikel menunjukkan tingkat pengurangan emisi partikulat pada kendaraan bermotor yang dapat diketahui dengan membandingkan massa partikel yang keluar dari pipa gas buang (m_1) dengan massa partikel yang tertangkap oleh Electrostatic Precipitator(m_2).



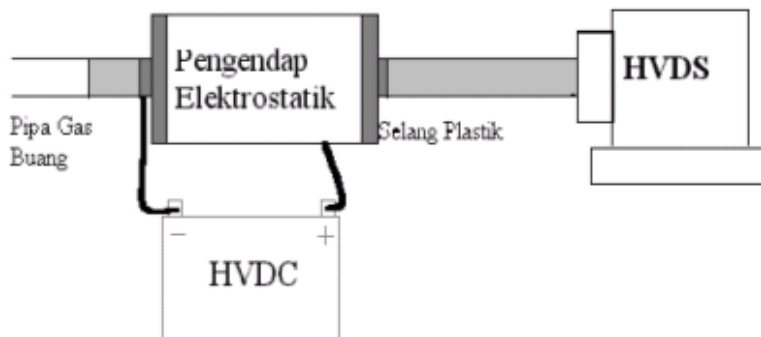
Gambar 1 Susunan penampang pengendap elektrostatis,
(a) tampak atas dan (b) tampak samping

Massa partikel yang keluar dari pipa gas buang didapat dengan cara menghubungkan pipa gas buang dengan HVDS (High Volume Dust Sampler) seperti pada Gambar 2



Gambar 2 Pengukuran massa partikulat yang keluar dari pipa gas buang (m_1) menggunakan HVDS

Massa partikel yang tertangkap oleh Electrostatic Precipitator(m_2) didapatkan dengan merangkai Electrostatic Precipitator seperti pada Gambar 3. Elektroda pengion Electrostatic Precipitator dihubungkan dengan polaritas negatif sedangkan elektroda pengumpul dihubungkan dengan polaritas positif dari pembangkit tegangan tinggi DC. Besarnya tegangan diatur melalui meja kontrol (Control desk) sampai nilai yang dikehendaki, kemudian mesin mobil dihidupkan. Mesin dibiarkan menyala sampai waktu yang ditentukan (10 menit), setelah itu mesin dimatikan menyusul kemudian sumber tegangan tinggi DC juga dimatikan. Proses pengujian diulang dengan range tegangan dan ukuran jari-jari elektroda pengion yang



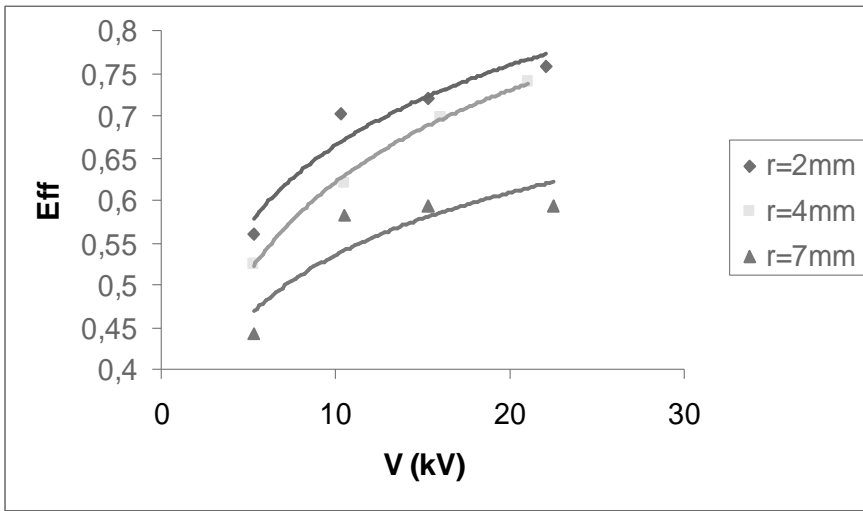
Gambar 3 Pengukuran massa partikulat yang tertangkap oleh Electrostatic Precipitator(m_2) menggunakan HVDS

3. Hasil dan Pembahasan

Efisiensi penangkapan partikulat (Eff) dapat diketahui dengan membandingkan C_{in} dengan C_{out} sesuai persamaan :

$$Eff = \frac{m_2}{m_1} \quad (1)$$

Yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 4



Gambar 4 Efisiensi penangkapan partikel dengan tegangan dan jari-jari elektroda pengion yang berbeda dengan $v=2$ m/s

Tabel 1. Efisiensi penangkapan partikel dengan tegangan dan jari-jari elektroda pengion yang berbeda dengan $v=2$ m/s

m_1 (mg)	r_1 (mm)	V (kV)	m_2 (mg)	Eff
53,3	2	5,3	29,867	0,5604
		10,3	37.4	0,7017
		15,3	38.433	0,7211
		22,1	40.433	0,7586
	4	5,3	28	0,5253
		10,5	30,033	0,6198
		16	36,693	0,6986
		21	39.4	0,7392
	7	5,3	23.567	0,4422
		10,5	31.067	0,5829
		15,3	31,567	0,5922
		22,5	31,567	0,5922

Pada Gambar 4, efisiensi penangkapan partikel akan meningkat bersamaan dengan naiknya tegangan . Pada nilai tegangan yang sama efisiensi penangkapan partikel akan naik jika jari- jari elektroda pengion diperkecil.

Tabel 2 Kuat medan maksimum (E_m) dan efisiensi medan pada Electrostatic Precipitator dengan ukuran jari-jari elektroda pengion (r_1) yang berbeda

r_1 (cm)	V (kV)	E_m (kV/cm)	Efisiensi Medan	E (kV/cm)
0,2	5,3	9,068462	0,162345	1,472222
	10,3	17,62362		2,861111
	15,3	26,17877		4,25
	22,1	37,81378		6,138889
0,4	5,3	5,944188	0,262243	1,558824
	10,5	11,77622		3,088235
	16	17,94472		4,705882
	21	23,55244		6,176471
0,7	5,3	4,535277	0,376973	1,709677
	10,5	8,984982		3,387097
	15,3	13,0924		4,935484
	22,5	19,25353		7,258065

Untuk susunan elektroda silinder konsentris persamaan kuat medan maksimumnya adalah

$$E_m = \frac{V_d}{r_1 \left[\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{e_{udara}} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{e_{PVC}} \right]} \quad (2)$$

Kuat medan elektrik akan besar jika tegangan (V) diperbesar atau jari-jari elektroda pengion (r_1) diperkecil seperti pada Tabel 2.

Dengan meningkatnya intensitas medan elektrik pergerakan elektron dipercepat sehingga energi elektron untuk mengionisasi partikel meningkat. Partikel terionisasi semakin banyak sehingga efisiensi penangkapan partikel juga meningkat. Kerapatan arus (J) yang mengalir pada lapisan debu dapat dihitung dengan

$$J = \frac{E}{P_d} \quad (3)$$

E adalah kuat medan rata-rata (kV/cm) dan Pd adalah resistifitas debu yang nilainya 10^{12} ohm-cm. Kerapatan arus (J) merupakan penjumlahan dari kerapatan arus konduksi (J_r) dan kerapatan arus kapasitif ($J_c = e \frac{\partial E}{\partial t}$). Karena sumber tegangan yang digunakan adalah DC maka $J_c = e \frac{\partial E}{\partial t} = 0$ sehingga $J = J_r$. Arus yang mengalir pada lapisan debu dapat dihitung melalui

$$I = J.A = J.p.\left(\frac{r_2 - r_1}{2}\right)^2 \quad (4)$$

Aliran arus pada lapisan debu sebanding dengan jumlah muatan yang mengalir tiap detik (C/s). Sehingga jumlah elektron yang dilepaskan oleh elektroda pengion tiap detik (n/s) didapatkan melalui

$$n/s = \frac{I}{q} \quad (5)$$

q adalah muatan elektron sebesar $1,602189 \times 10^{-19}$ C. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 . Jumlah elektron yang dilepaskan tiap detik oleh elektroda pengion

r2(cm)	r1(cm)	V (kV)	E (kV/cm)	J (A/cm ²)	I (A)	n/s
3,7	0,2	5,3	1,472222	1,472E-09	1,416E-08	8,836E+10
		10,3	2,861111	2,861E-09	2,751E-08	1,717E+11
		15,3	4,25	4,25E-09	4,087E-08	2,551E+11
		22,1	6,138889	6,139E-09	5,903E-08	3,685E+11
	0,4	5,3	1,558824	1,559E-09	1,333E-08	8,317E+10
		10,5	3,088235	3,088E-09	2,64E-08	1,648E+11
		16	4,705882	4,706E-09	4,023E-08	2,511E+11
		21	6,176471	6,176E-09	5,28E-08	3,296E+11
	0,7	5,3	1,709677	1,71E-09	1,208E-08	7,539E+10
		10,5	3,387097	3,387E-09	2,393E-08	1,494E+11
		15,3	4,935484	4,935E-09	3,487E-08	2,176E+11
		22,5	7,258065	7,258E-09	5,128E-08	3,201E+11

Hasil perhitungan pada Tabel 3 menunjukkan nilai arus yang rendah pada setiap susunan elektroda Electrostatic Precipitatory yang disebabkan oleh resistifitas lapisan debu yang tinggi (10^{12} ohm-cm). Namun nilai arus yang rendah tersebut dapat melepaskan elektron dari elektroda pengion dengan jumlah besar sehingga kesempatan elektron untuk mengionisasi partikel akan semakin besar.

Pada saat dilakukan pembersihan pengendap elektrostatis, partikel yang tertangkap terlihat paling banyak berada pada bagian bawah (dasar) elektroda pengumpul. Hal ini terjadi karena pengaruh gaya gravitasi (F_g) yang searah dengan gaya elektrik (F_e) yang menuju dasar pengendap sehingga terjadi penjumlahan terhadap gaya-gaya tersebut. Besarnya gaya yang mengarah ke dasar pengendap (F) berubah menjadi

$$F = F_e + F_g = qE + mg \quad (6)$$

Untuk gaya elektrik yang ke arah lain juga akan mengalami penjumlahan secara vektor dengan F_g yang hasilnya akan lebih kecil dari F sehingga partikel akan cenderung untuk berkumpul di dasar pengendap elektrostatis.

Ketika tegangan diatur pada nilai tertentu dan mesin mobil dihidupkan nilai tegangan naik menjadi 2-3 kV dari nilai sebelumnya. Hal ini diakibatkan adanya SO_2 (Sulfur Dioksida) pada komposisi gas buang kendaraan berbahan bakar solar yang mudah menarik elektron (Soedomo, 2001).

Gas-gas dengan kemampuan menarik elektron yang tinggi dan mobilitasnya rendah akan meningkatkan kemampuan Electrostatic Precipitator karena akan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan menyebabkan medan elektrik yang makin kuat. Dalam hal ini perlu diperhatikan agar besar tegangan tidak melebihi nilai tegangan tembus pengendap elektrostatis.

Selain SO_2 , uap air juga merupakan hasil pembakaran solar. Walaupun tidak memiliki kemampuan menarik elektron, munculnya uap air dalam komposisi gas buang membantu proses pengendapan partikel. Uap air menyebabkan permukaan elektroda pengendap basah sehingga kecil kemungkinan bagi partikel yang tertangkap untuk lepas kembali.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Electrostatic Precipitator dengan elektroda silinder konsentris ($r_1=2\text{mm}$, $r_2=3,7\text{cm}$) mampu mengurangi emisi partikulat pada kendaraan bermotor hingga 75,86 % dengan tegangan kerja 22,1 kV.
2. Apabila kecepatan gas buang ditingkatkan efisiensi penangkapan partikel akan turun
3. Efisiensi penangkapan partikel dapat ditingkatkan dengan memperbesar nilai tegangan.
4. Dengan memperkecil jari-jari elektroda pengion efisiensi penangkapan partikel akan meningkat.
5. Gaya gravitasi menyebabkan partikel cenderung di dasar elektroda pengendap.
6. Pada komposisi gas buang kendaraan berbahan bakar solar terdapat gas-gas yang mudah menarik elektron. SO_2 akan meningkatkan kemampuan Electrostatic Precipitator karena menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan menyebabkan medan elektrik yang makin kuat.
7. Uap air menyebabkan permukaan elektroda pengendap basah sehingga kecil kemungkinan bagi partikel yang tertangkap untuk lepas kembali.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.1993. Pedoman Pengendalian Pencemaran Udara Ambien yang Berhubungan dengan Kesehatan Masyarakat.Jakarta.Direktorat Jenderal Pemberantasan Penyakit Menular dan Penyehatan Lingkungan Pemukiman (PPM&PLP) Departemen Kesehatan Republik Indonesia
- Anonim.1991. Baku Cara Uji Udara Ambient di Jawa Timur. Surabaya. Biro Bina Kependudukan dan Lingkungan Hidup Sekretariat Wilayah/ Daerah Tingkat I Jawa Timur
- Arismunandar,Artono. 1983. Teknik Tegangan Tinggi Suplemen. Jakarta. Ghalia Indonesia
- Arismunandar,Artono. 1994. Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta. Pradnya Paramita
- Davidson,JH.2000.Recent Trends In Electrostatic Precipitation.Minnesota. University of Minnesota
- www.me.umn.edu/courses/me5115/notes/ESPnotes.pdf
- Dhofir,Moch.1997.Diktat Gejala Medan Tinggi Jilid I..Malang.Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Fardiaz,Srikandi. 1992. Polusi Air & Udara ,Yogyakarta, Kanisius.

Foster,Bob.1997.Fisika SMU 2A.Jakarta.Erlangga

Kind,Dieter. 1993. Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi. Bandung. Penerbit
ITB

Oglesby, Sabert Jr. 1977.Electrostatic Precipitation. New York. Academic Press

Salam,Mazen Abdel. 2000. High Voltage Engineering . Newyork, Marcel Dekker, Inc.

Soedomo,Moestikahadi.2001.Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Polusi Udara.Bandung.
ITB

Srinivas ,DSRK.2003.Status of Electrostatic Precipitator usage in India.New Delhi.Tata
Energy Research

www.teriin.org/envis/times1-1.pdf

Watkins, LH. 1991.Air Pollution From Road Vehicles. London.HMSO