

## APLIKASI TEGANGAN TINGGI DC SEBAGAI PENGENDAP DEBU SECARA ELEKTROSTATIK

**Abdul Syakur, Agung Warsito, Nurlailati**

Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang Semarang telp. Fax : 024 - 7460057

### Abstrak

Salah satu kebutuhan yang sangat mendesak bagi manusia saat ini adalah teresedianya udara bersih karena udara bersih adalah mutlak untuk kesehatan. Saat ini udara bersih merupakan suatu hal yang sangat langka. Partikel-partikel polutan dari asap kendaraan bermotor dan industri, debu dan asap rokok menyebabkan polusi udara.

Dengan membuat rancangan pembangkit tegangan tinggi DC, akan dibangkitkan tegangan tinggi DC yang akan mampu mengendapkan debu secara elektrostatik. Perancangan alat pengendap debu meliputi pembuatan pembangkit tegangan tinggi searah (DC) menggunakan metoda penyearah pengali tegangan atau Walton-Cockroft pada keadaan hubung buka / tidak berbeban, pemilihan aluminium untuk filter dan pemilihan alat-alat pendukung yaitu kover akrilik dan kipas angin DC 12 Volt beserta sumber tegangan 12 VDC.

Dalam makalah ini akan disajikan suatu metode untuk mengendapkan debu sebagai salah satu polutan dengan menggunakan medan listrik uniform. Pembersihan udara ini dilakukan dengan cara pengendapan elektrostatik dimana partikel-partikel bermuatan dipisahkan secara elektrostatik (muatan positif dan negatif saling tarik menarik) oleh medan listrik deretan pelat-pelat logam bermuatan listrik

**Kata Kunci :** Pembangkit tegangan tinggi, Pengendap debu, Elektrostatik

### 1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi selain memberikan efek positif bagi kehidupan manusia juga menyebabkan efek negatif. Salah satu contohnya adalah terjadinya pencemaran lingkungan.

Pada Penelitian ini, akan dibahas salah satu cara mengurangi polusi udara. Mengingat sangat sulitnya memperoleh udara bersih saat ini. Udara saat ini telah terkontaminasi oleh gas-gas polutan dari asap kendaraan bermotor dan industri, debu dan asap rokok. Udara yang terpolusi ini memberikan dampak negatif pada kesehatan seperti gangguan pernapasan atau alergi debu.

Salah satu indikator pencemaran udara untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja adalah debu. Partikel debu berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang layang di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan sehingga membahayakan kesehatan.

Setiap materi, termasuk debu, dapat dianggap sebagai sebuah partikel yang bermuatan listrik yang akan memiliki sifat tarik-menarik dengan partikel lain yang berbeda muatan dan akan tolak menolak dengan partikel lain yang muatannya sejenis.

Dari fenomena diatas, maka diadakan suatu penelitian dalam Penelitian ini untuk membuat suatu alat yang dapat mengurangi polutan dengan mengaplikasikan tegangan tinggi searah (DC), tanpa menghasilkan efek samping lain dari penggunaan tegangan tinggi DC yaitu ozon. Karena keberadaan ozon diudara akan menyebabkan pencemaran udara baru yang perlu untuk ditindaklanjuti kembali..

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Debu sebagai Partikel Bermuatan

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter / SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam Kasus Pencemaran udara, debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran udara..

Debu memiliki sifat pengendapan yaitu debu cenderung mengendap karena gaya grafitasi bumi. Selain itu, debu juga mempunyai sifat listrik statik (elektrostatik) yang akan tertarik ke partikel lain yang berlawanan muatan dan menjauhi partikel yang bermuatan sejenis. Materi yang biasanya kita alami dapat dipandang sebagai sesuatu yang dibentuk dari tiga macam partikel yang memiliki masa dan muatan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Massa dan muatan Partikel

Partikel	Simbol	Muatan	Massa
Proton	$P$	$+ e$	$1.67 \times 10^{-27}$
Neutron	$N$	0	$1.67 \times 10^{-27}$
Elektron	$E$	$- e$	$9.10 \times 10^{-31}$

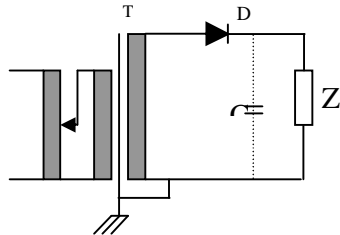
Udara sekeliling kita merupakan partikel gas bermuatan listrik, baik berupa ion negatif dan positif. Ini diakui berabab-abab yang lalu dan dibuktikan oleh percobaan sederhana Benjamin Franklin dengan menggunakan layang-layang dan benang kawat sebagai konduktornya, energi listrik di udara dapat ditangkap dalam wujud petir.

**2.2 Pembangkitan Tegangan Listrik Searah (DC)**

Sumber tegangan listrik searah dibangkitkan dengan menyearahkan tegangan bolak-balik. Ada beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu :

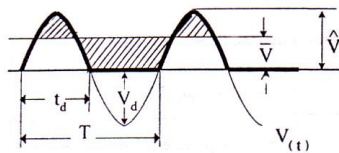
**1. Penyearah setengah gelombang**

Rangkaian penyearah setengah gelombang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

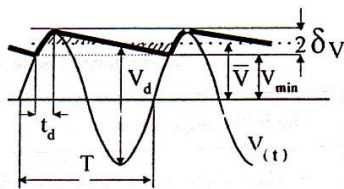


**Gambar 2.1** Penyearah setengah gelombang

Jika dibutuhkan tegangan keluaran yang lebih rata maka di terminal keluaran dipasang kondensator perata. Jika jatuh tegangan pada dioda diabaikan, bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah tanpa dan dengan kondensator perata adalah sebagai berikut.



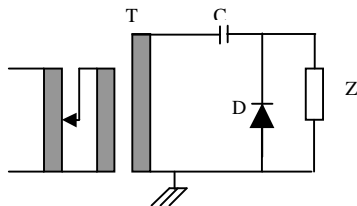
**Gambar 2.2.** Keluaran penyearah setengah gelombang tanpa kondensator perata



**Gambar 2.3.** Keluaran penyearah setengah gelombang dengan kondensator perata

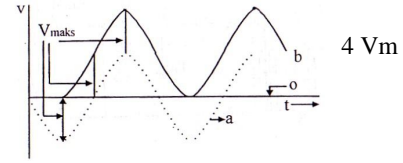
**2. Penyearah Villard**

Penyearah ini disebut pelipat ganda tegangan. Rangkaian ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.4.** Rangkaian penyearah Villard

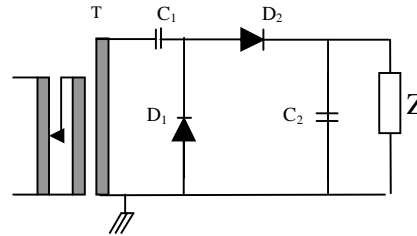
Berikut ini adalah bentuk gelombang keluarannya dengan memisalkan penyearah tanpa beban.



**Gambar 2.5.** Keluaran penyearah Villard

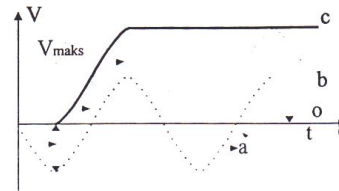
**3. Penyearah Greinacher**

Penyearah ini juga merupakan pelipat ganda tegangan, hanya tegangan keluarannya lebih rata daripada tegangan keluaran penyearah Villard..



**Gambar 2.6.** Rangkaian penyearah Greinacher

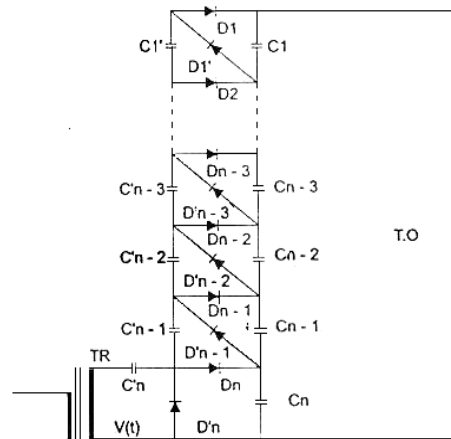
Bentuk tegangan keluaran rangkaian penyearah ini adalah seperti gambar dibawah ini.



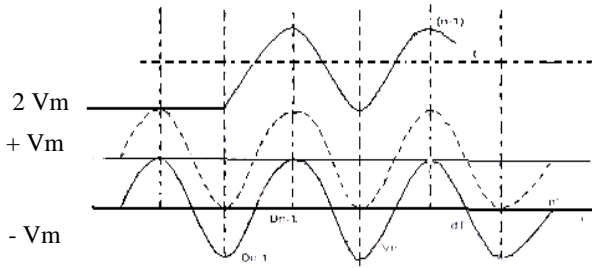
**Gambar 2.7.** Keluaran penyearah Greinacher

**4. Penyearah Kaskade ( Walton Cockcroft )**

Rangkaian penyearah yang disusun secara bertingkat dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut ini :



**Gambar 2.8.** Rangkaian Penyearah Kaskade



Gambar 2.9 Keluaran penerah Kaskade

Untuk jumlah  $n$  tingkat tegangan keluaran dapat mencapai  $2n V_{maks}$  pada beban kosong.

Pada praktiknya, nilai tegangan keluarannya selalu lebih kecil dari  $2n V_{maks}$  karena adanya rugi – rugi tegangan pada transformator dan dioda. Nilai jatuh tegangan ini yang akan semakin bertambah dengan bertambahnya tingkatan.

Pada keadaan hubung buka (tidak berbeban), yang perlu diperhatikan adalah nilai tegangan yang mampu dipikul. Namun, semakin besar nilai kapasitansi, maka akan lebih efisien.

### 2.3 Muatan Dalam Medan Listrik Uniform

Medan listrik dalam daerah dua plat penghantar yang diberi muatan yang sama tetapi tidak sejenis dapat dianggap serba sama. Medan listrik uniform ini dapat dihasilkan dengan menghubungkan terminal sebuah sumber tegangan listrik searah ( DC ) pada dua logam yang sejajar. Jika jarak antara plat – plat tersebut adalah kecil dibandingkan dengan dimensi plat, maka medan diantara plat – plat tersebut akan kira – kira uniform kecuali di dekat tepi plat.

Jika sebuah partikel bermuatan dilewatkan pada medan listrik tersebut maka medan listrik tersebut akan mengerahkan gaya pada partikel yang arah gayanya mengikuti hukum bahwa muatan sejenis tolak menolak dan muatan tak sejenis tarik menarik

### 2.4 Filter Pengendap Debu

Filter yang dimaksudkan disini adalah tumpukan lempengan logam yang diberi tegangan tinggi searah yang diberikan polaritas tegangan tinggi yang saling berkebalikan.

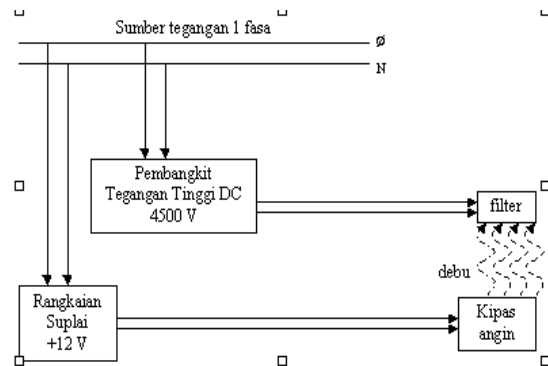
Untuk filter ini diperlukan pengetahuan mengenai sifat – sifat bahan yang digunakan. Untuk menentukan pilihan, perancang harus memperhatikan sifat – sifat seperti kekuatan, konduktivitas (listrik), daya hantar panas, berat jenis dan sebagainya.

## 3. PERANCANGAN ALAT

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan alat pembersih udara secara elektrostatis ini terdiri dari sumber tegangan AC (tegangan jala-jala PLN) , sumber tegangan searah

4500 volt, sumber tegangan dc 12 volt, filter dan pengarah debu, blok diagramnya ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Blok diagram alat

### 3.2 Suplai AC 1 Fasa

Suplai AC 1 Fasa yang digunakan berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220/380 Volt dan frekuensi 50 Hz.

#### Perancangan Filter

Filter yang dimaksudkan disini adalah lempengan logam yang disusun sejajar satu sama lain. Lempengan aluminium ini dihubungkan dengan terminal pembangkit tegangan tinggi DC dengan polaritas saling berkebalikan. Logam yang dipilih adalah aluminium karena tidak cepat panas, daya hantar listrik yang baik dan ringan.

Jarak antara lempengan aluminium yang dipilih adalah 1cm.



(a)



(b)

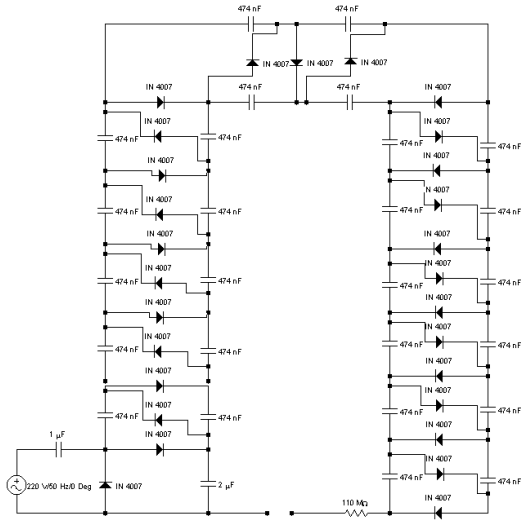
Gambar 3.8 Blok filter yang telah dibuat (a). tampak depan (b). tampak samping

### 3.3 Pembangkit Tegangan Tinggi DC 4000 – 5000 Volt

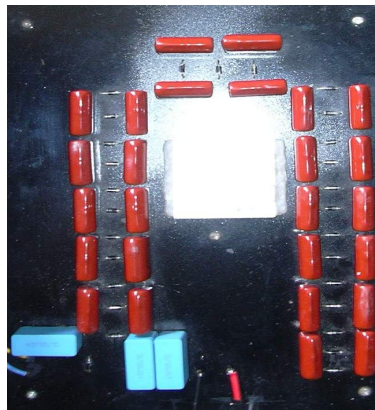
Mengingat jarak antara lempengan yang dirancang berjarak 1 cm, maka tegangan tinggi DC yang aman sehingga tidak terjadi breakdown dan menimbulkan ozon adalah tegangan dibawah 6452,16 Volt. Sehingga tegangan yang akan dibangkitkan dipilih bertegangan 4000 – 5000 Volt.

Pada perancangan ini digunakan rangkaian Walton Cockroft diambil 14 tingkat dengan Voutput yang secara teoritis 8711,56 Volt. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi adanya rugi – rugi tegangan pada dioda yang besar dan nilai toleransi kapasitansi kapasitor, sehingga tegangan keluaran rangkaian dapat berkisar 4000 – 5000 Volt.

Rangkaian lengkap dari pembangkit tegangan tinggi searah ( DC ) yang dirancang dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



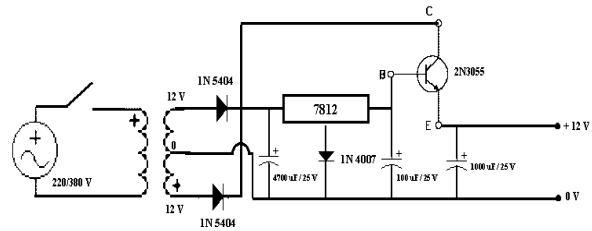
Gambar 3.2 Rangkaian pembangkit tegangan tinggi searah ( DC )



Gambar 3.3 Blok pembangkit tegangan DC yang telah dibuat

### 3.4 Pembangkit Tegangan Searah 12 Volt

Rangkaian sumber tegangan ini berfungsi sebagai suplai 3 motor DC pada kipas angin yang masing – masing 2 kipas angin 12 Volt 0,4 A dan 1 kipas angin 12 Volt 0,12 Volt



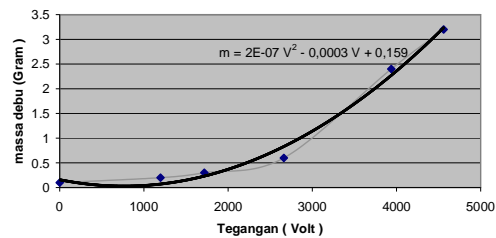
Gambar 3.4 Sumber tegangan 12 VDC

## 4. ANALISA PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat dilakukan pembahasan- pembahasan berikut ini.

### 4.1 Hubungan massa debu yang mengendap dengan tegangan.

Pengujian dilakukan dengan menerapkan enam variasi tegangan pad *filter* untuk memperoleh hubungan antara tegangan yang diterapkan dengan banyaknya debu yang mampu diendapkan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan .diperoleh grafik seperti gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Hubungan massa debu yang diendapkan dengan tegangan

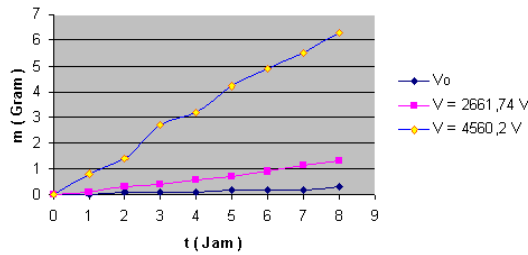
Pada gambar di atas, didapatkan bahwa banyak debu yang mengendap pada *filter* berbanding lurus dengan kuadrat tegangan yang diterapkan. Terlihat pula bahwa hasil yang diperoleh dari hasil pengujian berbeda teorinya. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, yaitu :

- Debu mengendap pada *filter* selain karena pengaruh medan elektrostatik yang dihasilkan tegangan tinggi DC, namun juga dipengaruhi adanya gaya grafitasi bumi.
- Banyaknya debu sangat dipengaruhi oleh keadaan alam, yaitu sirkulasi udara.

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa tegangan 4560,2 Volt merupakan tegangan yang paling efektif untuk mengendapkan debu. Jadi, alat pengendap debu dengan menggunakan sumber tegangan tinggi searah (DC) yang dibuat telah sesuai dengan teori dan harapan.

**4.2 Hubungan massa debu yang mengendap dengan tegangan dan waktu**

Pengujian dengan menerapkan tegangan tinggi DC pada filter dengan tiga variasi tegangan dan pengambilan data setiap 1 jam sekali selama 8 jam dilakukan untuk mengetahui hubungan massa debu dengan tegangan dan waktu

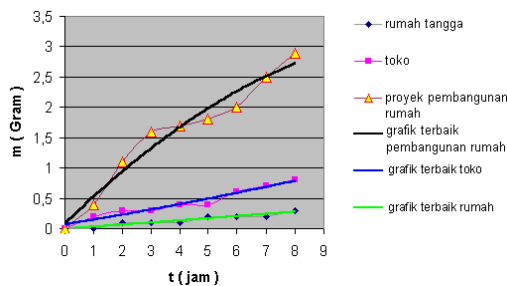


**Gambar 4.2** Hubungan massa debu yang diendapkan dengan tegangan dan waktu

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa massa debu yang mengendap pada tegangan 4560,2 Volt selalu lebih besar daripada tegangan 1717,34 Volt dan 0 Volt.

**4.3 Karakteristik Massa Debu Yang Mengendap Sebelum Menggunakan Tegangan Tinggi Searah (DC) dengan variasi lokasi.**

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data tentang keadaan awal lingkungan yaitu ketika tegangan tinggi DC belum diterapkan.



**Gambar 4.3** Grafik hubungan massa debu dengan waktu sebelum menggunakan tegangan DC

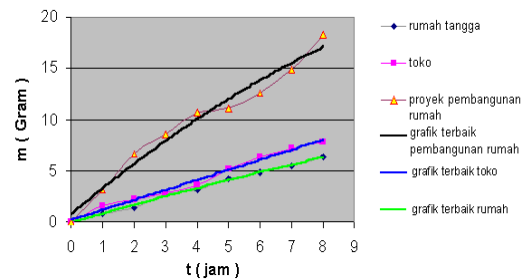
Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa jumlah debu yang diendapkan di rumah tangga lebih sedikit daripada di toko dan di proyek pembangunan rumah ; jumlah debu yang mengendap di proyek pembangunan rumah lebih banyak daripada di toko dan rumah; dan jumlah debu yang mengendap di toko berada diantara rumah dan proyek pembangunan rumah. Hal ini menunjukkan bahwa rumah dapat digunakan mewakili lokasi dengan kandungan debu

rendah, toko dapat digunakan mewakili lokasi dengan kandungan debu sedang, dan proyek pembangunan dapat digunakan mewakili lokasi dengan kandungan debu tinggi.

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh bahwa debu diendapkan secara alami oleh gaya gravitasi, sehingga debu hanya terdapat pada lempengan aluminium yang menghadap ke atas.

**4.4 Karakteristik Massa Debu Yang Mengendap Setelah Menggunakan Tegangan Tinggi Searah (DC) Dengan Variasi Lokasi.**

Gambar 4.4 di bawah ini memperlihatkan banyaknya debu yang mengendap pada filter setelah tegangan tinggi DC diterapkan sebagai fungsi waktu untuk tiga lokasi berbeda yaitu rumah tangga, toko dan proyek pembangunan rumah.



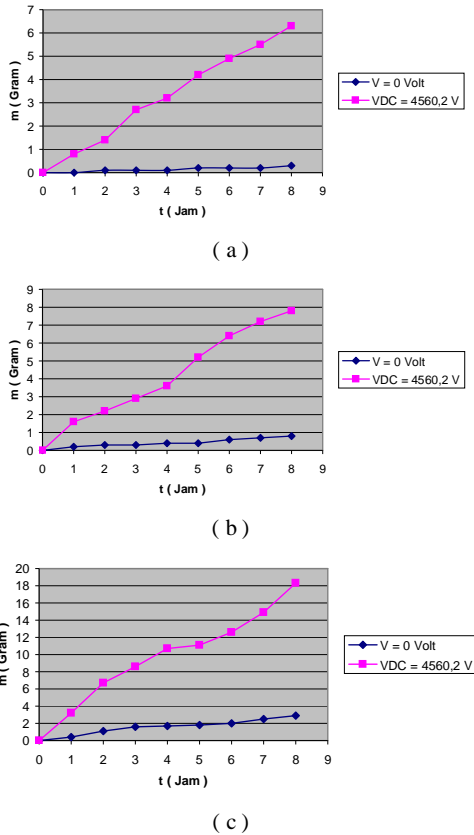
**Gambar 4.4** Grafik hubungan massa debu dengan waktu setelah menggunakan tegangan tinggi DC

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa untuk lokasi rumah tangga, toko, dan proyek pembangunan rumah nilai massa debu yang mengendap pada filter akan bertambah dengan kenaikan waktu.

Dari pengujian yang telah dilakukan, ditunjukkan bahwa debu yang mengalir melalui filter mengendap secara elektrostatis. Debu yang mengalir melalui filter merupakan partikel bermuatan yang jika dilewatkan melalui medan elektrostatis akan mengalami gaya listrik. Apabila debu yang mengalir bermuatan positif, maka debu akan mendapatkan gaya listrik yang menariknya ke lempengan aluminium yang diberi polaritas negatif dan mendorongnya menjauhi lempengan berpolaritas positif, demikian sebaliknya jika debu yang mengalir bermuatan negatif, maka debu akan mengendap ke lempengan aluminium yang berpolaritas positif. Debu yang mengalir melalui filter tidak hanya jatuh ke lempengan logam yang berada di bawahnya, namun ada juga yang tertarik ke lempengan yang berada diatas. Jadi, pada masing – masing plat filter, endapan debu terdapat di kedua sisi permukaan, yaitu yang menghadap ke atas dan ke bawah.

**4.5 Perbandingan Massa Debu Yang Mengendap Sebelum dan Setelah Menggunakan Tegangan Tinggi Searah (DC).**

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh grafik hubungan sebagaimana Gambar 4.5 di bawah ini.



**Gambar 4.5** Hubungan massa debu dengan waktu  
 ( a ) Rumah Tangga, ( b ) Toko  
 ( c ) Proyek Pembangunan Rumah

Dari Gambar 4.5, dapat terlihat bahwa penggunaan tegangan tinggi DC dapat meningkatkan jumlah massa debu yang mengendap pada filter untuk semua lokasi.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa alat pengendap debu secara elektrostatis dengan mengaplikasikan tegangan tinggi DC telah sesuai harapan dan teori.

**4.6 Perhitungan Efektifitas Alat Pengendap Debu**

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan perhitungan sebagai berikut untuk memperoleh nilai efektifitas alat pengendap debu sebagai berikut :

**a. Untuk lokasi rumah**

**Tabel 4.1** Perhitungan efektifitas alat pengendap debu rumah

t (Jam)	Massa debu ( Gram )		Efektifitas ( kali )
	Sebelum	Setelah	
0	0	0	-
1	0	0,8	:
2	0,1	1,4	14
3	0,1	2,7	27
4	0,1	3,2	32
5	0,2	4,2	21
6	0,2	4,9	24,5
7	0,2	5,5	27,5
8	0,3	6,3	21
Total efektifitas ( untuk 7 data )			167
Rata – rata efektifitas alat			23,86

**b. Untuk lokasi toko**

**Tabel 4.2** Perhitungan efektifitas alat pengendap debu toko

t (Jam)	Massa debu ( Gram )		Efektifitas ( kali )
	Sebelum	Setelah	
0	0	0	-
1	0,2	1,6	8
2	0,3	2,2	7,333333
3	0,3	2,9	9,666667
4	0,4	3,6	9
5	0,4	5,2	13
6	0,6	6,4	10,66667
7	0,7	7,2	10,28571
8	0,8	7,8	9,75
Total efektifitas ( untuk 8 data )			77,70
Rata – rata efektifitas alat			9,71

**c. Lokasi proyek pembangunan rumah**

**Tabel 4.3** Perhitungan efektifitas alat pengendap debu di proyek pembangunan rumah

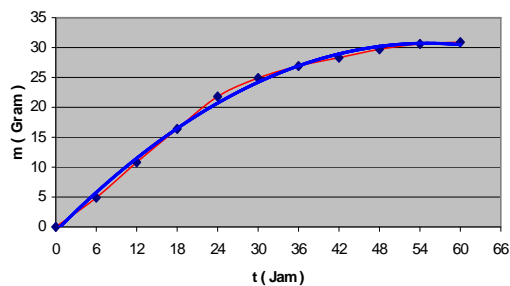
t (Jam)	Massa debu ( Gram )		Efektifitas ( kali )
	Sebelum	Setelah	
0	0	0	-
1	0,4	3,2	8
2	1,1	6,7	6,090909
3	1,6	8,6	5,375
4	1,7	10,7	6,294118
5	1,8	11,1	6,166667
6	2	12,6	6,3
7	2,5	14,9	5,96
8	2,9	18,3	6,310345
Total efektifitas ( untuk 8 data )			50,50
Rata – rata efektifitas alat			6,31

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi tingkat kandungan debu, maka tingkat efektifitas alat dalam mengendapkan debu akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin banyak debu yang

mengalir, maka permukaan lempengan aluminium pada *filter* akan semakin cepat tertutup debu. Tertutupnya permukaan aluminium akan mengurangi medan listrik yang dihasilkan, karena terhalang lapisan debu. Kecilnya medan listrik akan mengakibatkan gaya yang dibutuhkan untuk menarik debu juga akan berkurang, sehingga jumlah debu yang mampu diendapkan akan semakin berkurang.

#### 4.7 Karakteristik Alat Pengendap Debu

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan massa debu rumah yang mengendap pada *filter* sebagai fungsi waktu sebagaimana Gambar 4.6 dibawah ini.



**Gambar 4.6** Hubungan massa debu rumah dengan waktu

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat grafik karakteristik alat pengendap debu secara elektrostatis yang menunjukkan bahwa massa debu akan meningkat dengan naiknya waktu, sampai mencapai titik saturasi (kejenuhan). Setelah melewati titik jenuh, jumlah massa debu yang mengendap akan cenderung tetap atau tidak mengalami perubahan. Masa saturasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: tertutupnya permukaan lempengan aluminium pada *filter* dengan endapan debu. Dari Gambar 4.6 diatas, ditunjukkan pula bahwa alat akan mengalami saturasi setelah 54 jam dengan massa debu 30,6 Gram.

Data ini diperlukan sebagai acuan dalam pemeliharaan. Untuk mempertahankan keefektifan alat pengendap debu ini, maka perlu diadakan pembersihan lempengan aluminium secara berkala maksimal 54 jam sekali. Pembersihan lempengan aluminium dapat dilakukan dengan menggunakan kain bersih atau dengan menyemprotkan air yang kemudian dijemur sampai kering benar.

#### 5. PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat pengendap debu elektrostatis telah berhasil dibuat dan sesuai harapan.

Berdasarkan pengukuran dan pengujian dapat pula diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan yang paling efektif untuk mengendapkan debu adalah tegangan 4560,2

Volt, yaitu tegangan dari sumber tegangan tinggi yang telah dibuat dalam Penelitian ini.

2. Banyak debu yang mengendap pada *filter* selain dipengaruhi medan listrik elektrostatis yang dihasilkan tegangan tinggi DC, dipengaruhi juga oleh gaya gravitasi bumi dan keadaan alam yaitu sirkulasi udara.
3. Perubahan massa debu yang mengendap di rumah tangga berubah secara linier terhadap perubahan waktu, dan perubahan massa debu yang mengendap di toko dan proyek pembangunan berubah secara tidak tetap terhadap perubahan waktu karena sangat terpengaruh pada jam – jam kerja, hasil pengujian ini berlaku untuk jangka waktu delapan jam.
4. Nilai efektifitas rata – rata alat pengendap debu berbeda untuk tiap lokasi, yaitu:
  - Rumah : 23,86 kali
  - Toko : 9,71 kali
  - proyek pembangunan rumah : 6,31 kali.
5. Nilai efektifitas alat pengendap debu akan semakin berkurang dengan bertambahnya kandungan debu yang akan diendapkan.
6. Alat pengendap debu secara elektrostatis memiliki karakteristik yaitu massa debu akan meningkat dengan naiknya waktu, sampai mencapai titik saturasi (kejenuhan). Setelah melewati titik jenuh, jumlah massa debu yang mengendap akan cenderung tetap atau tidak mengalami perubahan. Massa saturasi pengendapan debu rumah terjadi setelah 54 jam dengan massa debu 30,6 Gram.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abduh, S., *Teknik Tegangan Tinggi Dasar Pembangkitan dan Pengukuran*, Salemba Teknika, Jakarta, 2003
- [2] Ajulian, A., Darjat, *Buku Ajar Rangkaian Listrik I*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, 2005
- [3] Engineer Savior- Blaze Lab, *Experiment 15 – Cockcroft Walton Multiple*, <http://www.blazelabs.com/e-exp15.asp.htm/>, Desember 2006
- [4] Halliday, D., *Fisika*, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [5] Hutahuruk, J.S., *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga Pengetahuan Peralatan*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [6] Iwan, T. B., *Ion Negatif Penyebab Utama Sindrom Gedung Rumah Sakit dan Bukan Pencemaran Mikroorganisme*, <http://www.medikaholistik.com/>, Juli 2006
- [7] K.Nanang. T.Kurniawan, M.Nugroho, *Perancangan Electrostatistic Precipitator Pada Cerobong Gas Buang Boiler sebagai Penangkap*

- Limbah Debu Di PG. Gempolkerep.* PKMI ITS, Surabaya, 2006.
- [8] Lister, U.C, *Mesin dan Rangkaian Listrik.* PT. Erlangga, Jakarta, 1988.
- [9] Naidu, M.S., Kamaraju, *High Voltage Engineering.* Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1991.
- [10] P. Andinto, *Sistem Sirkulasi Udara di Ruang Produksi,* <http://library.usu.ac.id/>, Agustus 2006.
- [11] Pohan, N., *Pengaruh Bahan – Bahan Buangan Kimia Industri terhadap Lingkungan,* USU Digital Library, Medan, 2004.
- [12] Pudjiastuti, W., *Debu Sebagai Bahan Pencemar Yang Membahayakan Kesehatan Kerja.* <http://www.Depkes.go.id> [www/download/debu.PDF](http://www/download/debu.PDF), Desember 2006