

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENGENDAP DEBU DENGAN TEGANGAN TINGGI SECARA ELEKTROSTATIK

DESIGN AND IMPLEMENTATION SETTLING DUST IN THE HIGH VOLTAGE ELECTROSTATIC

Gianto¹, Ir. Mas Sarwoko, M.Sc.², Ekki Kurniawan, S.T., M.Sc.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Elektro, Universitas Telkom

¹giantosibarani@gmail.com, ²mas_sarwoko@yahoo.com, ³ekkiKurniawan2012@gmail.com

Abstrak

Salah satu kebutuhan yang sangat mendesak bagi manusia saat ini adalah tersedianya udara bersih yang berguna untuk menunjang kesehatan. Saat ini udara bersih merupakan suatu hal yang langka pada kota – kota besar seperti Jakarta. Partikel - partikel udar yang berasal dari asap kendaraan bermotor, cerobong asap industri , debu, dan asap rokok menghasilkan udara menjadi kurang bersih.

Dengan membuat rancangan pembangkit tegangan tinggi DC, akan dibangkitkan tegangan tinggi DC yang akan mampu mengendapkan debu secara elektrostatis. 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 seperti penutup akrilik dan kipas angin DC 12 Volt beserta sumber tegangan 12 VDC.

Dalam tugas akhir ini dihasilkan sebuah alat yang dapat mengendapkan debu dengan menggunakan elektrostatis sebagai metode penyaringnya. Elektrostatis ini dihasilkan dari tegangan sekitar 4000 volt pada plat aluminium sebagai media listriknya. Plat aluminium disejajarkan dan dialirkan tegangan dc yang berbeda polaritasnya masing – masing sehingga akan terjadi gaya tarik menarik di antaranya. Pelipat tegangan terdiri dari empat belas kapasitor dan xxx diode serta transformator *step-up* yang mengubah tegangan 220 v menjadi 600v dengan sumber tegangan dari jala-jala pln sebesar 220 v dan 50 hz.

Kata Kunci : *Pelipat tegangan dc, Pengendap debu, Elektrostatis*

Abstract

One of the urgent need for human today is the availability of clean air that is useful to support health. Currently the clean air is a rare thing in town - big cities like Jakarta. Particles in airborne came from motor vehicle fumes, industrial chimneys, dust, and cigarette makes air become less clean.

By making the design of high voltage DC, will be designed a high voltage DC to be able to precipitate dust electrostatically. Design tools include making the dust settling high Voltage Direct Current using the method of Walton- cockcroft voltage multiplier circuit on open state / not loaded, the selection of aluminum for the filter and selection tools such as acrylic, motor dc fan 12v and its source voltage of 12 VDC.

This final project produced a tool that can precipitate the dust by using a method electrostatic filters. The resulting electrostatic voltage of about 4000 volts on an aluminium plate as a medium of electricity. Aluminum plate aligned and fed different dc voltage polarity of each one so that there will be attractive forces between them. Folding consists of fourteen voltage capacitors and 35 diodes and step-up transformer that converts into a 600v voltage of 220 V with a source voltage of the grid pln at 220 V and 50 hz.

Keywords: *voltage multiplier, precipitator dust, Electrostatic*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara dapat diartikan sebagai campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau memenuhi ruang di atas permukaan bumi. Manusia, hewan, dan tumbuhan membutuhkan udara untuk kelangsungan hidup mereka. Tanpa adanya udara, mungkin kehidupan di bumi tidak akan seperti ini. Oleh karena itu, udara yang bersih menjadi penting karena dapat menunjang kesehatan manusia. Namun saat ini kemajuan teknologi tidak diimbangi dengan penanggulangan dampak negatif yang dihasilkannya, misalnya saja kendaraan bermotor yang menghasilkan emisi gas berlebihan dapat menyebabkan udara menjadi tidak bersih. Sangat sulit seperti halnya menghilangkan pencemaran seperti ini, karena di satu sisi kita juga memerlukan efisiensi waktu yang dihasilkan oleh teknologi ini. Selain dengan polusi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, rokok juga dapat mencemari udara pada ruangan. Memang kita dapat memisahkan ruangan yang merokok dan tidak merokok, namun ada beberapa ruangan yang memang sulit untuk dipisahkan misalnya kamar mandi umum.

Untuk itu kita memerlukan ruangan dengan udara yang bersih, dimana tidak ada gas – gas polutan seperti asap dari kendaraan bermotor, rokok, dan lain – lain. Udara yang terpolusi ini akan berdampak buruk pada kesehatan kita. Salah satu indikator pencemaran udara untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan adalah debu. Partikel debu berada di udara dalam waktu relatif lama dalam keadaan melayang kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan sehingga dapat 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 tolak – menolak dengan partikel yang memiliki muatan sama. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dibangun sebuah alat menggunakan konsep electrostatic presipator dengan metode mengendapkan debu sebagai salah satu polutan menggunakan medan listrik. Pembersihan udara ini dilakukan dengan cara memisahkan partikel – partikel bermuatan seperti debu menggunakan medan listrik dari deretan lempengan logam yang nantinya akan menghasilkan udara bebas debu.

1.2 Tujuan

Pada tugas akhir ini bertujuan untuk membuat suatu rangkaian sehingga dapat mengurangi kadar debu pada suatu ruangan dengan memanfaatkan elektrostatik sebagai filter di dalam

udara sehingga debu terperangkap di dalam filter yang menghasilkan udara yang lebih bersih.

1.3 Batasan Masalah

Pembangkitan tegangan tinggi DC ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian pengali tegangan Cockcroft-Walton.

Filter udara adalah lempengan logam yang disejajarkan dan dialiri aliran listrik tegangan DC agar dapat menarik partikel – partikel debu yang melayang di udara.

Membahas penggunaan elektrostatik untuk mengendapkan debu dan tidak melakukan perhitungan atau pengujian muatan yang ada pada lempengan aluminium.

Menganggap debu masuk dengan mudah ke dalam filter yang dirancang.

2. DASAR TEORI DAN PERANCANGAN

2.1 Debu sebagai Partikel

Debu sering disebut sebagai partikel dengan ukuran yang kecil melayang di udara. Partikel-partikel kecil ini dibentuk oleh suatu proses disintegrasi atau fraktur seperti penggilingan, penghancuran atau pemukulan terhadap benda padat. Mine Safety and Health Administration (MSHA) mendefinisikan debu sebagai padatan halus yang tersuspensi di udara yang tidak mengalami perubahan secara kimia ataupun fisika dari bahan padatan aslinya.

Ukuran partikel debu yang dihasilkan dari suatu proses sangatlah bervariasi, mulai dari yang tidak bisa terlihat dengan mata telanjang sampai pada ukuran yang terlihat dengan mata telanjang. Ukuran partikel yang besar akan tertinggal pada permukaan benda atau turun kebawah (menetap sementara di udara) dan ukuran partikel yang kecil akan terbang atau tersuspensi di udara. Debu umumnya dalam ukuran micron, sebagai pembandingan ukuran rambut adalah 50-70 micron.

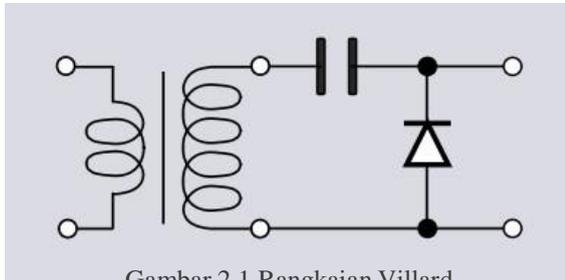
Debu memiliki sifat cenderung mengendap karena gaya gravitasi bumi. Selain itu, debu juga dapat dianggap sebagai partikel. Jika debu diberikan muatan, mereka akan memiliki sifat listrik statik. Debu akan menolak partikel lain yang sejenis dan menarik partikel yang berlawanan jenis. Hal ini dapat terlihat jika kita menggosok-gosokkan penggaris pada rambut kita lalu penggaris tersebut dapat menarik debu.

2.2 Pelipat Tegangan DC

Rangkaian pelipat tegangan DC adalah rangkaian yang dapat menghasilkan tegangan DC beberapa kali lebih besar dari tegangan puncak

sinyal input AC. Terdiri dari komponen dioda sebagai penyearah tegangannya dan kapasitor sebagai pelipat tegangannya.

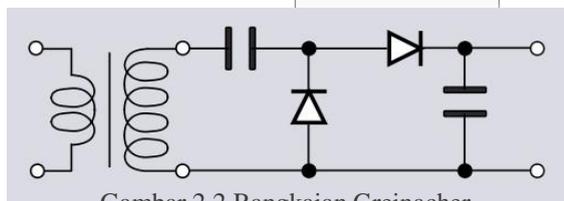
2.2.1 Rangkaian Villard



Gambar 2.1 Rangkaian Villard

Rangkaian villard dinamakan setelah nama Paul Ulrich Villard. Rangkaian ini terdiri dari satu buah kapasitor dan dioda. Ketika tegangan berada pada siklus negatif, kapasitor terisi penuh hingga mencapai puncak sumber tegangan sehingga tegangan keluaran menjadi $2V_{in}$ ($V_{kapasitor} + V_{in}$). Lalu ketika tegangan berada di siklus positif, kapasitor mulai mengosongkan tegangannya sehingga tegangan keluarannya menjadi $0(V_{kapasitor} - V_{in})$. Walaupun tegangan yang dihasilkan merupakan nilai DC, tetapi bentuk sinyal dari tegangan ini masih berbentuk AC atau bergelombang. Jadi rangkaian ini masih memiliki ripple yang buruk.

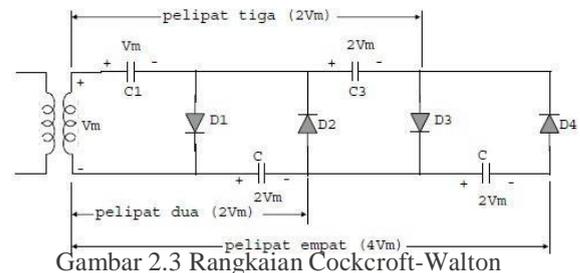
2.2.2 Rangkaian Greinacher



Gambar 2.2 Rangkaian Greinacher

Rangkaian ini ditemukan oleh Heinrich Greinacher, adalah perkembangan dari rangkaian Villard. Rangkaian ini menggunakan kapasitor dan dioda tambahan untuk mengurangi ripple yang dihasilkan. Jadi ketika tegangan berada di siklus positif, sumber tegangan mulai mengosongkan kapasitor pertama dan mulai mengisi kapasitor kedua, sehingga pada saat siklus positif tegangan keluarannya adalah $2V_{in}(V_{kapasitor2} + V_{in})$.

2.2.3 Rangkaian Cockcroft-Walton



Gambar 2.3 Rangkaian Cockcroft-Walton

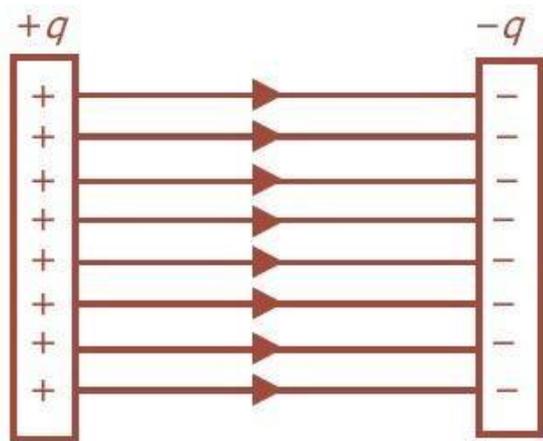
Rangkaian ini dinamakan setelah John Douglas Cockcroft dan Ernest Thomas Sinton Walton. Rangkaian Walton-Cockcroft adalah perkembangan dari rangkaian pelipat tegangan sebelumnya yang diserikan. Rangkaian ini dapat meningkatkan nilai tegangan AC menjadi tegangan DC yang bernilai lebih tinggi.

Pada saat siklus pertama dari tegangan V_{in} adalah siklus negatif, membuat dioda pertama menjadi rangkaian tertutup dan dioda kedua menjadi rangkaian terbuka. Kapasitor C1 diisi hingga tegangannya sama dengan V_m .

Kemudian pada saat siklus positif dioda pertama menjadi rangkaian terbuka dan dioda kedua menjadi rangkaian tertutup. Karena kapasitor C1 sebelumnya sudah terisi penuh dan ada beda potensial terhadap kapasitor C2 yang masih kosong, terjadi proses pengisian kapasitor dengan beda potensial yang lebih besar dari sebelumnya yaitu $V_m + C1$ karena mereka dianggap satu sumber. Kapasitor C2 diisi penuh hingga mencapai $2 V_{in}$ ($V_{in} + C1$).

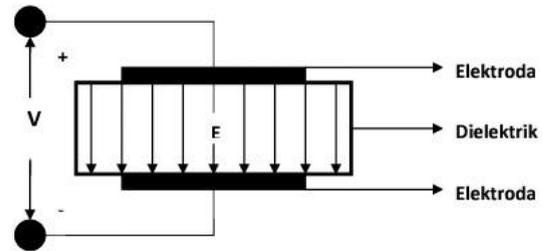
2.3 Muatan dalam Medan Listrik Homogen

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.



Gambar 2.4 Medan Listrik Plat Sejajar

Tegangan yang menyebabkan dielektrik tersebut tembus listrik disebut tegangan tembus atau breakdown voltage. Tegangan tembus adalah besar tegangan yang menimbulkan terpaan elektrik pada dielektrik sama dengan atau lebih besar daripada kekuatan dielektriknya.



Gambar 2.5 Medan Elektrik Di dalam Dielektrik

2.4 Mekanisme Terjadinya Tegangan Tembus Listrik

Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan elektrik. Pada gambar 2.15 ditunjukkan suatu bahan dielektrik yang ditempatkan di antara dua elektroda piring sejajar. Bila elektroda diberi tegangan searah V , maka timbul medan elektrik (E) di dalam dielektrik. Medan elektrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan elektrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Jika terpaan elektrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung cukup lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik disebut tembus listrik atau "breakdown". Terpaan elektrik tertinggi yang dapat dipikul suatu dielektrik tanpa menimbulkan dielektrik tembus listrik disebut kekuatan dielektrik.

Jika suatu dielektrik mempunyai kekuatan dielektrik $k E$, maka terpaan elektrik yang dapat dipikulnya adalah $\leq k E$. Jika terpaan elektrik yang dipikul

dielektrik melebihi $k E$, maka di dalam dielektrik akan terjadi proses ionisasi berantai yang akhirnya dapat membuat dielektrik mengalami tembus listrik. Proses ini membutuhkan waktu dan lamanya tidak tentu tetapi bersifat statistik. Waktu yang dibutuhkan sejak mulai terjadi ionisasi sampai terjadi tembus listrik disebut waktu tunda tembus (time lag). Jadi tidak selamanya terpaan elektrik dapat menimbulkan tembus listrik, tetapi ada dua syarat yang harus dipenuhi, yaitu: (1) terpaan elektrik yang dipikul dielektrik harus lebih besar atau sama dengan kekuatan dielektriknya dan (2) lama terpaan elektrik berlangsung lebih besar atau sama dengan waktu tunda tembus.

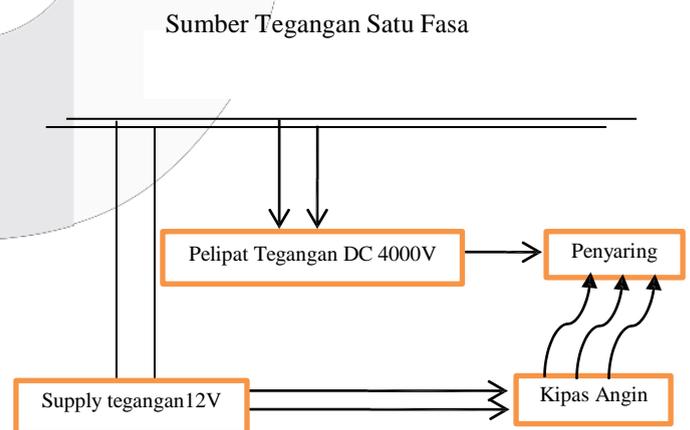
3. PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Pada perancangan tugas akhir ini akan dibuat suatu alat pembangkit tegangan tinggi menggunakan rangkaian pengali tegangan dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tegangan maksimal yang dihasilkan adalah 4000 volt.
2. Menggunakan aluminium sebagai plat logam penyangga udara.
3. Jarak antara plat logam adalah sekitar 1cm sebagai jarak aman agar tidak terjadi ozon tegangan.

Berikut ini adalah diagram blok dari rangkaian yang akan dibuat



Gambar 3.1 Diagram Blok Rangkaian

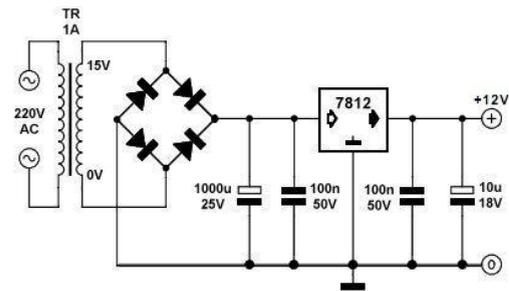
3.2 Perancangan Umum

Secara umum tugas akhir ini terdiri dari rancangan pembangkit tegangan DC, Suplai tegangan DC 12v, dan desain penyaring udara.

3.2.1 Perancangan tegangan tinggi DC 4000 V

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.

Perancangan ini menggunakan dioda dengan kapasitor sebagai pengali tegangannya dan dirangkai hingga 12x. Dioda yang digunakan adalah tipe 1N4007 karena memiliki tahanan terhadap tegangan tinggi hingga 1000 volt sedangkan kapasitor yang digunakan adalah kapasitor dengan nilai kapasitansi 100nF dengan tegangan 800 V, 1000 V, 1600 V. Nilai kapasitor ini di dapat dari hasil *trial and error* selama pengerjaan skripsi. Namun ketika pengerjaannya sebuah transformator daya dengan nilai primer 220V 2A menjadi 600V 0.6A dinilai dibutuhkan agar tegangan keluaran dapat mencapai 4000 hingga 5000 V.



Gambar 3.3 rangkaian tegangan suplai 12v

3.3.3 Perancangan Desain Penyaring

Perancangan ini menggunakan logam aluminium dengan ketebalan 2mm karena dinilai tahan terhadap panas, memiliki daya hantar listrik yang baik, dan ringan. Memiliki jarak antar plat sekitar 1cm agar terhindar dari ozon tegangan. Plat aluminium diberikan kover akrilik dengan ketebalan 2mm agar medan listrik dapat tertahan di dalam dan alat menjadi aman untuk disentuh. Diberikan kipas motor DC 12v berukuran 4x4cm sebagai aliran masuk udara ke dalam penyaring udara ini.



Gambar 3.2 Rangkaian pembangkit tinggi tegangan DC

3.2.2 Perancangan tegangan suplai 12V

Digunakan suplai tegangan 12v siap pakai, namun alat ini dapat dirangkai sendiri dengan menggunakan dioda, kapasitor, dan ic 7812.

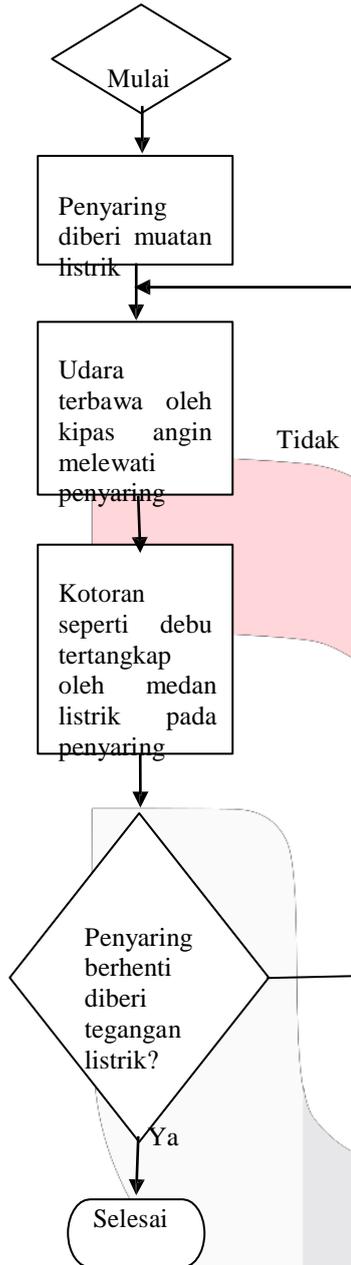


Gambar 3.5 Penyaring udara tambak depan

3.3.4 Suplai AC 1 Fasa

Penyedia tegangan bolak - balik satu fasa yang digunakan berasal dari jala-jala Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan tegangan sebesar 220 Volt dan frekuensi 50 Hz.

3.4 Diagram Alir



Gambar 3.7 Diagram Alir

4.3 Pengujian terhadap kinerja alat

Karena sulitnya mengumpulkan debu, penulis mengganti bagian ini dengan tepung terigu. Tepung terigu digunakan sebagai pengganti debu, karena dinilai memiliki sifat tepung yang hampir sama dengan debu. Ringan, dapat terbang jika ditiup, bentuk butiran yang kecil seperti debu. Selain debu, pengujian juga dilakukan dengan menggunakan asap hasil pembakaran kertas untuk menguji alat pada partikel yang lebih kecil lagi.

4.3.1 Analisis tegangan dengan tepung terigu sebagai pengganti debu

Digunakan tiga jenis berat tepung yang berbeda-beda untuk mensimulasikan keadaan udara yang berbeda-beda dengan tepung 50 gram disimulasikan sebagai ruangan dengan kadar debu yang tinggi, tepung 20 gram disimulasikan sebagai ruangan dengan kadar debu yang sedang, lalu tepung 5 gram disimulasikan sebagai ruangan dengan kadar debu yang rendah. Tepung yang tertahan adalah tepung yang menempel pada plat aluminium yang diukur dengan alat ukur timbangan dengan gradien 0.001 gram.

Tabel 4.1 Pengujian dengan tepung

Tegangan (Volt)	Masukan (Gram)	Tertahan (Gram)	Masukan (Gram)	Tertahan (Gram)	Masukan (Gram)	Tertahan (Gram)
1444	50	7.411	20	4.303	5	0.767
2776	50	9.534	20	6.188	5	1.128
3602	50	10.597	20	6.879	5	1.992
4020	50	11.066	20	8.092	5	2.038

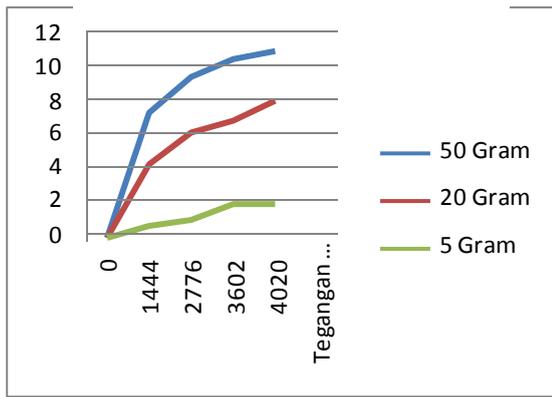
Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan hasil terbaik dengan menahan tepung sebesar 2.038 gram yang dilakukan oleh tegangan sebesar 4020 volt dilihat dari efektivitas antara tepung yang masuk dengan tepung yang tertahan. Dapat juga dilihat bahwa efektivitas alat semakin menurun seiring dengan banyaknya tepung yang masuk. Hal ini dikarenakan plat aluminium di dalam alat penyaring semakin cepat tertutup oleh tepung sehingga gaya medan listrik pada alat penyaring semakin menurun.

4. KESIMPULAN

Pengujian dilakukan dengan menerapkan lima variasi tegangan pada penyaring untuk memperoleh hubungan antara tegangan yang diterapkan dengan banyaknya debu yang dapat diendapkan, karena sulitnya mengumpulkan debu, penulis mengganti debu dengan tepung terigu karena menganggap kedua sifat benda tersebut hampir sama.

Pengujian terhadap transformator daya, pengujian terhadap Pembangkit listrik tegangan DC, pengujian terhadap kinerja alat.

PENGUJIAN TEGANGAN TERHADAP TEPUNG TERIGU SEBAGAI PENGGANTI DEBU

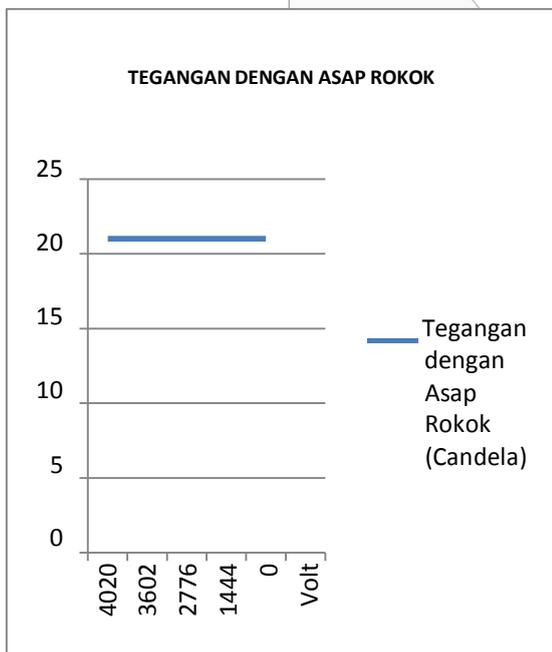


Gambar 4.1 Grafik Pengujian kinerja alat terhadap tepung terigu sebagai pengganti debu

4.3.2 Analisis Tegangan dengan Asap

Tabel 4.2 Pengujian dengan asap rokok

Pengali Tegangan	Intensitas Cahaya
0	21
1444	21
2776	21
3602	21
4020	21



Gambar 4.2 Grafik Pengujian kinerja alat terhadap asap rokok

Pengujian diukur dengan menggunakan Lux Meter untuk melihat perubahan kadar asap setelah melewati penyaring. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan tidak ada perubahan yang signifikan yang terlihat. Pengukuran dilakukan dengan mengukur kadar asap yang melewati penyaring tanpa diberi tegangan listrik. Didapatkan nilai 21

pada lux meter sebagai acuan, lalu pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan tinggi dan dihasilkan nilai yang sama. Terlihat juga asap masih keluar melewati penyaring udara.

**BAB 5
PENUTUP**

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat pengendap debu elektrostatik telah berhasil dibuat namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan pengukuran dan pengujian dapat pula diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian dengan tepung, dapat terlihat bahwa elektrostatik dapat mengendapkan debu dari menempelnya tepung pada plat aluminium yang dialiri tegangan tinggi.
2. Banyak debu yang mengendap di dalam penyaring selain dipengaruhi oleh medan listrik statik yang dihasilkan tegangan DC, dipengaruhi juga oleh gaya gravitasi bumi.
3. Efektifitas alat akan berkurang dengan semakin banyaknya debu yang akan diendapkan. Hal ini dikarenakan plat aluminium lebih cepat tertutup dengan tepung sehingga menghambat medan listrik di dalam penyaring yang mengakibatkan kekuatan untuk menarik partikel di dalam penyaring berkurang.
4. Hasil tertinggi yang didapat adalah pengali tegangan 4020 Volt dari hasil pengujian alat terlihat dari tepung yang menempel pada plat.

5.2 Saran

1. Gunakan penyaring yang lebih besar lagi agar mempermudah perhitungan hasil pengujian karena akan lebih banyak menarik tepung ke sisi plat aluminium.
2. Rancang penyaring sedemikian rupa sehingga menjadi lebih tertutup atau dibuat bergelombang agar menjadi lebih panjang untuk memberikan waktu kepada elektrostatik menarik partikel asap.
3. Gunakan alat ukur yang lebih sensitif agar dapat menghitung hasil pengujian.
4. Alat ini dapat dilengkapi dengan sensor debu atau asap untuk mengetahui kadar debu atau asap yang dialirkan dan yang diendapkan untuk memperoleh nilai efisiensi.

5. Proses pembersihan lempengan sebaiknya dilakukan di luar ruangan agar debu yang sudah tertangkap oleh penyaring tidak kembali ke dalam ruangan dan menjadi polutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sapiie, Soedjanadan Osamu Nishino (2005). *PENGUKURAN DAN ALAT-ALAT UKUR LISTRIK*. Jakarta: PRADNYA PARAMITA.
- [2] HAYT, William H, Jack E. Kemmerly dan Steven M. Durbin (2007). *Engineering Circuit Analysis*. New York: McGraw Hill.
- [3] Institut Teknologi Telkom (2010). *DIKTAT KULIAH FISIKA II*. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [4] Sumanto (1996). *TEORI TRANSFORMATOR*. Yogyakarta: ANDI.
- [5] Amiruddin, Yusuf (2013). Tugas Akhir. *Rancang bangun perangkat reduksi gas buang dengan memanfaatkan tegangan tinggi*. Bandung: Program Studi Teknik Elektro Universitas Telkom.
- [6] Engineer Xavier Borg. *Experiment 15 - Cockcroft Walton Multiplier*. 20 Januari 2015. <http://blazelabs.com/e-exp15.asp>