

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE CEROBONG ASAP
MENGUNAKAN METODE ELEKTROSTATIS PRECIPITATOR (ESP)
UNTUK MENGURANGI POLUSI ASAP DARI HASIL PENGASAPAN
IKAN**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA SATU (S1)
PADA PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI
INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



DISUSUN OLEH :

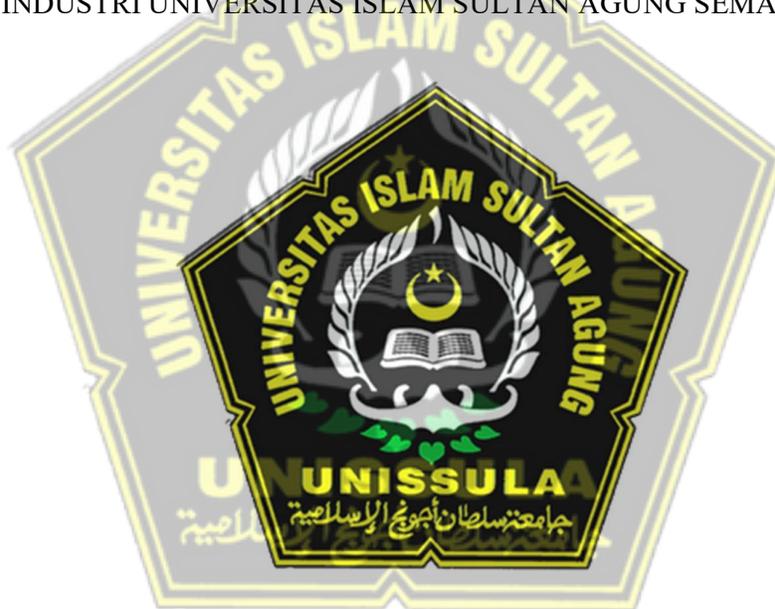
LUTFAN ZAINUL HAQ
NIM : 30601900024

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2023**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE CEROBONG ASAP
MENGUNAKAN METODE ELEKTROSTATIS PRECIPITATOR (ESP)
UNTUK MENGURANGI POLUSI ASAP DARI HASIL PENGASAPAN
IKAN**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA SATU (S1)
PADA PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI
INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



DISUSUN OLEH :

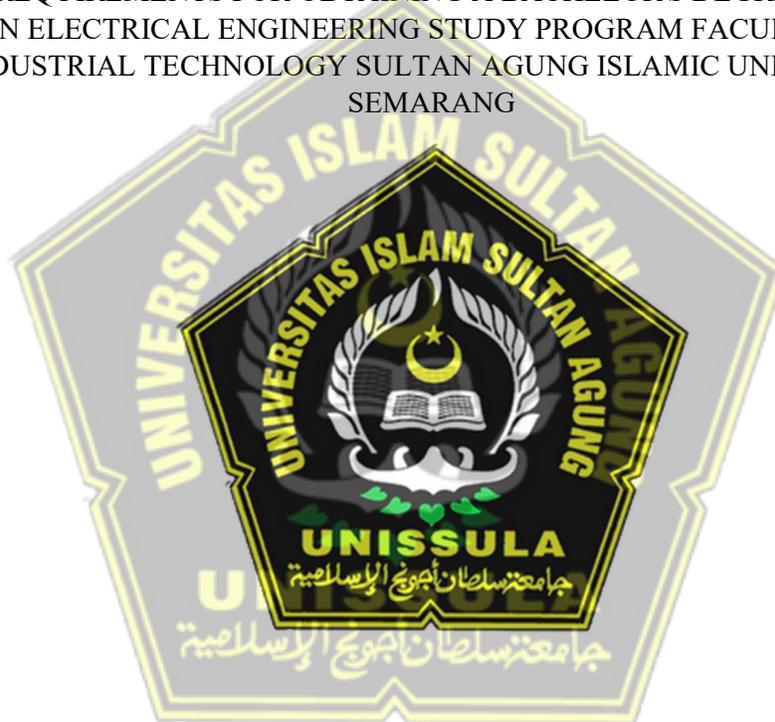
LUTFAN ZAINUL HAQ
NIM : 30601900024

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2023**

**DESIGN AND MANUFACTURE OF A PROTOTYPE OF CHINA USING
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR (ESP) METHOD TO REDUCE
SMOKE POLLUTION FROM FISH SMOKING RESULTS**

FINAL PROJECT

THIS REPORT WAS PREPARED TO FULFILL ONE OF THE
REQUIREMENTS FOR OBTAINING A BACHELOR'S DEGREE (S1)
IN ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM FACULTY OF
INDUSTRIAL TECHNOLOGY SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG



ARRANGED BY :

LUTFAN ZAINUL HAQ
NIM : 30601900024

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Cerobong Asap Menggunakan Metode Elektrostatis Precipitator (ESP) Untuk Mengurangi Polusi Asap Dari Hasil Pengasapan Ikan” ini disusun oleh:

Nama : Lutfan Zainul Haq

NIM : 30601900024

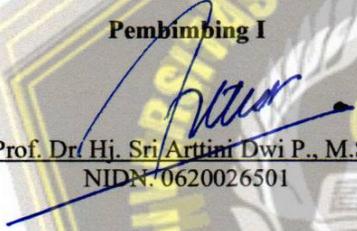
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 7 September 2023

Pembimbing I


Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si.
NIDN. 0620026501

Pembimbing II


Munaf Ismail, ST., MT
NIDN. 0613127302

Mengetahui,

Ketua program Studi Teknik Elektro


Jenny Putri Hapsari, ST., MT

NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Cerobong Asap Menggunakan Metode Elektrostatis Precipitator (ESP) Untuk Mengurangi Polusi Asap Dari Hasil Pengasapan Ikan” ini disusun oleh:

Nama : Lutfan Zainul Haq

NIM : 30601900024

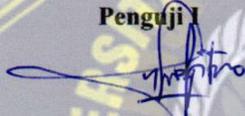
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 7 September 2023

Penguji I



Agus Suprajitno, ST., MT.
NIDN. 0619076401

Penguji II



Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT.
NIDN. 0625077901

Ketua Penguji



Jenny Putri Hapsari, ST., MT.
NIDN. 0607018501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lutfan Zainul Haq
NIM : 30601900024
Fakultas : TEKNOLOGI INDUSTRI
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang penulis buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **“Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Cerobong Asap Menggunakan Metode Elektrostatis Precipitator (ESP) Untuk Mengurangi Polusi Asap Dari Hasil Pengasapan Ikan”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini penulis buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka penulis bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 11 September 2023

Yang Menyatakan
Mahasiswa



Lutfan Zainul Haq
NIM. 30601900024

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Penulis yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lutfan Zainul Haq

NIM : 30601900024

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi industri

Alamat Asal : Desa Sirahan Kec. Cluwak Kab. Pati RT.10 RW.05

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul: Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Cerobong Asap Menggunakan Metode Elektrostatis Precipitator (ESP) Untuk Mengurangi Polusi Asap Dari Hasil Pengasapan Ikan Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini penulis buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan penulis tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 11 September 2023

Yang Menyatakan



Lutfan Zainul Haq

30601900024

HALAMAN PERSEMBAHAN

Persembahan:

Pertama

Allah SWT yang telah memberikan Rahmat taufik dan hidayah serta kasih penulis-Nya, Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas penulis dalam melewati setiap ujian dan cobaan-Nya

Kedua:

Penulis persembahkan tugas akhir ini kepada kedua orang tua penulis yaitu Ibu Hj. Siti Hamidah, Bapak H. Setya Budi (alm) atas dukungan dan doa selama mengerjakan tugas akhir ini. Penulis ucapkan juga dosen pembimbing penulis Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P. M.Si dan bapak Munaf Ismail ST., MT yang telah membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Ketiga

Untuk seluruh dosen, laboran dan teman-teman FTI Unissula yang selalu memberikan motivasi dan saran dalam menyelesaikan studi ini.

HALAMAN MOTTO

“Kematian satu orang adalah tragedi, kematian satu juta adalah statistik” (Joseph Stalin).

“Kini aku menjadi Sang Kematian, Sang Penghancur Dunia” (J. Robert Oppenheimer).

“Di tengah kekacauan, juga ada kesempatan” (Sun Tzu).

“Tidak ada yang tidak mungkin bagi dia yang mau berusaha” (Alexander the Great).

“Dengan hidup penuh kerja keras, hidupnya akan memancarkan cahaya” (Nobunaga Oda).

“Kalau kamu ingin menjadi pribadi yang maju, kamu harus pandai mengenal apa yang terjadi, pandai melihat, pandai mendengar dan pandai menganalisis” (Socharto).



KATA PENGANTAR

Assalamu‘alaikum Wa rahmatullahi Wa barakaatuh ;

Alhamdulillah rabbi alalamiin, segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan segala nikmat, hidayah, dan rahmat-Nya pada kita semua, Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafa'atnya. Amiin Ya Robbalalamin.

Laporan ini ditunjukkan sebagai bukti bahwa penulis telah membuat Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Cerobong Asap Menggunakan Metode Elektrostatis Precipitator (ESP) Untuk Mengurangi Polusi Asap Dari Hasil Pengasapan Ikan” dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu penulis yang telah banyak membantu dukungan dan doa, yang selalu menyemangati, serta memberi materi.
2. Ibu Dr. Novi Marlyana, ST.,MT. sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T.,M.T. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I dalam tugas akhir ini.
5. Bapak Munaf Ismail, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing II dalam tugas akhir ini.
6. Bapak Muhammad Khosyi'in, ST., MT selaku koordinator Tugas Akhir prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Agus Prasajo sebagai teman tim yang membantu dalam penelitian.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan semangat ilmu dan pengalaman yang diberikan

Penyusun menyadari bahwa didalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai

hasil yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan pembaca pada umumnya.

Wassalamu“alaikum Wa rahmatullahi Wa baraakatuh

Semarang, Juli 2023

Penyusun,

Lutfan Zainul Haq

NIM. 30601900024



DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LAPORAN TUGAS AKHIR..... | i |
| FINAL PROJECT | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI | iv |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | v |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | vi |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vii |
| HALAMAN MOTTO | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| ABSTRAK..... | xv |
| <i>ABSTRACT</i> | xvi |
| BAB I | 1 |
| Pendahuluan..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Tugas Akhir..... | 2 |
| 1.4 Manfaat Tugas Akhir..... | 2 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB II..... | 4 |
| Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori | 4 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | 4 |
| 2.2. Landasan Teori | 6 |
| 2.2.1. Partikel-partikel Debu pada Asap | 6 |
| 2.2.2. PM pada Pengasapan Ikan | 8 |
| 2.2.3. Elektrostatis precipitator (<i>ESP</i>) | 10 |
| 2.2.4. Korona Listrik | 12 |

| | | |
|--------------------------------------|---|----|
| 2.2.5. | Medan Listrik pada ESP..... | 13 |
| 2.2.6. | Kecepatan Migrasi Partikel (ω)..... | 15 |
| 2.2.7. | Luas Efektif <i>Collecting Plate</i> (Elektroda <i>Collecting</i>)..... | 16 |
| 2.2.8. | Efisiensi Filter ESP | 17 |
| 2.2.9. | Mazilli <i>Zero Voltage Switching (ZVS)</i> Driver..... | 18 |
| 2.2.10. | Konverter <i>Flyback</i> | 20 |
| 2.2.11. | Rangkaian <i>Cockroft-Walton</i> | 21 |
| 2.2.12. | Generator Tegangan Tinggi DC | 23 |
| BAB III | | 24 |
| Metode Penelitian & Perancangan..... | | 24 |
| 3.1. | Waktu dan Tempat Penelitian | 24 |
| 3.2. | Alur Penelitian..... | 24 |
| 3.1.1 | Studi Literatur | 25 |
| 3.1.2 | Perancangan Generator DC <i>High voltage</i> | 26 |
| 3.1.3 | Perancangan Cerobong Asap ESP | 32 |
| 3.1.4 | Pengujian Cerobong Asap ESP..... | 35 |
| 3.1.5 | Hasil Penelitian | 36 |
| BAB IV | | 38 |
| Pengujian dan Pembahasan..... | | 38 |
| 4.1. | Pengukuran Tegangan Tinggi DC..... | 38 |
| 4.2. | Pengujian Dasar..... | 39 |
| 4.3. | Pengujian Pengaruh Tegangan <i>Input</i> Terhadap Efisiensi Kinerja Cerobong Asap ESP..... | 42 |
| 4.4. | Pengujian Jarak antara Elektroda <i>Discharge</i> dan Elektroda <i>Collecting</i> Terhadap Efisiensi Kinerja ESP..... | 44 |
| BAB V..... | | 48 |
| Kesimpulan dan Saran..... | | 48 |
| 5.1. | Kesimpulan..... | 48 |
| 5.2. | Saran..... | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 49 |
| LAMPIRAN..... | | 53 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Table 2. 1 Konversi Nilai Konsentrasi..... | 9 |
| Table 2. 2 Kategori Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)..... | 9 |
| Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran pada <i>Flyback Converter</i> | 38 |
| Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Cockroft-Walton</i> 3 Tingkat..... | 39 |
| Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Dasar Cerobong Asap ESP..... | 39 |
| Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Debu yang Tidak Menempel pada Tegangan 12 V | 42 |
| Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pengaruh Tegangan <i>Input</i> Terhadap Efisiensi ESP ... | 43 |
| Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Debu yang Tidak Menempel pada Cerobong Ukuran 8..... | 45 |
| Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Jarak antar Elektroda terhadap Kinerja ESP..... | 46 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Beberapa Diameter Partikel Terkecil [8] | 7 |
| Gambar 2. 2 Sifat muatan listrik | 10 |
| Gambar 2. 3 Fenomena Elektrostatis | 11 |
| Gambar 2. 4 Filter penyaringan debu..... | 12 |
| Gambar 2. 5 Peristiwa Korona Listrik [13]..... | 13 |
| Gambar 2. 6 Medan Listrik Keping Sejajar | 15 |
| Gambar 2. 7 Rangkaian Driver ZVS Mazzilli [16]..... | 19 |
| Gambar 2. 8 Konverter <i>Flyback</i> [18] | 20 |
| Gambar 2. 9 Rangkaian Cokroft-Walton Gelombang Penuh [24]..... | 22 |
| Gambar 2. 10 Rangkaian Cokroft-Walton Setengah Gelombang [24] | 23 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian | 24 |
| Gambar 3. 2 Blok Diagram Generator DC <i>High voltage</i> | 26 |
| Gambar 3. 3 Rangkaian Mazzilli ZVS Driver | 27 |
| Gambar 3. 4 Rangkaian Mazzilli ZVS Driver yang Telah Dibuat..... | 28 |
| Gambar 3. 5 Inti Ferit Transformator <i>Flyback</i> | 29 |
| Gambar 3. 6 Lilitan Sekunder..... | 29 |
| Gambar 3. 7 Inti Ferit Transformator <i>Flyback</i> dengan <i>Coil Ignition</i> | 30 |
| Gambar 3. 8 Skema Rangkaian Cokroft-Walton 3 tingkat | 31 |
| Gambar 3. 9 Rangkaian Cokroft-Walton 3 tingkat..... | 31 |
| Gambar 3. 10 Cara Kerja Elektrostatik Precipitator | 32 |
| Gambar 3. 11 Diagram Blok Elektrostatik Precipitator | 32 |
| Gambar 3. 12 Desain Elektrostatik Precipitator (ESP) pada Thinkercad | 33 |
| Gambar 3. 13 Prototipe Cerobong Asap Beserta Elektroda dengan Alumunium. 34 | |
| Gambar 3. 14 Tungku Pembakaran yang Dibuat..... | 34 |
| Gambar 3. 15 Alur Pengambilan Data Kualitatif Cerobong Asap ESP | 35 |
| Gambar 3. 16 Alur Pangambilan Data Kuantitatif Cerobong Asap ESP | 36 |

ABSTRAK

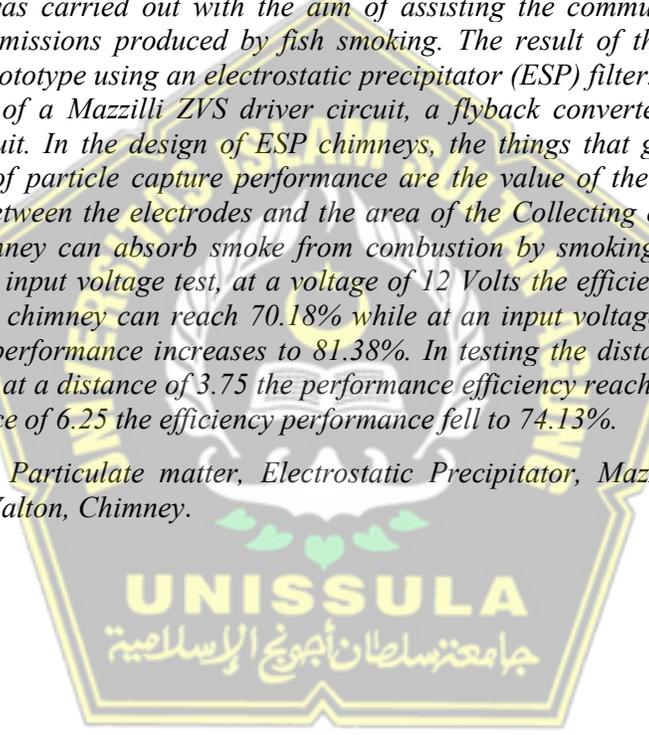
Salah satu faktor penyebab yang menyebabkan masalah pada kesehatan masyarakat adalah pencemaran udara dimana hal ini banyak terjadi di negara-negara industri yang memiliki banyak pabrik. Sebuah contoh studi industri yang berkembang adalah produksi ikan manyung di Kabupaten Kendal. Dalam industri tersebut, penggunaan tungku konvensional menjadi masalah karena menghasilkan banyak asap pekat yang menyebabkan gangguan kesehatan bagi masyarakat sekitar dan menjadi penghasil polutan yang mencemari udara bersih. Pembakaran biomassa dengan menggunakan alat tradisional belum optimal dan memberikan dampak negatif pada pengguna dan lingkungan. *Particulate matter (PM)* merupakan salah satu partikel berbahaya yang terkandung dalam asap hasil pembakaran tersebut. Dari permasalahan tersebut, dilakukan penelitian dengan tujuan untuk membantu masyarakat dalam mengurangi emisi polutan yang dihasilkan oleh pengasapan ikan. Hasil dari penelitian ini adalah prototipe cerobong asap dengan menggunakan filter elektrostatis precipitator (ESP). Untuk tegangan tingginya terdiri dari rangkaian Mazzilli ZVS driver, konverter *flyback* dan rangkaian *Cockroft Walton*. Dalam perancangan cerobong asap ESP, hal yang sangat mempengaruhi efisiensi kinerja penangkapan partikel adalah nilai tegangan dan jarak antar elektroda serta luas elektroda *Collecting*. Dimana cerobong asap ESP dapat menyerap asap dari hasil pembakaran dengan pengasapan ikan atau tanpa ikan. Dipengujian tegangan *input*, pada tegangan 12 Volt kinerja efisiensi cerobong asap ESP dapat mencapai 70.18% sedangkan pada tegangan *input* 22 Volt kinerja efisiensinya naik hingga 81.38%. Dipengujian jarak antar elektroda, pada jarak 3.75 efisiensi kinerjanya mencapai 86.24% sedangkan pada jarak 6.25 kinerja efisiensinya turun hingga 74.13%.

Kata Kunci: Partikulat Matter, Elektrostatis Precipitator, Mazzilli ZVS Driver, *Cockroft Walton*, Cerobong Asap.

ABSTRACT

One of the causal factors that cause problems in public health is air pollution where this often occurs in industrial countries that have many factories. An example of a growing industrial study is the production of sea catfish in Kendal Regency. In this industry, the use of conventional stoves is a problem because they produce a lot of concentrated smoke which causes health problems for the surrounding community and produces pollutants that pollute clean air. Biomass burning using traditional tools is not optimal and has a negative impact on users and the environment. Particulate matter (PM) is one of the harmful particles contained in the smoke from the combustion. From these problems, research was carried out with the aim of assisting the community in reducing pollutant emissions produced by fish smoking. The result of this research is a chimney prototype using an electrostatic precipitator (ESP) filter. for high voltage it consists of a Mazzilli ZVS driver circuit, a flyback converter and a Walton choke circuit. In the design of ESP chimneys, the things that greatly affect the efficiency of particle capture performance are the value of the voltage and the distance between the electrodes and the area of the Collecting electrode. Where ESP's chimney can absorb smoke from combustion by smoking fish or without fish. In the input voltage test, at a voltage of 12 Volts the efficiency performance of the ESP chimney can reach 70.18% while at an input voltage of 22 Volts the efficiency performance increases to 81.38%. In testing the distance between the electrodes, at a distance of 3.75 the performance efficiency reached 86.24% while at a distance of 6.25 the efficiency performance fell to 74.13%.

Keywords: Particulate matter, Electrostatic Precipitator, Mazzili ZVS Driver, Cockroft Walton, Chimney.



BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Salah satu penyebab dari masalah kesehatan masyarakat adalah pencemaran udara, di era industri ini, banyak negara-negara yang memiliki banyak pabrik yang menjadi penyumbang terbesar pencemaran udara. Sebuah contoh studi industri yang berkembang adalah produksi ikan manyung di Kabupaten Kendal. Dalam industri tersebut, terdapat masalah pada penggunaan tungku konvensional yang menghasilkan banyak asap pekat yang bisa menimbulkan gangguan kesehatan pernafasan bagi masyarakat sekitar dan menjadi penghasil polutan yang mencemari udara bersih [1].

Masalah yang ditimbulkan oleh pencemaran udara saat ini sudah mencapai tingkat yang berbahaya. Setiap hari, perusahaan industri, kendaraan bermotor, dan perusahaan energi dengan tenaga fosil menghasilkan polutan yang mencemari udara bersih. Zat-zat yang dapat menjadi penyebab pencemaran udara antara lain Hidrokarbon (HC), Chlorouorocarbon (CFC), Karbon Dioksida (CO_2), Sulfur Dioksida (SO_2), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO_2), Timbal (Pb), dan Partikular ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$). Zat-zat ini mempunyai berbagai bentuk saat berada di udara bebas, ada yang berbau dan yang tidak, ada yang dapat dilihat dan yang tidak, dan ada yang mempunyai warna dan transparan [2].

Untuk membantu mengurangi pencemaran udara saat ini, akan dibuat sebuah sistem cerobong asap menggunakan filter Elektrosatis. Sistem ini memanfaatkan medan listrik agar partikel-partikel debu terionisasi sehingga partikel tersebut akan tertarik dan menempel pada plat *collecting*. Hasilnya, asap yang keluar dari cerobong 90% bersih dari partikel-partikel berbahaya.

Tugas akhir ini akan membahas serta menjelaskan perancangan dan pembentukan model prototipe cerobong asap untuk memfilter asap hasil pembakaran ikan manyung. Dalam perancangan dan pembentukan model, ada beberapa parameter yang dibutuhkan, seperti besar medan listrik, ukuran cerobong, dan tegangan yang dibutuhkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana cara merancang cerobong asap yang efektif untuk mengurangi emisi polutan dengan menggunakan filter elektrostatis?
2. Bagaimana mengukur efisiensi penyaringan dan pengurangan emisi polutan dari sistem cerobong asap dengan filter elektrostatis?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Merancang dan mengembangkan cerobong asap dengan filter elektrostatis yang efektif dalam mengurangi emisi polutan.
2. Mengukur efisiensi penyaringan dan pengurangan emisi polutan dari sistem cerobong asap dengan filter elektrostatis.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Dari uraian yang ada dilatar belakang penelitian diatas, penelitian ini bermanfaat sebagai berikut :

1. Menyediakan solusi inovatif untuk mengurangi emisi polutan dari cerobong asap industri.
2. Meningkatkan kualitas udara di sekitar area industri dengan mengurangi polusi udara yang dihasilkan.
3. Mengurangi dampak negatif polusi udara terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.
4. Memberikan panduan desain cerobong asap dengan filter elektrostatis yang efektif bagi industri-industri yang ingin mengurangi emisi polutan.
5. Mengurangi ketergantungan pada metode konvensional yang mungkin kurang efektif dalam mengurangi polutan dari cerobong asap.

1.5 Batasan Masalah

Dari penulisan proporsal ini, terdapat beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Elektroda *Collecting* berupa plat alumunium dan elektroda *Discharging* berupa lilitan kawat besi yang dialiri listrik tegangan tinggi DC untuk

mengionisasi partikel-partikel yang terdapat pada asap. Pengaruh dari jenis logam atau karakteristik lain tidak dibahas.

2. Pembangkit tegangan tinggi menggunakan rangkaian ZVS, transformator *flyback* dan rangkaian Cockcroft-Walton.
3. Pada bagian sumber pembangkit tegangan tinggi DC akan berasal dari listrik power supply dan baterai aki hasil dari panel surya, dimana bagian panel surya akan diteliti oleh peneliti lain.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar struktur laporan akhir ini dapat tersusun dan mudah dipahami, maka dilakukan pendekatan sistematik sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab yang memperkenalkan topik penelitian adalah bab ini. Informasi latar belakang, definisi masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian semuanya tercakup dalam pendahuluan ini..

BAB II. LANDASAN TEORI

Bab ini merupakan bagian yang menyajikan teori, konsep, atau model yang menjadi dasar dan landasan bagi penelitian yang dilakukan.

BAB III. METODOLOGI

Bab ini berisi penjelasan rinci tentang metodologi penelitian. Bab ini menguraikan prosedur atau teknik yang digunakan dalam penelitian, serta langkah-langkah yang dilakukan untuk mengumpulkan dan menganalisis data.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan dari penelitian yang dilakukan dijelaskan dan diperiksa dalam bab ini. Bab ini menyajikan hasil pengumpulan data yang telah dilakukan dan menganalisisnya.

BAB V. PENUTUP

Pembahasan ditutup pada bab ini, yang juga menawarkan saran untuk penelitian tambahan serta kesimpulan yang berasal dari temuan analisis.

BAB II

Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

2.1. Tinjauan Pustaka

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh asap memiliki dampak serius terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Asap yang disebabkan dari pembakaran bahan bakar minyak, industri, dan kegiatan pembakaran terbuka seperti kebakaran hutan mengandung berbagai partikel berbahaya seperti CO, NO₂, dan PM. Ketika asap ini mencapai atmosfer, mereka dapat menyebabkan peningkatan polusi udara, membahayakan kualitas udara yang masyarakat hirup serta asap juga berkontribusi terhadap perubahan iklim dan efek rumah kaca, mengganggu ekosistem alam dan mengancam keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, diperlukan upaya serius untuk mengurangi emisi asap dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan agar dapat menjaga kualitas udara yang sehat dan melindungi planet bumi untuk generasi mendatang.

Keselamatan kerja sangat penting di era industrialisasi dan globalisasi ekonomi karena berkontribusi pada upaya perlindungan karyawan saat mereka bekerja. Dari penelitian para mahasiswa Universitas Diponegoro, ada beberapa masalah yang dihadapi industri ikan asap, seperti lingkungan yang kotor, tata ruang industri yang kacau dan polusi udara yang terjadi saat proses pengasapan [3]. Pembakaran biomassa dengan menggunakan alat tradisional belum optimal dan memberikan dampak negatif pada pengguna dan lingkungan. *Particulate matter* (PM) merupakan salah satu polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran ini. *Particulate matter* (PM) adalah partikel debu yang terbawa udara dengan diameter 2 m yang dapat berupa debu, kotoran, abu, dan asap. Mereka biasanya berasal dari sumber antropogenik seperti kendaraan bermotor dan pembakaran biomassa dan bahan bakar fosil. Partikel ini juga menjadi salah satu penyebab gangguan kesehatan seperti ISPA pada anak, penyakit obstruktif kronik, asma dan kanker paru-paru [4].

Pada zaman ini, berbagai macam cara telah digunakan untuk mengurangi pencemaran hasil pembakaran gas ini. Salah satu cara adalah dengan memanfaatkan elektrostatis. Gaya elektrostatis adalah gaya yang terjadi antara dua benda dengan muatan yang sama. Medan listrik di wilayah dua pelat konduktor yang membawa muatan yang sama tetapi berbeda dapat dianggap sama. Medan listrik yang sama ini dapat dibuat dengan menghubungkan sumber tegangan DC ke dua logam paralel. Jika jarak antara pelat lebih kecil dari ukuran pelat, maka luas bidang antara pelat akan sama kecuali pada tepi pelat. Jika muatan melewati rangkaian listrik, arus listrik akan memiliki gaya dalam partikel gaya yang mengikuti hukum dan karena muatan saling tolak dan muatan yang tidak sama menarik satu sama lain.

Dengan menggunakan prinsip elektrostatis, telah banyak muncul alat untuk mengurangi pencemaran lingkungan, salah satunya adalah *electrostatic precipitator* (ESP). ESP dapat beroperasi pada efisiensi tinggi dan penurunan tekanan rendah. ESP juga digunakan sebagai pembersih udara dan penyaring debu dari tungku industri. Umumnya ESP digunakan pada pabrik semen, kelapa sawit, aluminium, batubara dan lainnya. Oleh karena itu penerapan ESP tidak cocok untuk industri kecil seperti pengasapan ikan.

Dari penelitian Harris Fadhillah Said, dengan judul “*Perancangan Alat Pembangkit Tegangan Tinggi Flyback Transformator pada Aplikasi Pengendapan Debu Berbasis Mikrokontroler Atmega328*” dalam penelitiannya dibuat suatu rancangan generator tegangan tinggi untuk aplikasi pengendapan debu menggunakan generator tegangan tinggi trafo *flyback*. Rangkaian ini terdiri dari rangkaian mikrokontroler ATMEga328, rangkaian optocoupler dan rangkaian driver. Pengumpulan debu dilakukan dengan metode elektrostatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada duty cycle 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% menghasilkan tegangan keluaran sebesar 2,632 kV, 7,250 kV, 13,16 kV, 20,01 kV dan 27,55 kV dan Debu yang dapat terkonsentrasi adalah 0,2122 gram, 0,5147 gram, 0,8960 gram, 1,1620 gram dan 1,9267 gram. Pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi siklus kerja, semakin tinggi tegangan keluaran trafo transfer dan semakin banyak debu yang diendapkan [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Andrika Hilman Hanif dengan judul “*Pengaruh Voltase Dan Kerapatan Wire Mesh Electrostatic Precipitator Terhadap Efisiensi Filtrasi Udara dan Kualitas Air Hasil Produksi Atmospheric Water Maker*”, penelitian tersebut merupakan *experimental research* dengan metode *factorial design*. Pada penelitian ini terdapat 3 jenis pengujian yaitu kadar debu, kepekatan asap dan kualitas air. Hasil studi menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan, semakin tinggi kinerja ESP, semakin tinggi diameter kawat, semakin tinggi kinerja ESP. Namun, pengurangan polutan air disebabkan oleh peningkatan efisiensi ESP dan peningkatan polusi air yang disebabkan oleh pelepasan ozon yang tinggi [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Fandi Akhmad Rayvaldo dengan judul “*Pengembangan Filter Partikulat Pm0.1 Berbasis Elektrostatis Tegangan Rendah Arus Ac Untuk Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan filter berbasis elektrostatis untuk mengurangi partikel ultrafine di udara ambien yang disebabkan oleh sistem ventilasi mekanis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi filter tergantung pada ruang filter, temperatur, emisi, tegangan listrik, frekuensi listrik dan laju filter [7].

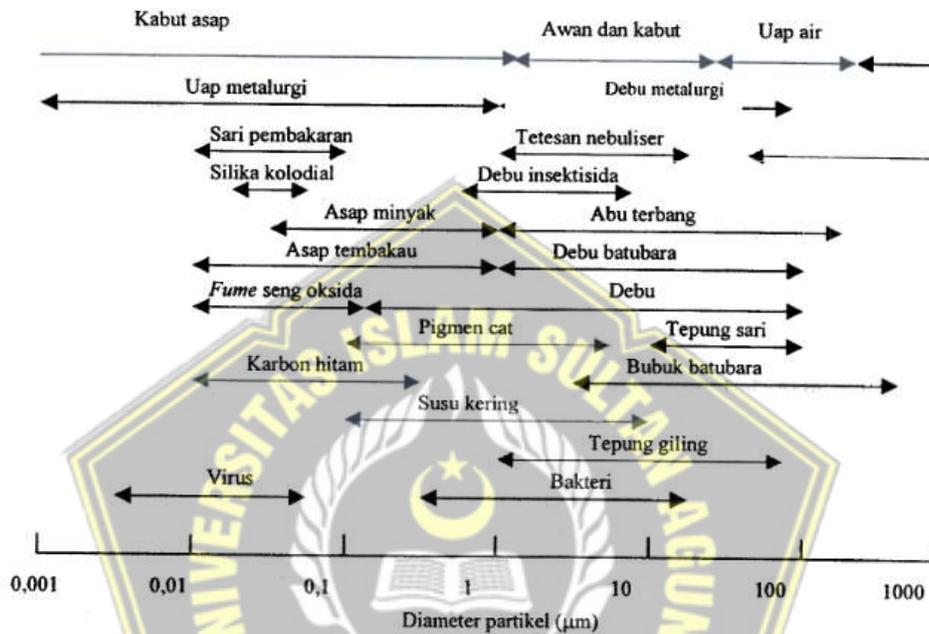
Pada penelitian kali ini akan dirancang sebuah prototipe cerobong asap dengan filter elektrostatis dengan generator tegangan tinggi menggunakan 3 rangkaian yaitu rangkaian *ZVS*, *transformator flyback* dan rangkaian *cockroft walton*. Serta elektroda *collecting* terbuat menggunakan plat aluminium yang berbentuk balok tanpa tutup dan elektroda *discharge* yang terbuat dari lilitan kawat besi.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Partikel-partikel Debu pada Asap

Asap yang merupakan partikel-partikel kecil yang berada di udara dari hasil pembakaran yang tidak sempurna. Partikel-partikel kecil ini biasa disebut *Particulate matter (PM)*. PM adalah campuran partikel padat atau cair kecil yang tersuspensi di udara. Hewan adalah salah satu polutan udara yang paling banyak ditemukan di mana-mana dan dicirikan dengan cara yang berbeda tergantung pada polanya. Partikel tidak dapat dilihat satu per satu dengan mata telanjang, tetapi

jika digabungkan, partikel tersebut dapat terlihat seperti jelaga hitam, awan debu, atau debu halus. Ini diproduksi oleh proses alami seperti serbuk sari, bakteri, virus, jamur, dll. Atau melalui aktivitas manusia seperti penggunaan mobil diesel, listrik, listrik dan proses industri [7].



Gambar 2. 1 Beberapa Diameter Partikel Terkecil [8]

Secara kimia, Komposisi partikel PM terdiri dari ion sulfida, nitrat, amonium dan anorganik seperti ion natrium, kalium, kalsium, magnesium dan klorida, karbon dan bahan organik, bahan organik, air jenuh dengan tubuh, logam dan PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbons*).

Zat-zat tersebut akan tetap berada di udara dalam waktu yang lama dan masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan sehingga menimbulkan gangguan kesehatan seperti: Radang saluran pernafasan, iritasi kulit, Kehilangan nafsu makan, sembelit, sakit kepala. , anemia arthralgia, kelumpuhan dan masalah mata. Tidak hanya itu saja, pencemaran partikel-partikel ini juga dapat menimbulkan permasalahan lain diantaranya:

- a. Mengganggu lingkungan
- b. Mempunyai daya pencemaran udara yang luas penyebarannya dan tinggi.

- c. Partikel-partikel ini dapat menyedot gas dengan cara yang meningkatkan efek negatif dari zat-zat ini.

PM cenderung mengendap karena gravitasi bumi. Juga, PM yang merupakan partikel ketika diisi, mereka akan memiliki muatan listrik statis sehingga mereka menolak partikel sejenis lainnya dan menarik partikel lain dari jenis lain. Hal ini terlihat jika dengan menggosokkan penggaris pada rambut dan penggaris dapat menarik pasir [9].

2.2.2. PM pada Pengasapan Ikan

Selain menangkap ikan, membakar ikan merupakan salah satu mata pencaharian masyarakat pesisir Indonesia. Pengasapan ikan merupakan salah satu metode pengawetan ikan tradisional dimana senyawa antimikroba dalam asap seperti aldehida, alkohol dan keton dapat menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk dan menyebabkan koagulasi protein ikan, yang memperpanjang umur ikan terhadap bakteri..

Bahan bakar yang paling umum digunakan dalam pengasapan ikan adalah batok kelapa. Kandungan zat pada batok kelapa antara lain lignin, selulosa, hemiselulosa dan abu dengan kadar air 6-9%. Pembakaran tempurung kelapa menghasilkan asap polutan yang mengandung partikel CO₂, HC, NO₂, PM_{2.5} dan PM₁₀. PM₁₀ adalah partikel berukuran kurang dari 10 mikron. Partikel tersebut dapat menyebabkan gangguan kesehatan karena dapat terhirup dan menumpuk di saluran pernafasan. Sedangkan PM_{2.5} merupakan partikel berukuran 2,5 mikron yang sering disebut partikulat. Partikel-partikel tersebut dianggap menimbulkan risiko masalah kesehatan pernafasan terbesar karena ukurannya yang kecil, yaitu sekitar 1/30 lebar rambut manusia, memungkinkannya masuk ke bagian pernafasan manusia [10].

Pada tahun 2020, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Baku Pencemar Udara (ISPU) menggantikan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997 tentang Pengumpulan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Baku Pencemar Udara. Pada urutan ini total

ISPU menggunakan 7 parameter yaitu PM10, PM2.5, NO2, SO2, CO, O3 dan HC.

Table 2. 1 Konversi Nilai Konsentrasi

| ISPU | 24 Jam PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 24 Jam PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 24 Jam SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 24 Jam CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 24 Jam O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 24 Jam NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 24 Jam HC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---------|--|---|---|--|--|---|--|
| 0-50 | 50 | 15,5 | 52 | 4000 | 120 | 80 | 45 |
| 51-100 | 150 | 55,4 | 180 | 8000 | 235 | 200 | 100 |
| 101-200 | 35 | 150,4 | 400 | 15000 | 400 | 1130 | 215 |
| 201-300 | 420 | 250,4 | 800 | 30000 | 800 | 2260 | 432 |
| >300 | 500 | 500 | 1200 | 45000 | 1000 | 3000 | 648 |

Perhitungan ISPU dapat dilakukan menggunakan persamaan matematika sebagai berikut [11]:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad (2.1)$$

Keterangan :

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

X_a = Konsentrasi ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_b = Konsentrasi ambien batas bawah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_x = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

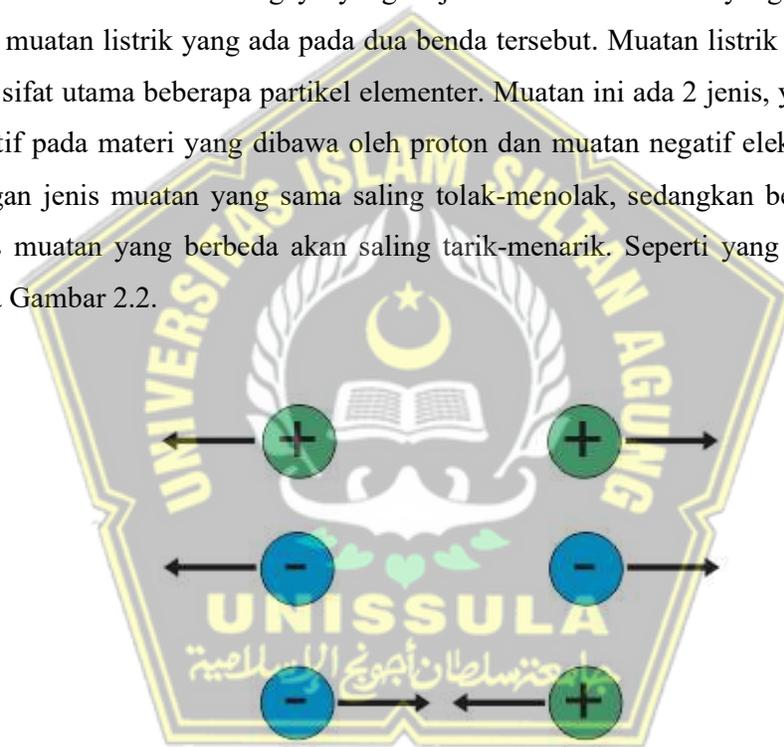
Table 2. 2 Kategori Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

| Rentang | Kategori | Penjelasan |
|---------|--------------------|---|
| 1-50 | Baik | Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan |
| 51-100 | Sedang | Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan |
| 101-200 | Tidak Sehat | Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan |
| 201-300 | Sangat Tidak Sehat | Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar |
| >301 | Berbahaya | Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat |

2.2.3. Elektrostatik precipitator (*ESP*)

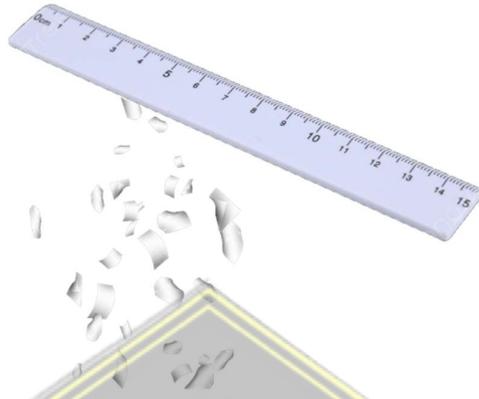
Elektrostatik Precipitator (*ESP*) adalah sistem penangkap debu yang sangat tinggi (lebih dari 90%). Ukuran partikel yang dapat ditangkap menggunakan *electrostatic precipitator* (*ESP*) adalah $<2 \mu\text{C}$ [12]. metode ini dapat menangkap partikel-partikel kecil dengan membuat partikel tersebut terionisasi sehingga bermuatan. Metode ini terus dikembangkan sejak banyaknya penemuan-penemuan tentang gejala elektrostatik [13].

Elektrostatik adalah gaya yang terjadi antara dua benda yang diakibatkan oleh muatan listrik yang ada pada dua benda tersebut. Muatan listrik adalah salah satu sifat utama beberapa partikel elementer. Muatan ini ada 2 jenis, yaitu muatan positif pada materi yang dibawa oleh proton dan muatan negatif elektron. Benda dengan jenis muatan yang sama saling tolak-menolak, sedangkan benda dengan jenis muatan yang berbeda akan saling tarik-menarik. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Sifat muatan listrik

Peristiwa elektrostatik yang paling umum adalah batang karet yang digosokkan di atas alas selama jangka waktu tertentu. Kemudian, ketika batang plastik tersebut didekatkan dengan kertas kecil tersebut, maka potongan kertas kecil tersebut akan menempel pada batang plastik tersebut. Ini karena batang plastik bermuatan positif menarik kertas yang tidak bermuatan.



Gambar 2. 3 Fenomena Elektrostatik

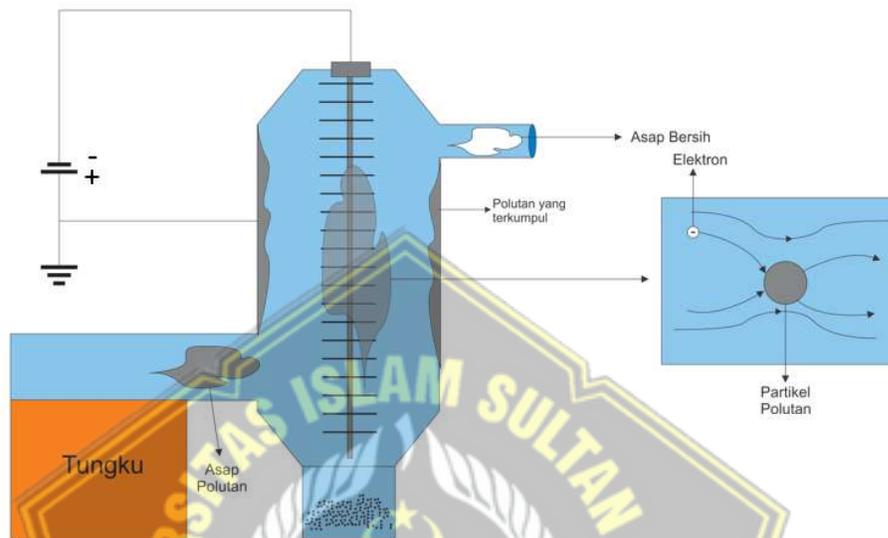
Konsep elektrostatik ini biasa digunakan salah satunya untuk filter penyaringan polusi. Filter ini dipergunakan sebagai pengontrol lingkungan dengan menghilangkan partikel-partikel kecil dan kotor yang turut keluar bersama gas buangan. Dalam proses penyaringannya, partikel-partikel itu diberi muatan kemudian dipisahkan dari yang lainnya dengan bantuan medan listrik yang sangat besar dan akhirnya ditarik oleh elektroda pengumpul pengumpul polutan.

Komponen utama pada ESP terdiri dari :

1. *Collecting plate* yang berfungsi untuk menarik partikel bermuatan negatif sehingga partikel debu dalam gas akan menempel pada platnya.
2. *Discharge electrode* digunakan untuk menyebarkan elektron bebas yang berfungsi untuk menarik partikel bermuatan negatif yang berfungsi memberikan muatan (*charging*) pada partikel.
3. Peralatan listrik tegangan tinggi yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi [14].

Gambar 2.4 Menunjukkan ilustrasi dari filter tersebut. Gas yang terpolusi masuk dari sisi sebelah kiri, memasuki tempat yang udaranya terionisasi karena adanya medan listrik dengan intensitas yang sangat besar, yang mengakibatkan potongan-potongan partikel yang turut masuk dengannya menjadi memiliki muatan. Medan listrik tersebut sekaligus bertindak sebagai penarik partikel yang

bermuatan. Jika partikel polusi memiliki muatan negatif, maka ia akan ditarik oleh plat baja yang diberi muatan positif, sehingga udara yang telah melalui filter tersebut akan bersih.



Gambar 2. 4 Filter penyaringan debu

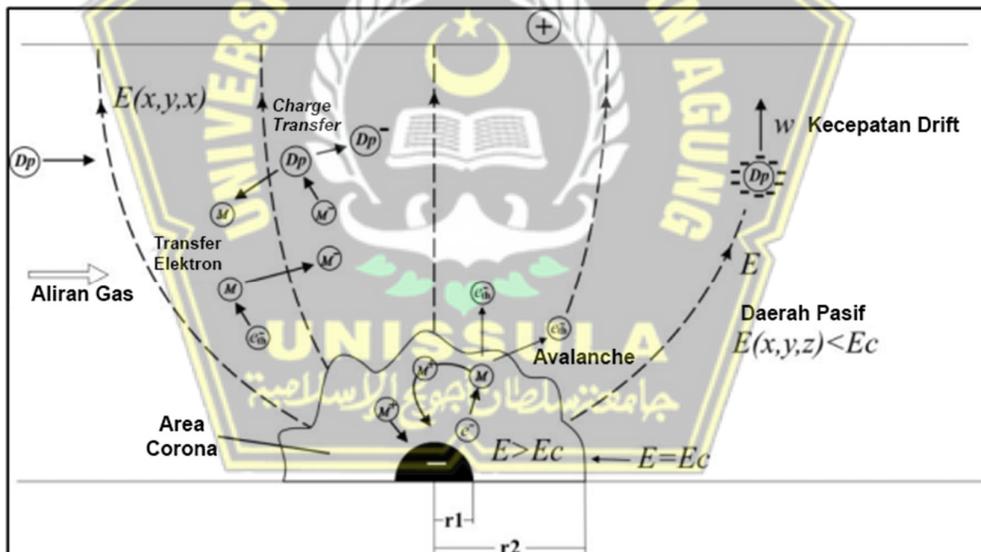
Proses terisinya partikel-partikel polusi dengan muatan terjadi secara statis. Partikel yang masuk ke filter akan terionisasi menjadi ion negatif (akibat medan listrik) sehingga partikel nantinya akan tertarik ke elektroda *collecting*, elektroda *collecting* akan didatangi oleh partikel yang bermuatan negatif.

2.2.4. Korona Listrik

Korona listrik adalah fenomena di mana terjadi pelepasan atau ionisasi molekul-molekul udara di sekitar suatu objek bermuatan listrik tinggi. Ini biasanya terjadi ketika medan listrik di sekitar objek melebihi ambang batas yang diperlukan untuk memulai ionisasi udara. Proses ini menghasilkan korona atau aura cahaya yang terlihat di sekitar objek bermuatan. Pada sistem listrik DC, korona listrik terutama terjadi di sekitar ujung tajam atau permukaan yang bermuatan tinggi. Ketika tegangan listrik DC diterapkan pada objek dengan ujung tajam atau bentuk permukaan yang tidak rata, medan listrik di sekitar area tersebut dapat mencapai ambang batas ionisasi udara. Akibatnya, molekul-molekul udara

di sekitar objek bermuatan akan mengalami pelepasan elektron, sehingga terbentuk korona listrik.

mekanisme korona negatif terbagi menjadi dua wilayah, yaitu wilayah korona dan wilayah pasif. Wilayah korona merupakan wilayah tipis yang mengelilingi potensi. Pelepasan listrik melepaskan elektron yang disebut longsoran elektron (*electron avalanche*) sehingga elektron di daerah ini mendapatkan kecepatan yang tinggi dan ketika elektron ini mengenai molekul gas, elektron ini melepaskan elektron dari molekul gas. Elektron yang terionisasi positif akan bergerak menuju katoda netral. Pada saat ini, elektron baru bergerak dan mengionisasi gas lain atau berlanjut ke anoda. Medan listrik memiliki daerah korona yang menyusut sehingga elektron tidak dapat lagi mengeluarkan partikel gas netral. Zona transit adalah zona di luar zona korona. Elektron pada daerah ini akan terlibat dalam molekul gas, proses ini disebut transfer elektron [13].



Gambar 2. 5 Peristiwa Korona Listrik [13]

2.2.5. Medan Listrik pada ESP

Medan listrik adalah medan vektor yang dihasilkan oleh muatan listrik. Setiap muatan listrik, baik itu muatan positif atau negatif. Perangkat ESP membutuhkan tegangan tinggi untuk menghasilkan muatan di medan listrik. Jumlah listrik mempengaruhi efisiensi ESP karena energi listrik (E) harus sama dengan energi termal (E_p). Medan listrik antara dua pelat konduktor membawa

muatan yang sama tetapi tidak identik (misalnya satu plat bermuatan positif dan yang lain bermuatan negatif) dapat dianggap homogen. homogen berarti bahwa medan listrik memiliki nilai yang sama dan arah yang konsisten di semua titik di antara dua plat penghantar tersebut. Medan listrik homogen dapat diperoleh dengan menghubungkan terminal sebuah tegangan listrik DC pada 2 logam sejajar [6].

Kekuatan medan listrik (E) didefinisikan sebagai gaya per satuan muatan listrik disuatu titik. Formula kuat medan listrik dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = \frac{F}{q} \quad (2.2)$$

Dengan F merupakan gaya coulomb dan q adalah muatan partikel, sehingga formula medan magnet dapat ditulis:

$$E = K \frac{q}{r^2} \quad (2.3)$$

Dimana E merupakan kuat medan listrik (N/C), K adalah konstanta medium yang ditempati muatan yang besarnya $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$. q merupakan muatan partikel dan r adalah jarak antar muatan.

Besar kuat medan listrik pada pelat sejajar sebanding dengan perbedaan yang diterapkan dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat. Plat keping sejajar dapat dilihat pada gambar 2.6. Kuat medan listrik dapat dinyatakan [6]:

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.4)$$

Keterangan:

E = Kuat Medan Listrik (V/m)

V = beda potensial/tegangan listrik (V)

d = jarak antar konduktor (m)

untuk mengetahui jarak anatar konduktor (jarak antar elektroda), dapat dilihat pada berikut:

$$r = \frac{1}{2}l - \frac{1}{2}d \quad (2.5)$$

Keterangan:

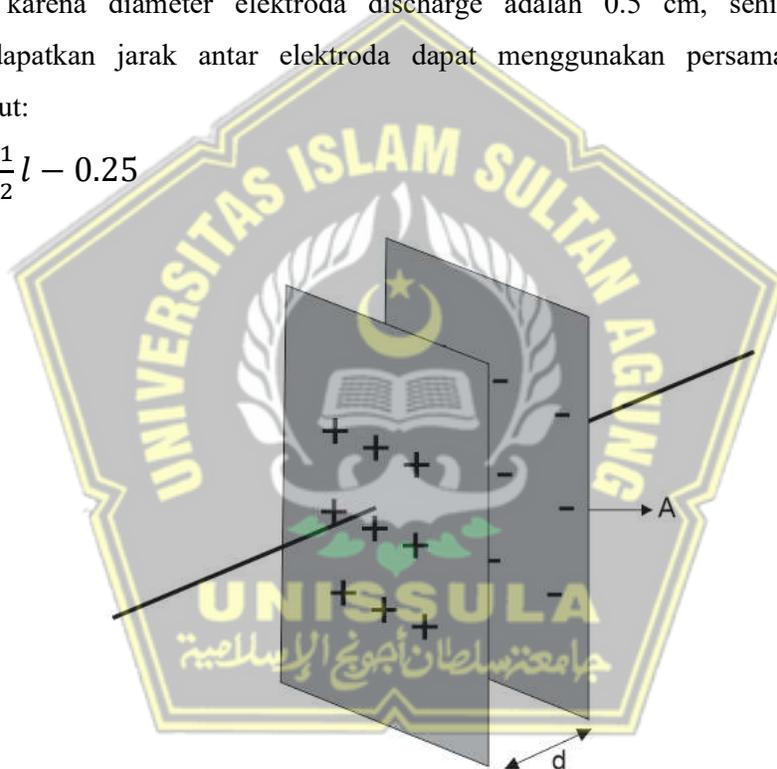
r = jarak antara elektroda collecting dan elektroda discharge (cm)

l = lebar elektroda collecting (cm)

d = diameter elektroda discharge (cm)

karena diameter elektroda discharge adalah 0.5 cm, sehingga untuk mendapatkan jarak antar elektroda dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$r = \frac{1}{2}l - 0.25 \quad (2.6)$$



Gambar 2. 6 Medan Listrik Keping Sejajar

2.2.6. Kecepatan Migrasi Partikel (ω)

Ketika partikel-partikel asap pada ESP yang lewat terionisasi, partikel tersebut kebanyakan akan bergerak menuju elektroda *collecting* dari pada elektroda *discharging* yang mempunyai polaritas yang sama dengan partikel yang termuati. Perlu diketahui bahwa kuat medan listrik akan semakin lemah ketika menjauh korona dan patikel akan semakin termuati seiring partikel melewati ESP.

pada elektroda *collecting* konsentrasi partikel yang bermuatan akan semakin tinggi. Interaksi antar partikel-partikel bermuatan yang sama dengan polaritasnya (interferensi) juga akan mempengaruhi kecepatan migrasi partikel [13].

Menurut ardy fitrianto [12] ,kecepatan migrasi partikel merupakan kecepatan pergerakan partikel menuju ke elektrota *collecting*. Kecepatan ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2K_0 p a E_c E_p}{3\mu} \quad (2.7)$$

Keterangan:

ω = 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)

Dari penelitian Sepfitrah dan Yose Rizal [15], Kecepatan migrasi partikel dapat juga dihitung dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{d_0 E_c E_p}{4\mu\pi} \quad (2.8)$$

Dimana :

d_0 = diameter rata-rata partikulat (65,3 μm hasil analisis lab kimia)

μ = viskositas gas buang

2.2.7. Luas Efektif *Collecting Plate* (Elektroda *Collecting*)

Collecting plate atau bisa disebut Elektroda *Collecting* merupakan elektroda yang berfungsi sebagai pengumpul atau penampung abu atau debu. Ketika elektroda mendapatkan arus tegangan tinggi maka akan timbul medan magnet sehingga debu atau kotoran seperti PM₁₀ dan PM_{2.5} akan menempel padanya.

Untuk menghitung luas satu permukaan elektroda *collecting* dapat menggunakan persamaan matematika berikut:

$$A = p \times l \times n \quad (2.9)$$

Keterangan:

A = Luas Elektroda *collecting* (cm²)

p = Panjang Elektroda (cm)

l = Lebar elektroda (cm)

n = jumlah sisi

Sedangkan untuk menghitung banyaknya elektroda *Collecting* dapat dirumuskan oleh persamaan berikut:

$$\text{Baris} \times \text{Kolom} \times \text{Field} \times \text{Jumlah ESP} \quad (2.10)$$

Sehingga untuk mencari luas efektif elektroda *collecting* menggunakan persamaan matematika berikut:

$$A = \text{Luas Permukaan} \times \text{Jumlah Collecting plate} \quad (2.11)$$

2.2.8. Efisiensi Filter ESP

Efisiensi Filter ESP (%EF) mengacu pada kemampuan filter tersebut untuk mengumpulkan partikel-partikel yang diinginkan dengan efektif. Efisiensi filter dinyatakan sebagai perbandingan dari selisih antara konsentrasi awal dengan konsentrasi akhir terhadap konsentrasi awal polutan, dan ditulis dalam bentuk persentase metode ini dinamakan *mass balance* [7]. Untuk pengukuran konsentrasi awal dilakukan beberapa kali Kemudian dicari reratanya. Untuk perhitungan konsentrasi rata-rata awal dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{C}_o = \frac{\sum_{i=1}^n (C_o)_i}{n} \quad (2.12)$$

Sedangkan untuk konsentrasi akhir juga sama, melakukan pengukuran berulang untuk mendapatkan nilai rerata. Untuk perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\bar{C}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_t)_i}{n} \quad (2.13)$$

Dari pengukuran yang telah dilakukan, bisa didapat konsentrasi jumlah debu yang menempel pada elektroda *collecting* (C_m) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$C_m = \overline{C_o} - \overline{C_t} \quad (2.14)$$

Sehingga dari persamaan diatas, untuk menghitung efisiensi ESP dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\%EF = \frac{C_m}{C_o} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan:

$\%EF$ = efisiensi filter (%)

C_o = konsentrasi awal (gram)

C_m = konsentrasi partikel yang menempel pada elektroda *collecting* (gram)

2.2.9. Mazzilli Zero Voltage Switching (ZVS) Driver

Mazzilli ZVS Driver merupakan driver trafo *flyback* yang mampu menghasilkan sumber HV dengan tegangan *output* tinggi. Mazzilli ZVS Driver merupakan konverter ZVS yang berosilasi sendiri serta memiliki efisiensi yang baik dan dapat menggerakkan trafo *flyback* dengan daya yang relatif tinggi. Tegangan *output* dapat ditingkatkan dengan cara memilih komponen yang sesuai atau menggabungkan beberapa topologi dalam konfigurasi seri atau paralel [16].

Mazzilli ZVS Driver adalah rangkaian yang ditemukan oleh Vladimiro Mazzilli yang merupakan dari rangkaian *Royer Oscillator*. Topologi ini merupakan *self-oscillating Converter* yang dapat menggerakkan trafo *flyback* dengan daya tinggi dan efisiensi yang baik. Driver ini menggunakan 1 mosfet atau 2 mosfet yang dipasang secara seri.

Prinsip kerja Mazzilli ZVS Driver adalah dengan memanfaatkan prinsip nol tegangan pada saat switching atau perpindahan siklus pada arus listrik yang melewati beban induktif. Dengan menggunakan transistor daya dan beberapa komponen lainnya, driver ini memastikan bahwa peralihan arus terjadi pada saat nol tegangan, yang mengurangi terjadinya lonjakan arus dan tegangan yang dapat

merusak perangkat elektronik. Untuk menghitung osilasi rangkaian ini dapat menggunakan prinsip dasar osilator RLC yang terdapat pada rangkaian. Frekuensi osilasi dapat dihitung menggunakan rumus dasar osilator RLC :

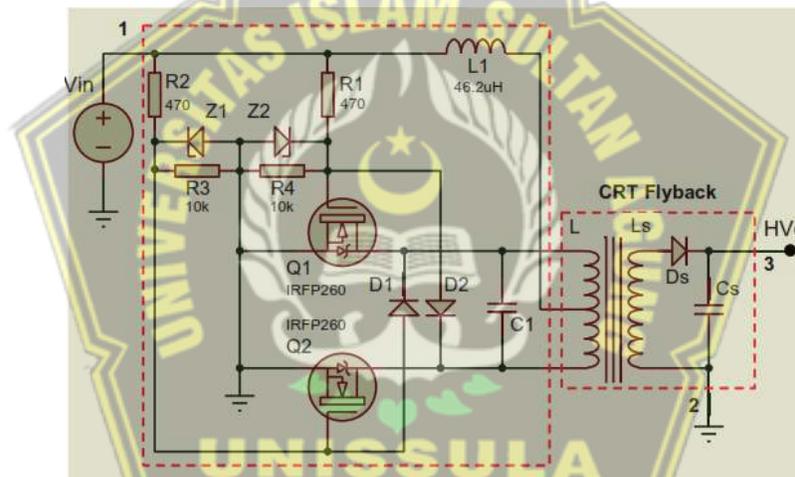
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_1}} \quad (2.16)$$

Keterangan :

f = frekuensi osilasi (Hz)

L_p = Lilitan Primer (H)

C_1 = Kapasitor (F)



Gambar 2. 7 Rangkaian Driver ZVS Mazzilli [16]

Keuntungan utama dari Mazzilli ZVS Driver adalah efisiensi energi yang tinggi dan pengurangan kerusakan pada perangkat elektronik. Dengan menggunakan prinsip nol tegangan, driver ini mengurangi kehilangan daya yang biasanya terjadi pada peralihan siklus arus listrik. Selain itu, penggunaan Mazzilli ZVS Driver juga dapat menghindari terjadinya lonjakan tegangan yang dapat merusak komponen sensitif dalam sistem.

Mazzilli ZVS Driver umumnya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pengendalian tegangan dan arus pada beban induktif dengan efisiensi tinggi. Contoh penggunaan driver ini meliputi pengendalian daya pada

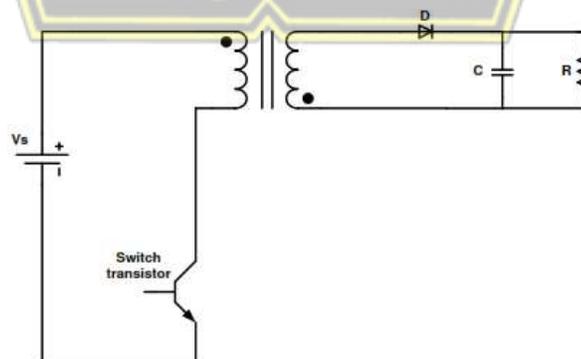
transformator, solenoida, dan induktor lainnya dalam sistem daya, elektronik daya, atau aplikasi industri lainnya.

Dalam rangkaian Mazzilli ZVS Driver, terdapat beberapa komponen penting seperti transistor daya, dioda, kapasitor, dan resistor. Rangkaian ini juga memerlukan catu daya yang sesuai untuk memberikan tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh beban induktif.

Dalam penggunaan Mazzilli ZVS Driver, perlu memperhatikan parameter dan karakteristik beban induktif yang akan dikendalikan. Pemilihan komponen yang tepat dan pemahaman yang baik tentang prinsip kerja driver ini sangat penting untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dan menjaga keandalan sistem elektronik secara keseluruhan [16].

2.2.10. Konverter *Flyback*

Konverter *flyback* merupakan salah satu metode pembangkit tegangan tinggi dengan menggunakan sumber tegangan rendah yang memiliki isolasi diantara masukan dan keluarannya. Metode ini mempunyai bentuk rangkaian yang sederhana. Komponen utama dari konverter *flyback* adalah trafo step up dan komponen pensaklaran (*Switching*) [17]. Metode *Switching* pada konverter *flyback* biasa menggunakan Transistor MOSET. Tegangan *switching* yang masuk ke *transformator flyback* primer akan meningkatkan level tegangan sekunder di gulungan sekunder sesuai dengan rasio $N1:N2$. *Output* konverter *flyback* pada TV tabung biasanya berupa tegangan DC karena dioda pada lilitan sekunder.



Gambar 2. 8 Konverter *Flyback* [18]

Konverter *flyback* bekerja dengan menyimpan energi dalam induktor saat sistem dihidupkan dan melepaskan energi saat dimatikan. Dengan trafo, penyimpanan energi ada di magnetisasi inti trafo. Konverter *flyback* memiliki riak besar pada tegangan keluarannya dan sering digunakan pada aplikasi berdaya rendah, serta aplikasi yang membutuhkan banyak keluaran (*multiple outputs*) [19].

Untuk perhitungan transformator *Flyback* sama dengan transformator biasa, berikut merupakan rumus dari transformator:

$$V_p I_p \cos(\theta) = V_s I_s \cos(\theta) \quad (2.17)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.18)$$

Untuk hubungan antara ratio lilitan dan rasio induktansi bisa ditulis sebagai berikut [20]:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}} \quad (2.19)$$

Konverter *flyback* biasanya digunakan dalam sistem pengapian elektronik, televisi CRT dan tabung, dan peralatan telekomunikasi. Jumlah daya maksimum yang dapat ditransmisikan oleh ikan terbang terbatas pada lebar pulsa yang ditetapkan.

2.2.11. Rangkaian *Cockroft-Walton*

Rangkaian ini dinamakan sesuai dengan nama penemunya yaitu John Douglas Cockroft dan Ernest Thomas Sinton Walton. Rangkaian Cocroft-walton adalah perkembangan dari rangkaian pelipat tegangan sebelumnya yang diserikan. Rangkaian ini dapat meningkatkan nilai tegangan AC menjadi tegangan DC yang bernilai lebih tinggi [21].

Metode *Cockroft-Walton* menghasilkan tegangan *output* yang lebih rata dari pada metode pelipat tegangan yang sebelumnya. Komponen utama rangkaian ini

terdiri dari dioda dan kapasitor. Dioda dan kapasitor tersebut dapat menghasilkan tegangan yang diinginkan.

Pada rangkaian *Cockroft-Walton*, untuk mengalkulasi banyaknya tingkatan dan besarnya tegangan *output* yang diinginkan maka persamaan matematika yang bisa digunakan adalah sebagai berikut [22]:

$$V_{out} = V_{in} \times 2n \quad (2.20)$$

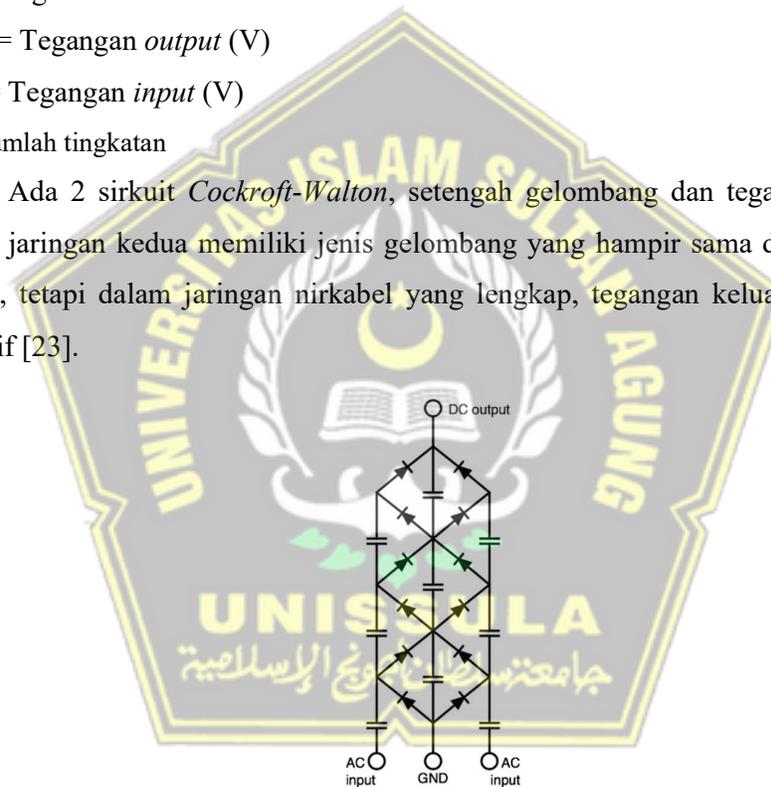
Keterangan:

V_{out} = Tegangan *output* (V)

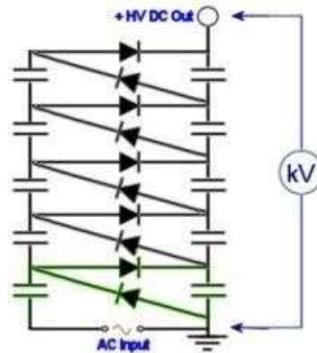
V_{in} = Tegangan *input* (V)

n = jumlah tingkatan

Ada 2 sirkuit *Cockroft-Walton*, setengah gelombang dan tegangan penuh. Jenis jaringan kedua memiliki jenis gelombang yang hampir sama dalam bentuk sinus, tetapi dalam jaringan nirkabel yang lengkap, tegangan keluarannya akan positif [23].



Gambar 2. 9 Rangkaian Cokroft-Walton Gelombang Penuh [24]



Gambar 2. 10 Rangkaian Cokroft-Walton Setengah Gelombang [24]

Nilai tegangan dari rangkaian *Cockroft-Walton* akan meningkat jika nilai frekuensi masukannya memiliki nilai yang lebih tinggi. Secara teori, nilai rata-rata tegangan *output* yang terjadi akan meningkat jika level rangkaian, frekuensi *input*, dan nilai kapasitansi kapasitor meningkat [25].

2.2.12. Generator Tegangan Tinggi DC

Pembangkit tegangan tinggi DC umumnya banyak digunakan dalam fisika terapan seperti peralatan dalam bidang nuklir, peralatan elektromedik, peralatan industri serta tabung TV. Kebutuhan bentuk tegangan, level tegangan dan besar arus serta kestabilan dari generator tegangan tinggi tersebut akan berbeda dari satu aplikasi dengan aplikasi yang lain [23].

DC tegangan tinggi banyak digunakan untuk pengujian dan pengujian isolator dan kapasitor seperti kabel dan kapasitor. Tegangan tinggi DC banyak digunakan pada peralatan kedokteran, instalasi elektrostatik, Fisika inti serta Elektrostatik precipitator (ESP).

Pada teknologi tegangan tinggi, generator tegangan DC biasanya dibuat dengan menyearahkan tegangan tinggi pada kedua sisinya menggunakan dioda selenium, germanium dan silikon. Dioda selenium besar, efisiensi rendah, dan kemampuan dioda terarah rendah. desain pembangkitan tegangan tinggi DC juga dapat dilakukan dengan beberapa metode lain seperti metode multiplier *Cockroft-Walton*, metode pengumpul, Metode Van Der Graff dan metode konverter *flyback*. Metode-metode tersebut sering digunakan karena rangkaiannya yang sangat sederhana [26].

BAB III

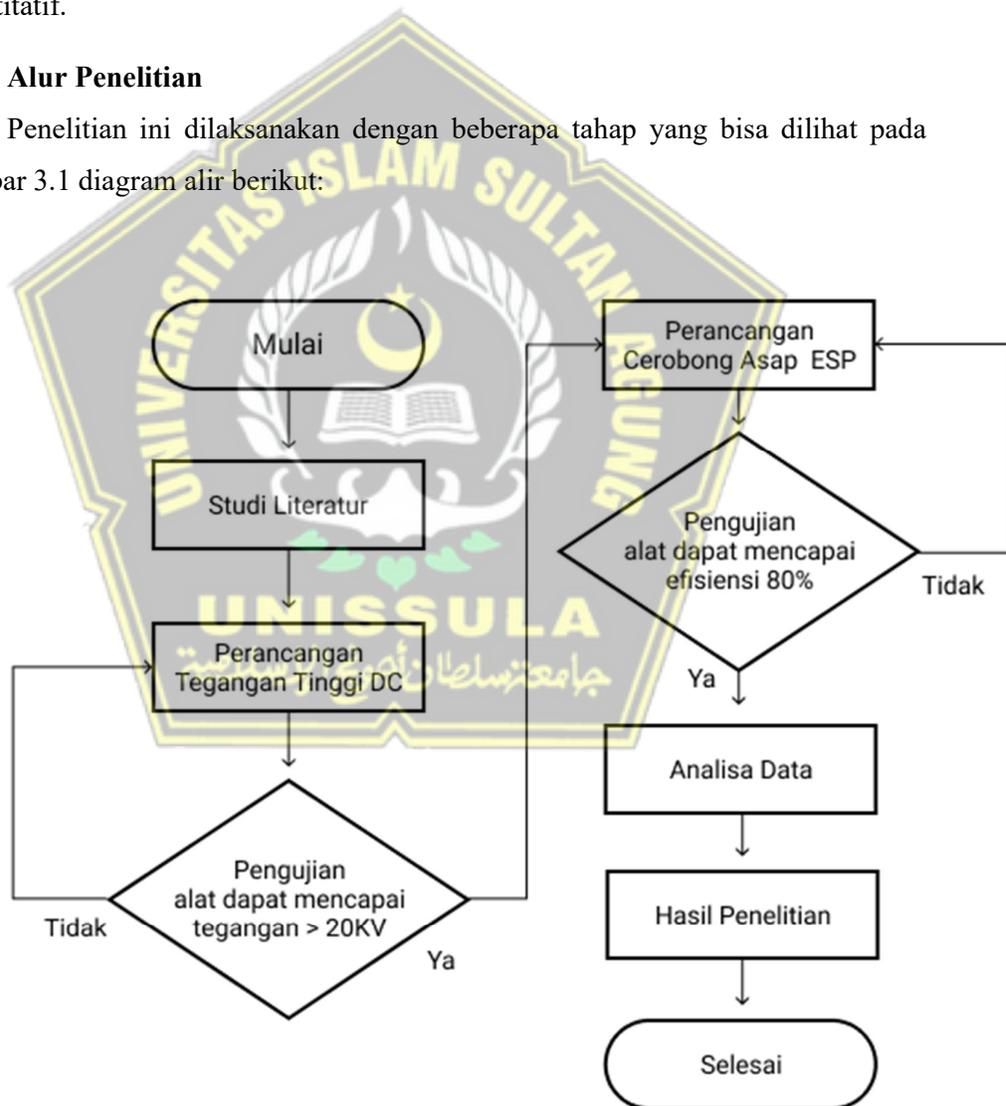
Metode Penelitian & Perancangan

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pada riset ini, dikerjakan di bulan November 2022 hingga bulan Juli 2023 di ruang riset teknik elektro FTI Unissula Semarang. Penelitian ini juga dilakukan di Laboratorium Kultur Sel IBL RSIGM Unissula sebagai tempat pengukuran kuantitatif.

3.2. Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa tahap yang bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram alir berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Dari gambar 3.1 dapat dilihat bahwa penelitian dimulai dengan studi literatur, Pada tahap ini Peneliti mempelajari teori dan cara kerja mengenai elektrostatis, ESP dan Generator tegangan tinggi dari berbagai sumber seperti buku, artikel, jurnal dan berbagai situs yang ada di Internet. Setelah itu peneliti melakukan perancangan tegangan tinggi DC. Selanjutnya tegangan tinggi DC akan diuji coba, ketika hasilnya keluaran tegangan tinggi DC < 20 KV maka akan dilakukan perakitan ulang dengan menggunakan model dan metode yang berbeda.

Selanjutnya setelah generator tegangan tinggi DC jadi, diteruskan dengan perakitan prototipe cerobong asap dengan metode ESP, untuk cerobong asap ESP efisiensi filter yang diinginkan adalah $>80\%$, ketika efisiensinya dapat tercapai, maka akan dibuat ulang dengan model yang berbeda tapi metode filternya sama.

Ketika perancangan telah selesai, maka melakukan analisa-analisa dari data yang diperoleh dari berbagai percobaan tentang variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja filter ESP pada cerobong asap. Sehingga hasil akhir dari penelitian ini akan berupa prototipe cerobong asap dengan filter ESP dan laporan. Untuk lebih detail mengenai tahap-tahap penelitian, akan dijelaskan sebagai berikut:

3.1.1 Studi Literatur

Metode studi literasi atau dikenal juga tinjauan pustaka adalah pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan dengan topik penelitian. Metode ini bertujuan untuk memahami penelitian sebelumnya, memperoleh pemahaman yang mendalam tentang topik penelitian, dan membangun kerangka teoritis yang kokoh. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam metode studi literasi:

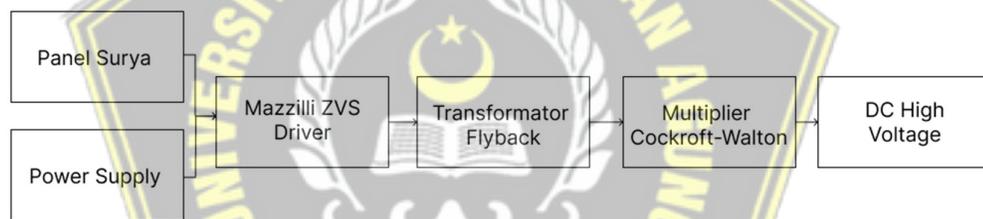
1. Menentukan tujuan dan cakupan studi literasi: Menentukan tujuan penelitian dan cakupan literatur yang ingin dieksplorasi. Mendefinisikan topik penelitian secara jelas untuk membatasi ruang lingkup studi literasi.
2. Mengidentifikasi sumber literatur: Menentukan sumber-sumber literatur yang akan digunakan, seperti jurnal ilmiah, buku, konferensi, laporan penelitian, atau sumber online. Memastikan sumber-sumber ini memiliki kredibilitas dan relevansi dengan topik penelitian.

3. Pencarian literatur: Melakukan pencarian literatur menggunakan basis data yang relevan, seperti PubMed, IEEE Xplore, atau Google Scholar. Menggunakan kata kunci yang relevan.

Metode studi literasi membantu peneliti untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang topik penelitian dan membangun kerangka teoritis yang solid. Dengan melibatkan literatur yang relevan, penelitian dapat diperkaya dan mendapatkan dukungan yang kuat dari penelitian sebelumnya.

3.1.2 Perancangan Generator DC *High voltage*

Pada perancangan Generator DC High Voltage dibagi menjadi 3 tahap, tahap perancangan rangkaian Mazzilli ZVS Driver, perancangan trafo *flyback* dan perancangan rangkaian multiplier *Cockroft-Walton*. Untuk blok diagram Generator DC *High voltage* adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Blok Diagram Generator DC *High voltage*

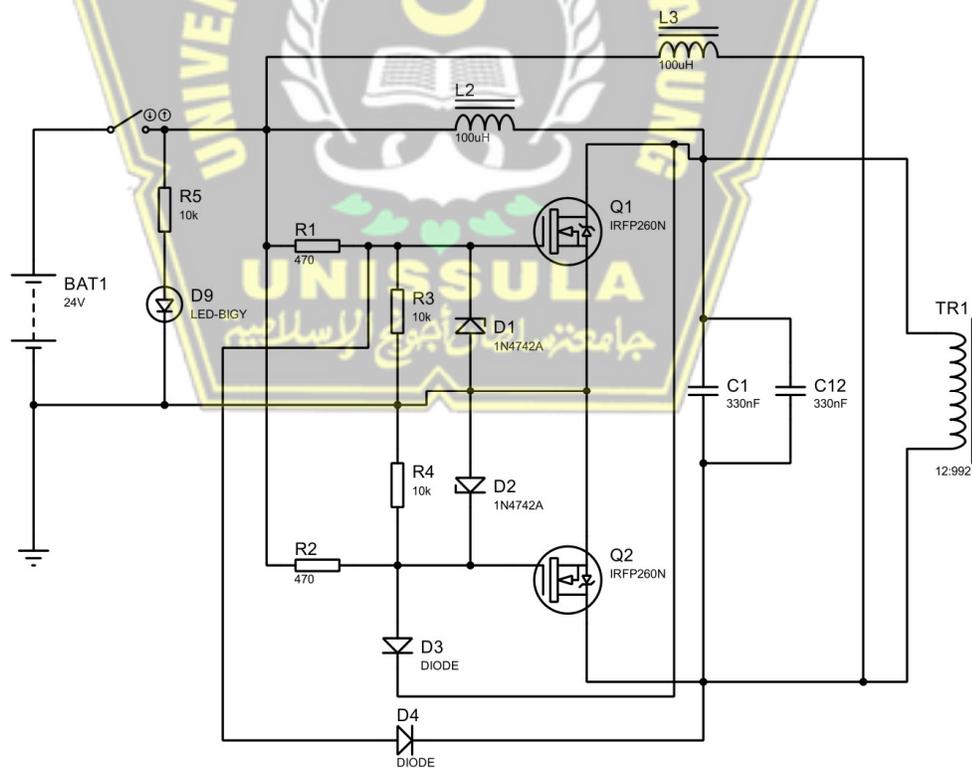
Dapat dilihat pada gambar 3.2, terdapat 2 sumber tegangan rangkaian, yaitu power supply dan panel surya. Untuk peralihan sumber tegangan akan menggunakan saklar COS (*Change Over Switch*), Sedangkan untuk Setiap rangkaian akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Rangkaian Mazzilli Zero Voltage Switching (ZVS) Driver

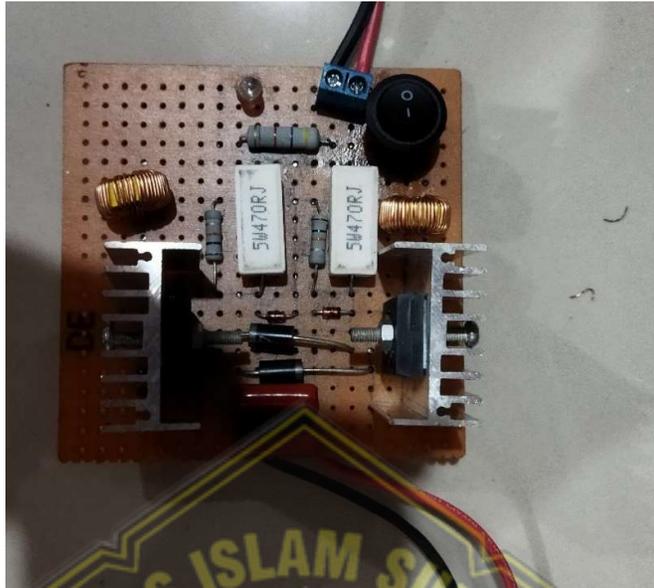
Pada rangkaian ZVS ini perlu memperhatikan parameter dan karakteristik beban induktif yang akan dikendalikan. Pemilihan komponen yang tepat dan pemahaman yang baik tentang prinsip kerja driver ini sangat penting untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dan menjaga keandalan sistem elektronik secara keseluruhan. Untuk komponen yang digunakan pada rangkaian ini adalah sebagai berikut :

- Power supply 12-24V
- 2 Resistor 470 Ω
- 3 Resistor 10k Ω
- 2 Induktor 100 uH.
- 2 kapasitor 330nF
- 2 Mosfet IRFP260N
- 2 Dioda Zener 1N4742A
- 2 Dioda FR307
- LED

Untuk skematik rangkaian dapat dilihat pada gambar 3.3, pada rangkaian ini menggunakan 2 induktor, Dengan penggunaan 2 induktor, rangkaian ZVS Mazzilli menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dan mengurangi kerugian daya yang disebabkan oleh distorsi harmonik [16].



Gambar 3. 3 Rangkaian Mazzilli ZVS Driver



Gambar 3. 4 Rangkaian Mazzilli ZVS Driver yang Telah Dibuat

Frekuensi osilasi yang tepat pada rangkaian ZVS Mazzilli driver juga penting untuk pengendalian switching transistor yang digunakan. Dengan menyesuaikan frekuensi osilasi, rangkaian ini dapat mengoptimalkan waktu switch transistor sehingga terjadi pada saat nol tegangan (Zero Voltage Switching). Hal ini membantu mengurangi kerugian daya dan panas yang disebabkan oleh switching transistor pada saat tegangan tinggi.

2. Transformator *Flyback*

Prinsip kerja transformator *Flyback* didasarkan pada siklus kerja yang disebut siklus pemantul (*flyback cycle*). Siklus ini terjadi saat transistor saklar yang terhubung pada primer transformator dinyalakan dan kemudian dimatikan, sehingga menghasilkan arus pulsasi melalui primer. Ketika transistor dimatikan, medan magnetik yang terbentuk di primer akan berubah tiba-tiba, dan energi di dalam medan magnetik ini akan dipindahkan ke sisi sekunder transformator. Proses ini menghasilkan tegangan *output* di sisi sekunder yang lebih tinggi atau lebih rendah, tergantung pada perbandingan lilitan antara primer dan sekunder.

Transformator *Flyback* biasanya dirancang dengan lilitan primer dan sekunder yang terpisah dan memiliki inti besi yang dapat menghasilkan medan

magnetik yang kuat. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan saat merancang transformator *Flyback* adalah perbandingan lilitan, arus, tegangan, efisiensi, dan karakteristik sirkuit yang diinginkan.

Pada umumnya trafo *flyback* pada TV terdapat dioda yang telah terintegrasi di dalamnya, sehingga tegangan yang dihasilkan berupa tegangan DC. Karena pada tahap ini, keluaran yang diinginkan berupa tegangan AC, maka pada transformator *flyback* TV tabung diambil inti feritnya dan untuk lilitan sekundernya diganti dengan menggunakan lilitan sekunder buatan yang *outputnya* dapat mengeluarkan tegangan AC.



Gambar 3. 5 Inti Ferit Transformator *Flyback*



Gambar 3. 6 Lilitan Sekunder

Pada umumnya trafo *flyback* pada TV terdapat dioda yang telah terintegrasi di dalam trafo *flyback*, sehingga tegangan yang dihasilkan berupa tegangan DC.



Gambar 3. 7 Inti Ferit Transformator *Flyback* dengan *Coil Ignition*

Pada lilitan sekunder, menggunakan kawat tembaga 0,4 mm dan nilon sebagai wadah lilitannya. Dan didapat jumlah lilitan 992. Untuk lapisan isolatornya digunakan resin epoxy. karena tegangan *output* pada transformator *flyback* adalah tegangan tinggi, maka untuk mengukur tegangannya harus dilakukan secara hati-hati.

3. Rangkaian Multiplier Cokroft-Walton

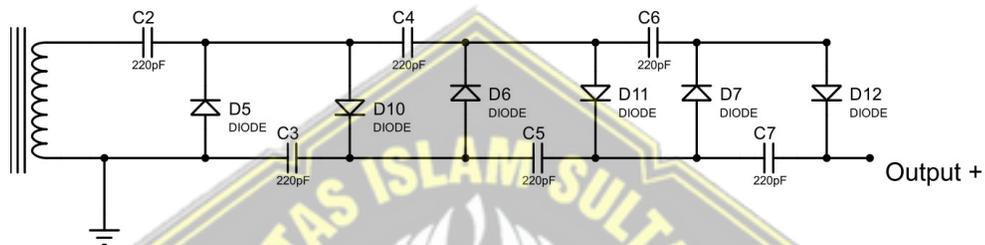
Prinsip kerja rangkaian multiplier *Cockroft-Walton* didasarkan pada penggunaan prinsip penumpukan tegangan melalui pengisian dan pengosongan kapasitor. Ketika tegangan masukan diterapkan pada rangkaian, diode akan mengisi kapasitor pada setiap tingkat. Kemudian, ketika tegangan masukan berubah polaritas atau tegangan dioda melebihi tegangan kapasitor, kapasitor akan melepaskan energi yang disimpannya dan memberikan tegangan keluaran yang lebih tinggi.

Pemilihan nilai kapasitor dan diode yang tepat, serta perancangan yang hati-hati dari rangkaian, sangat penting untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Selain itu, penggunaan diode dengan kemampuan tinggi dalam menangani tegangan dan arus yang tinggi juga diperlukan.

Pada rangkaian multiplier Cokroft-Walton, menggunakan rangkaian 3 tingkat. Untuk komponennya terdiri dari:

- 8 Kapasitor 220 pF
- 8 Dioda HV

Untuk skema rangkaian dapat dilihat pada gambar 3.6:



Gambar 3. 8 Skema Rangkaian Cokroft-Walton 3 tingkat

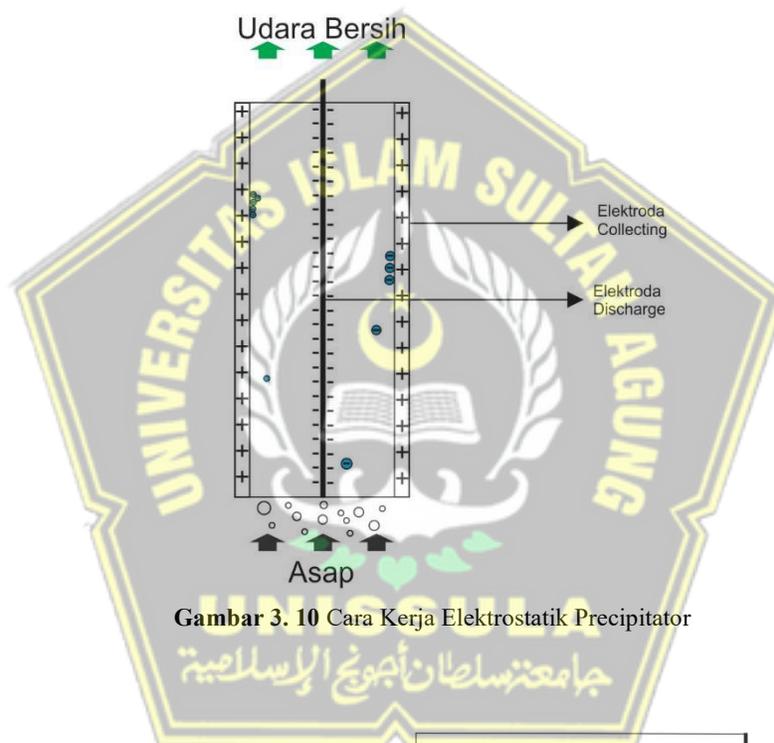


Gambar 3. 9 Rangkaian Cokroft-Walton 3 tingkat

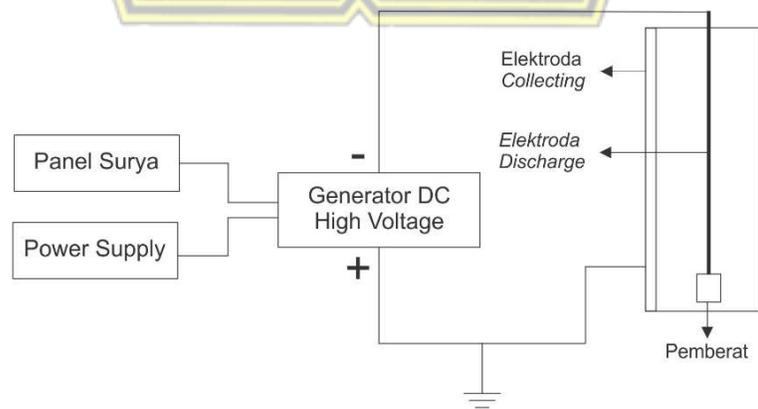
Untuk mengetahui tegangan *output* yang dihasilkan, dapat menggunakan cara yang sama seperti pada pengukuran transformator *flyback*.

3.1.3 Perancangan Cerobong Asap ESP

Cerobong asap akan menggunakan metode elektrostatic precipitator (ESP) dalam memfilter asap hasil pembakaran. ESP adalah sebuah perangkat yang dirancang untuk mengurangi polusi udara dengan menggunakan prinsip elektrostatik. Dalam perancangannya, elektrostatic precipitator menggunakan dua elektroda yaitu elektroda *discharge* dan elektroda *collecting*. Elektroda *discharge* bermuatan negatif dan elektroda *collecting* bermuatan positif.



Gambar 3. 10 Cara Kerja Elektrostatik Precipitator



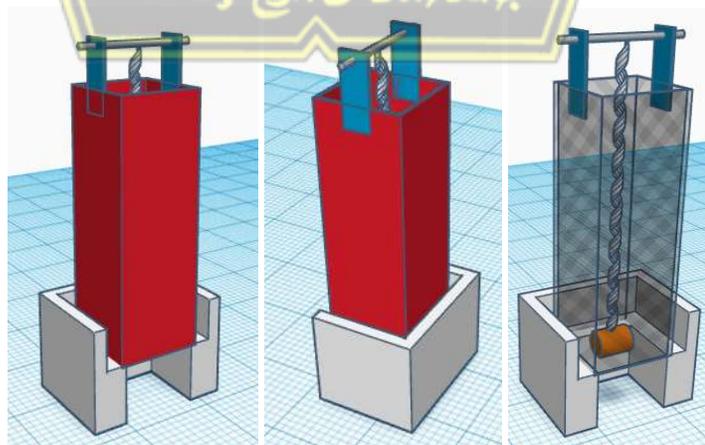
Gambar 3. 11 Diagram Blok Elektrostatik Precipitator

Perancangan elektrostatis precipitator melibatkan pemilihan material yang tahan terhadap lingkungan yang korosif, serta perhitungan dan pemilihan tegangan operasional yang sesuai untuk memastikan efisiensi pengumpulan partikel polutan yang optimal. Selain itu, perancangan juga harus mempertimbangkan aliran udara yang diatur sedemikian rupa agar partikel-partikel polutan dapat tertangkap dengan efektif.

1. Perancangan Desain Cerobong Asap ESP

Pada perancangan desain cerobong asap ESP, desain dibuat menggunakan platform thinkercad. Thinkercad adalah sebuah platform desain 3D dan pemrograman yang populer dan mudah digunakan. Thinkercad adalah alat yang sangat populer di kalangan pendidik dan hobiis karena antarmuka yang intuitif, keberadaan komunitas yang aktif, dan kemudahan penggunaannya. Hasil dari desain cerobong electrostatis adalah sebagai berikut:

- Cerobong asap berbentuk balok
- Desain cerobong berbentuk balok tanpa tutup atas dan bawah
- Elektroda *Collecting* (*Collecting plate*) berupa plat aluminium yang dilipat menjadi bentuk balok tanpa tutup.
- Elektroda *discharge* berupa lilitan yang dikasih pemberat dibawahnya untuk mencegah tarikan yang ditimbulkan oleh gaya elektrostatis.
- Bawah cerobong terdapat tungku sebagai tempat pembakaran



Gambar 3. 12 Desain Elektrostatis Precipitator (ESP) pada Thinkercad

2. Perancangan Mekanik Cerobong Asap ESP

Perancangan mekanik dimulai dari pembuatan bentuk cerobong menggunakan plat alumunium dengan tebal 0.8 mm sesuai dengan desain cerobong. Cerobong dibuat sebanyak 7 buah dengan dengan lebar yang berbeda tapi tinggi cerobong sama. Untuk tinggi semua cerobong adalah 30 cm, sedangkan untuk lebar cerobong pada masing-masing cerobong adalah 7, 8, 9, 10, 11,12,13 cm. Dibagian atas cerobong diberi akrilik sebagai penyangga elektroda discharge.



Gambar 3. 13 Prototipe Cerobong Asap Beserta Elektroda dengan Alumunium

Selanjutnya, pembuatan tungku pembakaran menggunakan hebel yang berbentuk seperti desain pada thinkercad, dibagian tengah terdapat plat alumunium agar abu hasil pembakaran tidak berserakan. Untuk ukuran dimensi tungku pembakaran adalah 32 x 35 x 20 cm.



Gambar 3. 14 Tungku Pembakaran yang Dibuat

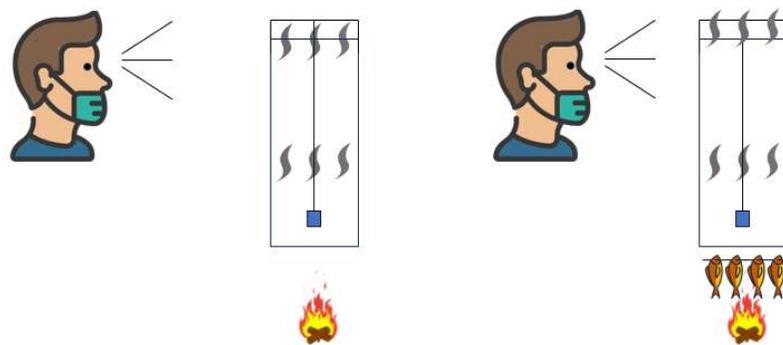
Kemudian, elektroda *discharge* dibuat menggunakan kawat besi yang dililitkan. Pada bagian bawah elektroda *discharge* diberi pemberat agar tidak tertarik ke elektroda *collecting*.

3.1.4 Pengujian Cerobong Asap ESP

Sebelum pengujian dilakukan, peneliti memastikan untuk mengikuti pedoman keselamatan yang tepat dikarenakan penggunaan tegangan tinggi yang berbahaya. Mematikan sumber listrik dan memastikan bahwa ESP sudah dinyalakan cukup lama untuk mencapai kondisi operasional yang stabil.

Disiapkan beberapa alat yang diperlukan seperti watt meter, penggaris dan timbangan. Alat-alat ini diperlukan untuk mengukur seberapa efisien kinerja cerobong asap ESP. Untuk menghitung efisiensi kinerja cerobong asap ESP dapat menggunakan persamaan 2.15. Pada pengujian ini akan dilakukan 2 jenis pengujian yaitu pengujian kualitatif dan pengujian kuantitatif.

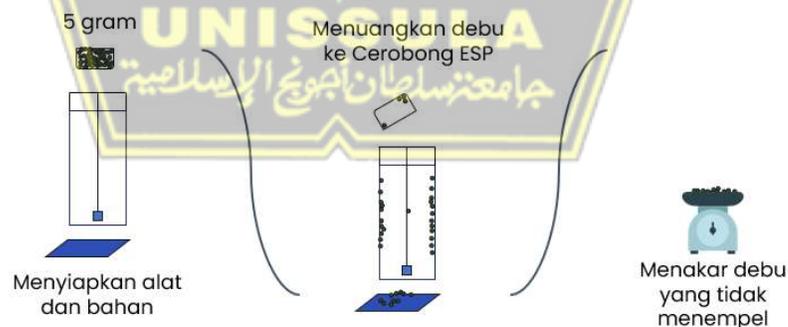
Pengujian pertama atau pengujian dasar, pengujian ini memastikan bahwa cerobong ESP dapat melakukan penyerapan asap dengan mengamati asap yang keluar sebelum tegangan tinggi cerobong ESP dinyalakan dan setelah dinyalakan. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menggunakan ikan di atas pembakaran, hal ini dilakukan untuk mengamati pengaruh kinerja cerobong ESP terhadap asap yang mengandung minyak ikan. Pengujian ini dilakukan dengan mengubah-ubah variabel tegangan *input* sampai didapat asap pada cerobong hilang. Pada pengujian ini dilakukan secara kualitatif.



Gambar 3. 15 Alur Pengambilan Data Kualitatif Cerobong Asap ESP

Pengujian selanjutnya, karena keterbatasan alat yang ada di lab, pengujian ini dilakukan dengan menaburkan debu arang pembakaran yang telah ditakar dengan berat 5 gram kemudian ditaburkan ke cerobong ESP melalui bagian atas cerobong, debu yang tidak menempel pada cerobong ESP diambil dan ditakar lagi, hasil dari debu yang menempel pada cerobong ESP adalah selisih antara debu sebelum ditaburkan ke cerobong dan debu yang tidak menempel pada cerobong. Untuk ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 3.16. Untuk menghitung efisiensi dari cerobong ESP dapat menggunakan persamaan 2.15. Tegangan *input* pada cerobong asap akan di ubah-ubah dari 12 - 24 Volt. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tegangan terhadap kinerja cerobong ESP. pengujian ini dilakukan sebanyak 7 kali pada masing-masing tegangan yang berbeda. Pada pengujian ini akan didapat data kuantitatif.

Kemudian pengujian jarak antar elektroda, cara pengujian ini hampir sama dengan pengujian kedua, namun pada pengujian ini, jarak antar elektroda *discharge* dan elektroda *collecting* akan menjadi variabel kontrol. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak antar elektroda terhadap kinerja cerobong ESP. untuk menghitung jarak antar elektroda dapat menggunakan persamaan 2.6.



Gambar 3. 16 Alur Pangambilan Data Kuantitatif Cerobong Asap ESP

3.1.5 Hasil Penelitian

Tugas akhir rancang bangun prototipe adalah penelitian akademik yang bertujuan untuk mengembangkan suatu produk atau sistem yang memecahkan masalah tertentu atau memenuhi kebutuhan spesifik. Hasil penelitian ini akan

berupa prototipe cerobong asap ESP serta laporan tugas akhir. Prototipe ini akan menjadi model awal untuk memvalidasi ide, desain, dan kinerja produk yang diusulkan.



BAB IV

Pengujian dan Pembahasan

4.1. Pengukuran Tegangan Tinggi DC

Pada pengukuran tegangan tinggi DC ini, digunakan resistor divider dengan jumlah resistor sebanyak 53 buah. Setiap resistor memiliki nilai yang sama yaitu $1M\Omega$. Pengukuran dilakukan pada 2 *output* tegangan rangkaian, yaitu *output* tegangan *flyback converter* dan *output* tegangan rangkaian *Cockroft-Walton*. Untuk mengetahui tegangan tinggi yang dihasilkan oleh rangkaian, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

Hasil dari pengukuran *output* tegangan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran pada *Flyback Converter*

| No | Tegangan Input (V) | Arus Input (A) | Tegangan Pembagi (V) | Tegangan Output (V) |
|----|--------------------|----------------|----------------------|---------------------|
| 1 | 12 | 0.42 | 44.4 | 2353.2 |
| 2 | 13 | 0.48 | 47.7 | 2528.1 |
| 3 | 14 | 0.53 | 52 | 2756 |
| 4 | 15 | 0.59 | 58.2 | 3084.6 |
| 5 | 16 | 0.63 | 62.5 | 3312.5 |
| 6 | 17 | 0.69 | 68.58 | 3634.74 |
| 7 | 18 | 0.75 | 70 | 3710 |
| 8 | 19 | 0.77 | 73 | 3869 |
| 9 | 20 | 0.8 | 77 | 4081 |
| 10 | 21 | 0.85 | 82.5 | 4372.5 |
| 11 | 22 | 0.9 | 85.4 | 4526.2 |
| 12 | 23 | 0.92 | 94.1 | 4987.3 |
| 13 | 24 | 0.98 | 99 | 5247 |

Dari hasil pengukuran diatas, dapat dilihat bahwa dengan tegangan *input* 12 volt dapat menghasilkan tegangan *output* 2353.2 volt. Sedangkan untuk tegangan *input* 24 volt didapat tegangan *output* 5247 volt.

Untuk hasil pengukuran tegangan *output* rangkaian Cokroft-Walton dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Rangkaian *Cockroft-Walton* 3 Tingkat

| No | Tegangan Input (V) | Arus Input (A) | Tegangan Pembagi (V) | Tegangan Output (KV) |
|----|--------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 12 | 0.69 | 209.43 | 11.1 |
| 2 | 13 | 0.75 | 228.30 | 12.1 |
| 3 | 14 | 0.83 | 249.06 | 13.2 |
| 4 | 15 | 0.91 | 264.15 | 14 |
| 5 | 16 | 0.97 | 284.91 | 15.1 |
| 6 | 17 | 1.06 | 305.66 | 16.2 |
| 7 | 18 | 1.12 | 322.64 | 17.1 |
| 8 | 19 | 1.19 | 339.62 | 18 |
| 9 | 20 | 1.25 | 360.38 | 19.1 |
| 10 | 21 | 1.34 | 381.13 | 20.2 |
| 11 | 22 | 1.39 | 398.11 | 21.1 |
| 12 | 23 | 1.45 | 418.87 | 22.2 |
| 13 | 24 | 1.5 | 437.74 | 23.2 |

Dari hasil pengukuran yang dilakukan, pada tegangan *input* 12 V, tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian adalah 11.1 KV sedangkan pada tegangan *input* 24 V, tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian dapat mencapai 23.2 KV.

4.2. Pengujian Dasar

Pengujian ini merupakan pengujian kualitatif. Pengujian dasar ini dilakukan untuk mengetahui model cerobong asap ESP dapat menangkap partikel-partikel pada asap. Hal ini dilakukan untuk melakukan pengujian awal terhadap prototipe dan memastikan prototipe bekerja dengan baik. Pengujian ini menggunakan prototipe cerobong dengan ukuran 11 x 11 cm dengan tinggi 30 cm.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Dasar Cerobong Asap ESP

| No | Tegangan Input (V) | Asap pada Cerobong | Asap dengan ikan pada Cerobong |
|----|--------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 | 12 | Tampak | Tampak |
| 2 | 14 | Tampak | Tampak |
| 3 | 16 | Hilang | Hilang |
| 4 | 18 | Hilang | Hilang |
| 5 | 20 | Hilang | Hilang |
| 6 | 22 | Hilang | Hilang |
| 7 | 24 | Hilang | Hilang |



Gambar 4. 1 Kondisi Cerobong Tanpa Ikan Pada Tegangan *Input* 12 V



Gambar 4. 2 Kondisi Cerobong Tanpa Ikan Pada Tegangan *Input* 16 V



Gambar 4.3 Kondisi Cerobong Dengan Ikan pada Tegangan *Input* 12 V



Gambar 4.4 Kondisi Cerobong Dengan Ikan pada Tegangan *Input* 16 V

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui pada prototipe cerobong asap ESP dengan ukuran 11x11 cm dengan tinggi 30 cm tegangan *input*

yang diperlukan untuk menghilangkan partikel asap adalah > 16 volt. Sedangkan untuk tegangan *input* 12 volt. Asap pada cerobong masih tampak.

Pada pengujian menggunakan ikan, hasilnya hampir sama dengan pengujian tanpa ikan dimana asap hilang karena terserap oleh cerobong ketika tegangan *input* > 16 volt. Pada saat tegangan *input* 12 volt, asap masih keluar dari cerobong.

4.3. Pengujian Pengaruh Tegangan *Input* Terhadap Efisiensi Kinerja Cerobong Asap ESP

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh besar tegangan *input* terhadap efisiensi kinerja cerobong asap ESP. Dalam pengujian ini, variasi *input* tegangan yang diberikan pada elektroda diubah untuk melihat bagaimana perubahan tegangan tersebut mempengaruhi kinerja pengumpulan partikel polutan oleh ESP. Untuk prototipe cerobong menggunakan ukuran 13 x 13 cm dengan tinggi 30 cm. Untuk menentukan efisiensi ESP dapat menggunakan persamaan 2.15.

Diketahui data pengukuran efisiensi ESP adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Debu yang Tidak Menempel pada Tegangan 12 V

| No | Debu yang tidak Menempel (gram) | Debu yang Menempel (gram) |
|----|---------------------------------|---------------------------|
| 1 | 1.7406 | 3.2594 |
| 2 | 1.6833 | 3.3167 |
| 3 | 1.6337 | 3.3663 |
| 4 | 0.8027 | 4.1973 |
| 5 | 1.3095 | 3.6905 |
| 6 | 1.7362 | 3.2638 |
| 7 | 1.5326 | 3.4674 |

Sehingga nilai \bar{C}_t yang didapat adalah sebagai berikut:

$$\bar{C}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (Ct)_i}{n}$$

$$\bar{C}_t = \frac{1.7406 + 1.6833 + 1.6337 + 0.8027 + 1.3095 + 1.7362 + 1.5326}{7}$$

$$\bar{C}_t = 1.49 \text{ gram}$$

Karena debu yang digunakan adalah 5 gram, sehingga untuk menghitung nilai debu yang menempel elektroda *collecting* adalah sebagai berikut:

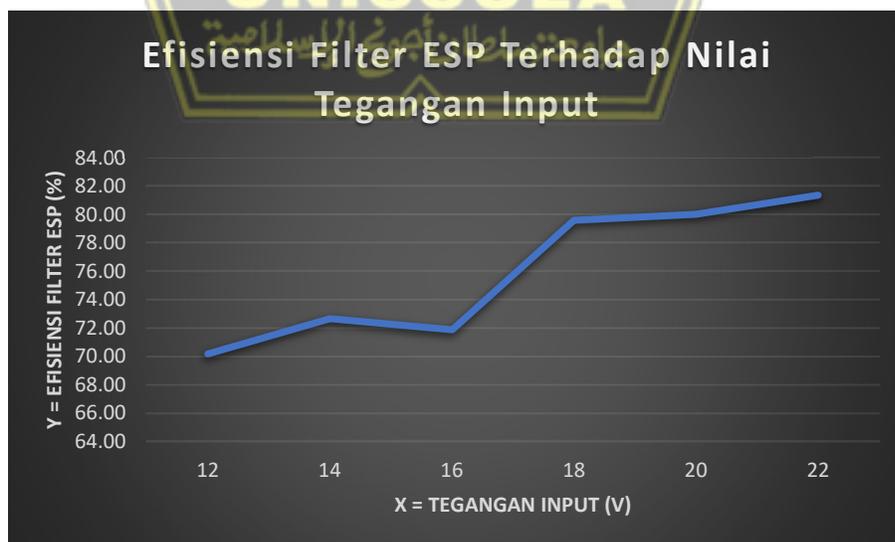
$$\begin{aligned} C_m &= \bar{C}_o - \bar{C}_t \\ &= 5 - 1.49 \\ &= 3.51 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sehingga nilai efisiensi filter ESP didapat dari perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Filter ESP} &= \frac{C_m}{C_o} \times 100 \\ &= \frac{3.51}{5} \times 100 \\ &= 70.18 \% \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pengaruh Tegangan *Input* Terhadap Efisiensi ESP

| No | Tegangan <i>Input</i> (Volt) | Arus <i>Input</i> (A) | Debu yang tidak Menempel (gram) | Debu yang menempel (gram) | Efisiensi Filter ESP (%) |
|----|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 12 | 0.58 | 1.49 | 3.51 | 70.18 |
| 2 | 14 | 0.8 | 1.37 | 3.63 | 72.66 |
| 3 | 16 | 0.9 | 1.41 | 3.59 | 71.88 |
| 4 | 18 | 1.39 | 1.02 | 3.98 | 79.58 |
| 5 | 20 | 1.22 | 1.00 | 4.00 | 80.04 |
| 6 | 22 | 1.39 | 0.93 | 4.07 | 81.38 |



Gambar 4. 5 Grafik Efisiensi Cerobong Asap ESP Terhadap Perubahan Nilai Tegangan *Input*

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui semakin besar tegangan *input* maka arus *input* juga semakin besar begitu juga pada kinerja efisiensi ESP, semakin besar tegangan *input* yang diberikan maka efisiensi kinerja cerobong asap ESP akan meningkat. Pada tegangan *input* 12V kinerja efisiensi ESP mencapai 70.18% sedangkan pada tegangan *input* 22V kinerja efisiensinya naik hingga 81.38%. Peningkatan ini dikarenakan tegangan tinggi dapat meningkatkan proses ionisasi dan pengumpulan partikel secara signifikan dan memperkuat tarikan pada elektroda *collecting*. Namun penting untuk diingat bahwa peningkatan tegangan harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai batas yang ditentukan untuk menghindari percikan listrik berlebihan yang dapat mengurangi efisiensi kinerja filter elektrostatis precipitator.

4.4. Pengujian Jarak antara Elektroda *Discharge* dan Elektroda *Collecting* Terhadap Efisiensi Kinerja ESP

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jarak antar elektroda terhadap efisiensi kinerja cerobong asap ESP dalam menyerap asap. Besar tegangan *input* yang digunakan tetap yaitu 14 Volt, takaran debu arang yang digunakan adalah 5 gram dan tinggi cerobong asap ESP adalah 30 cm. Dalam pengujian ini, variasi jarak antara elektroda *discharge* dan elektroda *collecting* diubah untuk melihat bagaimana perubahan jarak tersebut mempengaruhi efisiensi pengumpulan partikel polutan oleh cerobong asap ESP.

Dalam menentukan nilai jarak antar elektroda dapat menggunakan persamaan 2.6.

Contoh untuk menentukan nilai jarak antar elektroda dan luas area elektroda *collecting* adalah sebagai berikut:

Diketahui : $l = 8 \text{ cm}$

$p = 30 \text{ cm}$

$n = 4$

Dicari : $A \dots?, r \dots?$

$$r = \frac{1}{2}l - 0.25$$

$$= \frac{1}{2}8 - 0.25$$

$$= 3.75 \text{ cm}$$

sedangkan untuk menentukan nilai luas area elektroda *collecting* dapat menggunakan persamaan 2.9, dan hasilnya adalah sebagai berikut:

$$A = p \times l \times n$$

$$= 30 \times 8 \times 4$$

$$= 960 \text{ cm}^2$$

Dalam menghitung nilai efisiensi ESP sama pada pengujian pengaruh tegangan terhadap efisiensi ESP dimana menggunakan persamaan 2.15, Untuk menghitung kinerja efisiensi ESP, Didapat data pengukuran C_t adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Debu yang Tidak Menempel pada Cerobong Ukuran 8

| No | Debu yang tidak Menempel (gram) | Debu yang Menempel (gram) |
|----|---------------------------------|---------------------------|
| 1 | 0.7492 | 4.2508 |
| 2 | 0.8075 | 4.1925 |
| 3 | 0.5064 | 4.4936 |
| 4 | 0.4097 | 4.5903 |
| 5 | 0.9756 | 4.0244 |
| 6 | 0.6266 | 4.3734 |
| 7 | 0.7407 | 4.2593 |

$$\bar{C}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_t)_i}{n}$$

$$\bar{C}_t = \frac{0.7492 + 0.8075 + 0.5064 + 0.4097 + 0.9756 + 0.6266 + 0.7407}{7}$$

$$= 0.69 \text{ gram}$$

Karena debu yang digunakan adalah 5 gram, sehingga untuk menghitung nilai debu yang menempel pada elektroda *collecting* adalah sebagai berikut:

$$C_m = \bar{C}_o - \bar{C}_t$$

$$= 5 - 0.69$$

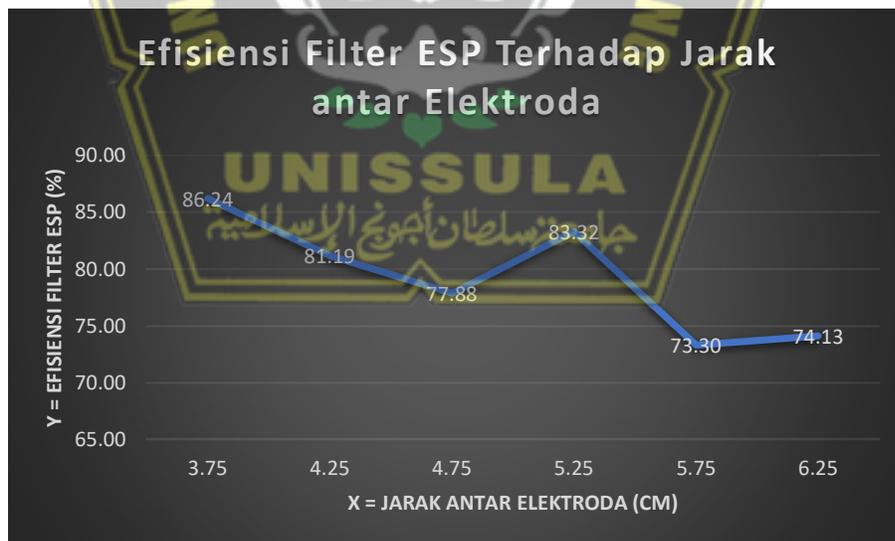
$$= 4.31 \text{ gram}$$

Sehingga nilai efisiensi ESP didapat dari perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Filter ESP} &= \frac{C_m}{C_o} \times 100 \\ &= \frac{4.31}{5} \times 100 \\ &= 86.24\% \end{aligned}$$

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Jarak antar Elektroda terhadap Kinerja ESP

| No | Lebar Elektroda Collecting (cm) | Jarak Elektroda (cm) | Area Elektroda Collecting (cm ²) | Debu yang tidak Menempel (gram) | Debu yang menempel (gram) | Efisiensi Filter ESP (%) |
|----|---------------------------------|----------------------|--|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 8 | 3.75 | 960 | 0.69 | 4.31 | 86.24 |
| 2 | 9 | 4.25 | 1080 | 0.94 | 4.06 | 81.19 |
| 3 | 10 | 4.75 | 1200 | 1.11 | 3.89 | 77.88 |
| 4 | 11 | 5.25 | 1320 | 0.83 | 4.17 | 83.32 |
| 5 | 12 | 5.75 | 1440 | 1.33 | 3.67 | 73.30 |
| 6 | 13 | 6.25 | 1560 | 1.29 | 3.71 | 74.13 |

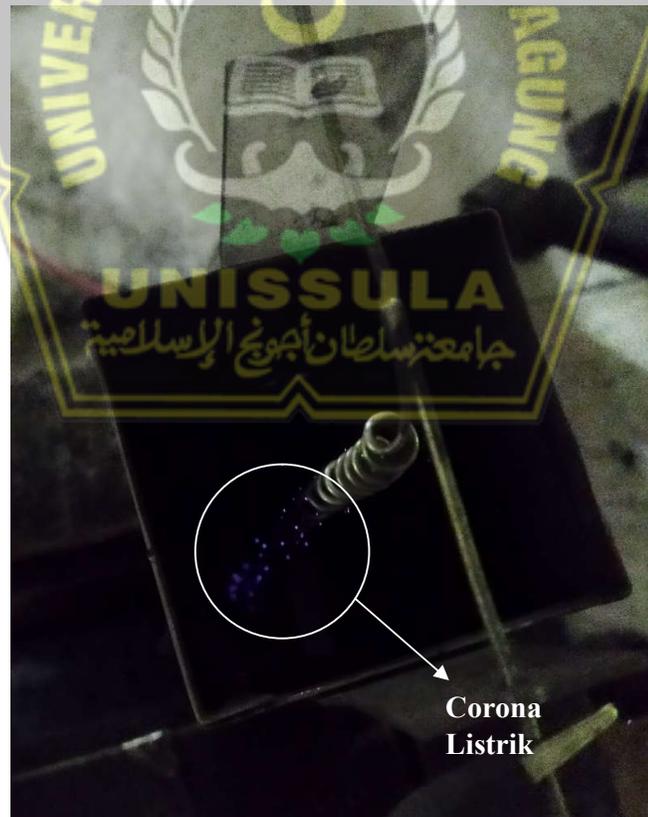


Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Cerobong Asap ESP Terhadap Jarak antar Elektroda

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak antar elektroda *discharge* dan elektroda *collecting* maka efisiensi kinerja

cerobong asap ESP akan menurun. Penurunan ini karena ketika jarak antar elektroda diperkecil, medan elektrostatis yang dihasilkan menjadi lebih kuat dan lebih fokus. Hal ini berarti partikel-partikel bermuatan akan lebih tertarik dan tertangkap oleh elektroda *collecting*. Sebaliknya, ketika jarak antar elektroda diperbesar, medan elektrostatis yang dihasilkan akan menjadi lebih lemah dan kurang fokus. Akibatnya, efisiensi penangkapan partikel akan menurun karena partikel-partikel bermuatan tidak tertarik dengan kuat ke elektroda *collecting*. Pada jarak 3.75 cm kinerja efisiensi ESP mencapai 86.24% sedangkan pada jarak 6.25 cm kinerja efisiensi ESP turun hingga 74.13%.

Walaupun luas efektif elektroda *collecting* bertambah seiring melebarnya cerobong asap ESP, jarak antar elektroda lebih berpengaruh terhadap kinerja efisiensi ESP. Akan tetapi pada jarak 3.75 cm muncul korona listrik yang pada elektroda *discharge*. Dimana itu menandakan korona ini banyak ion yang membantu proses pengion partikel lebih efisien.



Gambar 4. 7 Corona Listrik pada Elektroda *Discharge*

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan cerobong asap elektrostatis precipitator (ESP) perlu mempertimbangkan ukuran fisik cerobong asap ESP yang sesuai, termasuk luas permukaan elektroda, tegangan tinggi yang diperlukan dan jarak antara elektroda. Hal ini harus dipertimbangkan dengan memperhitungkan laju aliran gas yang akan diolah.
2. Pada tegangan *input* 12 V, tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian adalah 11.1 KV sedangkan pada tegangan *input* 24 V, tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian dapat mencapai 23.2 KV.
3. Pada tegangan *input* 12V kinerja efisiensi ESP mencapai 70.18% sedangkan pada tegangan *input* 22V kinerja efisiensinya naik hingga 81.38%..
4. Pada jarak 3.75 cm kinerja efisiensi ESP mencapai 86.24% sedangkan pada jarak 6.25 cm kinerja efisiensi ESP turun hingga 74.13%.

5.2. Saran

Saran untuk pengembangan cerobong asap ESP lebih lanjut:

1. Karena cerobong asap ESP ini bertujuan untuk menghilangkan asap, Untuk pengukuran efisiensi cerobong asap ESP, gunakan alat ukur *particel counter* untuk mengukur kadar PM2.5 dan PM10 sehingga pengukuran efisiensi dengan asap dapat dilakukan secara kuantitatif.
2. Memperhatikan standar keamanan yang berlaku saat merancang dan mengoperasikan cerobong asap ESP dikarenakan penggunaan tegangan tinggi pada cerobong.
3. Ketika merancang tegangan tinggi, perhatikan penggunaan isolator yang sesuai karena banyak jenis isolator yang hanya mampu menahan tegangan diatas 15kV seperti kayu, kramik dan batako sedangkan untuk isolator yang mampu menahan diatas tegangan tersebut adalah akrilik dan pipa pvc.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Hartati, L. Kurniasari, D. Darmanto, and H. Hasan, "Penguatan Usaha Pengasapan Ikan 'Sido Makmur' Ketapang Kabupaten Kendal," *Maj. Ilm. MOMENTUM*, vol. 9, no. 2, 2013.
- [2] J. Abidin and F. A. Hasibuan, "Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara," *Pros. SNFUR-4, Pekanbaru*, vol. 7, 2019.
- [3] F. C. Dewi and P. N. Prabamurti, "Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Perilaku Pekerja Dalam Penggunaan APD di Sentra Pengasapan Ikan Kelurahan Bandarharjo Kota Semarang," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 5, no. 5, pp. 1000–1009, 2017.
- [4] D. D. P. Ridayanti, K. Khambali, and H. Suryono, "Risiko Paparan Debu/Particulate Matter (PM_{2,5}) Terhadap Kesehatan Masyarakat (Studi Kasus: Tempat Pembuatan Batu Bata di Desa Kaloran, Kecamatan Ngronggot, Nganjuk)," *J. Penelit. Kesehatan "SUARA FORIKES" (Journal Heal. Res. Forikes Voice)*, vol. 13, no. 2, pp. 437–443, 2022.
- [5] H. F. Said, "Perancangan Alat Pembangkit Tegangan Tinggi Flyback Transformator pada Aplikasi Pengendap Debu Berbasis Mikrokontroler Atmega328," *Univ. Sumatera Utara*, p. 75, 2019, [Online]. Available: <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/23400>.
- [6] A. H. Hanif, "Pengaruh Voltase Dan Kerapatan Wire Mesh Electrostatic Precipitator Terhadap Efisiensi Filtrasi Udara Dan Kualitas Air Hasil Produksi Atmospheric Water Maker," UNNES, 2019.
- [7] F. A. Rayvaldo, "Pengembangan Filter Partikulat Pm_{0.1} Berbasis Elektrostatis Tegangan Rendah Arus Ac Untuk Sistem Pembuangan Emisi Sepeda Motor." Universitas Brawijaya, 2018.
- [8] G. Suhariyono and M. Wiyono, "Distribusi Diameter Partikel Debu PM₁₀ dan PM_{2,5} dalam Udara Sekitar Kawasan Pabrik Semen Citeureup Bogor," *Aspek Keselam. Radiasi dan Lingkung. pada Ind. Non-Nuklir [Internet]. Jakarta Int. Nucl. Inf. Syst.*, pp. 161–173, 2003.
- [9] G. Gianto, M. S. Suraatmadja, and E. Kurniawan, "Perancangan dan Implementasi Pengendap Debu Dengan Tegangan Tinggi Secara Elektrostatik," *eProceedings Eng.*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [10] S. Arba and M. Mustafa, "Efektifitas Alat Filtrasi Sederhana Berbahan Pelepeh Pisang dalam Menurunkan PM_{2.5} dan PM₁₀ pada Rumah Pengasapan Ikan di Kota Ternate," *J. Kesehat.*, vol. 15, no. 1, pp. 67–71, 2022.

- [11] “Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara Ditjen PPKL KLHK.” <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia> (accessed May 29, 2023).
- [12] A. Fitrianto and I. Alfi, “Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (Esp) Berdasarkan Hasil Dari Perubahan Emisi Pada Power Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi Kasus Di Pltu Lestari Banten Energy).” University of Technology Yogyakarta, 2018.
- [13] R. A. Wiranata, M. S. Muntini, and D. Anggoro, *Rancang Bangun Electrostatic Precipitator Sebagai Salah Satu Subsistem Dalam Penangkapan Hasil Partikel Spray Pyrolysis*, vol. 11. Surabaya: ITS, 2017.
- [14] M. N. Rofandi, “Sistem Kerja Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Menangkap Abu Hasil Proses Pembakaran di PLTU PT. Dian Swastatika Sentosa Serang Power Plant,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 376–386, 2022.
- [15] Y. Rizal, “Analisis Electrostatic Precipitator (ESP) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Recovery Boiler,” *J. APTEK*, vol. 7, no. 1, pp. 61–72, 2015.
- [16] D. A. Hapidin, I. Saleh, and M. M. Munir, “Design and development of a series-configuration mazzilli zero voltage switching *flyback* converter as a high-voltage power supply for needleless electrospinning,” *Procedia Eng.*, vol. 170, pp. 509–515, 2017.
- [17] Y. H. Saragi, A. Syakur, and H. Afrisal, “Perancangan Pembangkitan Tegangan Tinggi Dc Dengan Trafo *Flyback*,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 4, pp. 597–604, 2020.
- [18] K. M. Habsari and D. J. D. HS, “Metode *Flyback* pada Pembangkitan Tegangan Tinggi untuk Aplikasi Plasma Electrolytic Oxidation,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 3, pp. 374–379, 2017.
- [19] A. Singhasathein *et al.*, “Design and construction of 30 kV *high voltage* generator using fly-back converter,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 781, pp. 361–365, 2015.
- [20] M. Engelhardt, “Using Transformers in LTspice/SwitcherCAD III,” *Linear Technol. Mag.*, pp. 23–24, 2006.
- [21] I. Gianto, M. Sarwoko, and S. T. Ekki Kurniawan, “Perancangan Dan Implementasi Pengendap Debu Dengan Tegangan Tinggi Secara Elektrostatik Design And Implementation Settling Dust In The *High voltage* Electrostatic,” *eProceedings Eng.*, vol. 2, no. 2, 2015.

- [22] H. N. K. Ningrum, B. Artono, R. J. K. Haryo, and S. D. Ardiansyah, "Rancang Bangun Prototype Electrostatic Precipitator (ESP) Sebagai Penangkap Debu Asap Paska Pengelasan," *JREC (Journal Electr. Electron.*, vol. 8, no. 2, pp. 67–74, 2020.
- [23] M. M. MUGHNI, "Rancang Bangun Voltage Multiplier DC Dengan Metode Cockcroft-Walton Tipe Fullwave." FAKULTAS TEKNIK, 2019, [Online]. Available: <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/103249>.
- [24] A. Raditya, A. Warsito, and A. Syakur, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Dc Full Wave Walton Cockcroft dan Aplikasinya Sebagai Pengendap Debu Secara Elektret." University Diponegoro, 2011.
- [25] N. S. B. Ginting, A. Syakur, and A. Nugroho, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC dengan Metode Cockcroft-Walton Tipe Fullwave," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 442–448, 2018.
- [26] D. Dessy, S. Abduh, M. Sukmawidjaja, and T. K. Sari, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC 7, 90 kV–58, 70 kV Menggunakan Konverter *Flyback*," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, pp. 203–216, 2021.

