

Cerobong Asap Elektrostatik Precipitator Berbasis *Solar Cell*

Sri Arttini Dwi Prasetyowati^{1,2}, Ali Mokhtar¹, Munaf Ismail², Agus Adhi Nugroho², Lutfan Zainul Haq², Agus Prasajo²

¹ Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

² Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang

Kontak Person:

Sri Arttini Dwi Prasetyowati

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

E-mail: arttini@unissula.ac.id

Abstrak

Usaha pengasapan ikan manyung di Kabupaten Kendal merupakan Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM). Hampir semua penduduk di sana memiliki usaha pengasapan ikan manyung. Namun, muncul permasalahan dengan adanya asap yang timbul pada pengasapan ikan manyung, dimana cara menanganinya kurang higienis. Sehingga asap pekat yang sangat mengganggu kesehatan menyebabkan Infeksi Saluran Pernafasan Atas bagi anak-anak. Partikel hasil pengasapan mengandung partikel-partikel yang sangat berbahaya, antara lain: Karbon Dioksida (CO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), Karbon Monoksida (CO), dan lain-lain.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi polusi asap yang dihasilkan pada pengasapan ikan. Pembuatan prototipe cerobong asap menggunakan metode elektrostatik precipitator (ESP) merupakan salah satu solusi untuk permasalahan tersebut. Metode ESP memanfaatkan medan listrik agar partikel-partikel debu terionisasi sehingga tertarik dan menempel pada plat collecting. Dalam perancangan dan pembentukan model, ada beberapa parameter yang dibutuhkan, seperti besar medan listrik, ukuran cerobong, dan tegangan yang sangat tinggi.

Hasil dari penelitian ini adalah green cerobong asap dengan menggunakan metode elektrostatik precipitator (ESP). Prototipe ini dioperasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan tegangan tinggi dihasilkan dari rangkaian Mazzilli ZVS driver, konverter flyback dan rangkaian cockroft walton. Cerobong asap ESP dapat menyerap asap dari hasil pengasapan ikan atau tanpa ikan. Makin tinggi tegangan inputnya, tegangan output dan kinerja efisiensi yang dihasilkan juga makin tinggi. Semakin jauh jarak antar elektroda discharge dengan elektroda collecting maka kinerja efisiensi ESP semakin menurun.

Kata kunci: Elektrostatik Precipitator, PLTS, Mazzili ZVS Driver, Cockroft Walton, asap

1. PENDAHULUAN

1.1 Permasalahan dan Tujuan Penelitian

Usaha pengasapan ikan manyung di Kabupaten Kendal khususnya Kelurahan Ketapang, merupakan Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM). Hampir semua penduduk di sana memiliki usaha pengasapan ikan manyung. Namun, muncul permasalahan dengan adanya asap yang timbul pada pengasapan ikan manyung, dimana cara menanganinya kurang higienis. Asap pekat yang muncul sangat mengganggu kesehatan. Banyak anak-anak yang mengalami Infeksi Saluran Pernafasan Atas. Emisi yang dikeluarkan dari gas buang industri diantaranya adalah CO₂, CO, dan HC yang merupakan gas yang paling berbahaya dan memiliki persentase tertinggi. Gas tersebut cukup berbahaya bagi kesehatan manusia bahkan dapat menyebabkan kematian apabila berada di atas standar baku mutu. Beberapa metode penanganan asap telah diteliti. Salah satu diantaranya adalah menggunakan metode filter listrik statis untuk filter asap nya dengan efisiensi yang cukup tinggi hingga mencapai 90%. Cara kerja alat ini adalah dengan menggunakan arus searah (DC). Alat pembakaran ini berbentuk silinder di mana dindingnya diberi muatan positif sedangkan di atas ada sebuah kawat yang merupakan pusat silinder, sejajar dinding tabung, diberi muatan negatif. Adanya perbedaan tegangan yang cukup besar akan menimbulkan corona discharge di daerah sekitar pusat silinder. Hal ini menyebabkan udara kotor akan ditarik oleh dinding tabung sedangkan udara bersih akan berada di tengah-tengah silinder dan kemudian terhembus keluar [1].

Cerobong asap yang didesain dengan sensor asap MQ-2 yang berfungsi untuk melakukan pembacaan pada indikasi asap, api, suhu, dan kelembaban yang berada pada sistem filtrasi. Selanjutnya

mengirimkan data yang ada pada mikrokontroler, menyimpannya dan meneruskan pada web Ubidots sebagai interface untuk menampilkan data [2].

Dari beberapa penelitian di atas, dikembangkan dan dimodifikasi cerobong asap yang ada dengan menggabungkan metode elektrostatis precipitator dengan pembangkit listrik tenaga surya untuk membangkitkan tegangan tingginya. Metode ini akan diterapkan di Kelurahan Ketapang, Kabupaten Kendal.

1.2 Tinjauan Pustaka

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 2,5 sampai 10 mikron 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 [3].

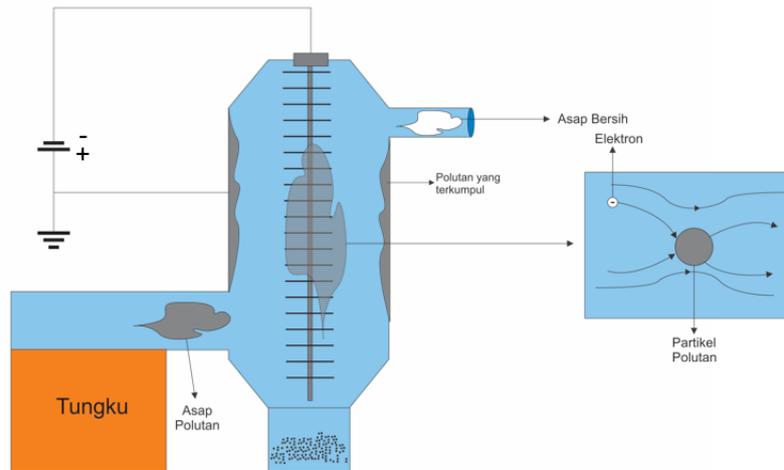
Penelitian dengan judul “Perancangan Alat Pembangkit Tegangan Tinggi Flyback Transformator pada Aplikasi Pengendap Debu Berbasis Mikrokontroler Atmega328”, dibuat suatu rancangan generator tegangan tinggi untuk aplikasi pengendapan debu menggunakan generator tegangan tinggi trafo flyback. Rangkaian ini 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 terserap 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 [4].

Riset yang dilakukan oleh Andrika Hilman Hanif merupakan *experimental research* dengan metode *Factorial Design*. Pada penelitian ini terdapat tiga 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. Pengurangan polutan air disebabkan oleh peningkatan efisiensi ESP dan peningkatan polutan air yang disebabkan oleh pelepasan ozon yang tinggi [5].

1.3 Landasan Teori

Elektrostatis Precipitator (ESP) adalah sistem penangkap debu yang sangat tinggi (lebih dari 90%). Ukuran partikel yang dapat ditangkap menggunakan ESP adalah lebih kecil dari $2 \mu\text{C}$ [6]. metode ini dapat menangkap partikel-partikel kecil dengan membuat partikel tersebut terionisasi sehingga bermuatan. Metode ini terus dikembangkan sejak banyaknya penemuan-penemuan tentang gejala elektrostatis [7]. Komponen-komponen utama dari ESP adalah *Collecting plate* yang berfungsi untuk menarik partikel bermuatan negatif sehingga partikel debu dalam gas akan menempel pada platnya, *Discharge electrode* digunakan untuk menyebarkan elektron bebas yang berfungsi untuk menarik partikel bermuatan negatif yang berfungsi memberikan muatan (*charging*) pada partikel dan peralatan listrik tegangan tinggi yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi [8].

Gambar 1.1 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 1 Filter penyaringan debu

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 PM_{10} dan $PM_{2,5}$ akan menempel padanya. Untuk menghitung luas satu permukaan elektroda *collecting* dapat menggunakan persamaan (1.1).

$$A = p \times l \times n \quad (1.1)$$

Dimana A adalah luas elektroda *collecting* (dalam cm^2), p adalah panjang elektroda (cm), l merupakan lebar elektroda (cm), dan n adalah jumlah sisi. Sedangkan untuk menghitung banyaknya elektroda *Collecting* dapat dirumuskan oleh persamaan (1.2)

$$\text{Banyak elektroda collecting} = \text{Baris} \times \text{Kolom} \times \text{Field} \times \text{Jumlah ESP} \quad (1.2)$$

Sehingga untuk mencari luas efektif elektroda *collecting* menggunakan persamaan (1.3)

$$A = \text{Luas Permukaan} \times \text{Jumlah Collecting plate} \quad (1.3)$$

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* [9]. Untuk pengukuran konsentrasi awal dilakukan beberapa kali Kemudian dicari reratanya. Untuk perhitungan konsentrasi rata-rata awal dapat menggunakan persamaan (1.4).

$$\bar{C}_o = \frac{\sum_{i=1}^n (C_o)_i}{n} \quad (1.4)$$

Sedangkan untuk konsentrasi akhir perhitungannya adalah seperti pada persamaan (1.5)

$$\bar{C}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_t)_i}{n} \quad (1.5)$$

Sehingga efisiensi ESP dapat dihitung dengan persamaan (1.6).

$$\%EF = \frac{\bar{C}_o - \bar{C}_t}{\bar{C}_o} \times 100\% \quad (1.6)$$

Dimana %EF merupakan efisiensi filter (%), C_o adalah konsentrasi awal (gram), dan C_t adalah konsentrasi akhir (gram).

Mazzilli *Zero Voltage Switching* (ZVS) Driver merupakan driver trafo flyback yang mampu menghasilkan sumber High Voltage (HV) dengan tegangan output tinggi. Mazzilli ZVS Driver merupakan konverter ZVS yang berisolasi 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 [10].

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*) [11]. 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) [12].

Rangkaian Cockroft-Walton 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 [13]. 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. Perhitungan banyaknya tingkatan dan besarnya tegangan output yang diinginkan diberikan pada persamaan (1.7) [14].

$$V_{out} = V_{in} \times 2n \quad (1.7)$$

Dengan V_{out} adalah tegangan output (V), V_{in} adalah Tegangan input (V), dan n merupakan jumlah tingkatan.

Sel Surya atau Solar cell adalah sebuah perangkat atau komponen yang menggunakan prinsip efek Photo Voltaic untuk mengubah energi Cahaya matahari menjadi energi Listrik [10]. Daya yang dihasilkan oleh modul panel surya berbentuk arus listrik searah (DC) dengan tegangan tertentu. Untuk mendapatkan informasi tentang jumlah daya yang dihasilkan oleh modul panel surya, dapat langsung dilihat melalui tampilan display dari sistem kontrol pengisian baterai atau Solar Charge Controller (SCC) yang sedang digunakan. Daya masukan atau daya Input modul panel surya merupakan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan modul panel surya.

$$P_{in} = I_r \times A \times 2 \quad (1.8)$$

Dimana: P_{in} adalah Daya Masuk (Watt), I_r mewakili Intensitas Radiasi Matahari (W/m²), A adalah luas area permukaan modul foto Voltaik (m²) dengan dua panel surya.

Kinerja suatu modul panel surya dinilai melalui pengukuran efisiensinya. Efisiensi modul panel surya dihitung dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh sel surya dengan energi masukan yang diterima dari radiasi matahari.

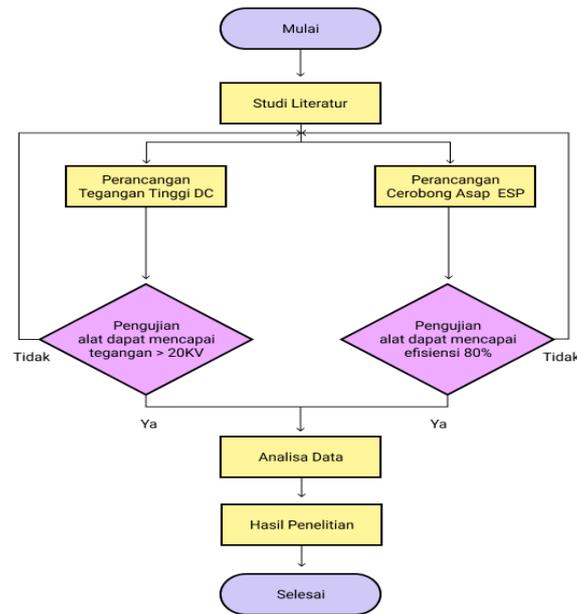
Jarak antar elektroda juga dihitung dengan persamaan (1.9).

$$r = \frac{1}{2}l - 0.25 \quad (1.9)$$

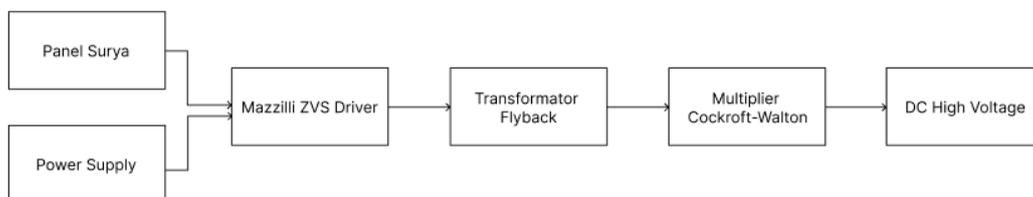
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa tahap yang bisa dilihat pada Gambar 2.1. Dari Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa penelitian dimulai dengan studi literatur, Pada tahap ini dipelajari teori dan cara kerja elektrostatis, ESP dan generator tegangan tinggi dari berbagai sumber seperti buku, artikel, jurnal dan berbagai situs yang ada di internet. Setelah itu dilakukan perancangan tegangan tinggi DC dan cerobong asap ESP diwaktu bersamaan. Selanjutnya tegangan tinggi DC dan cerobong asap ESP akan diuji coba, ketika hasilnya kurang memuaskan, untuk tegangan tinggi DC akan dibuat ulang

menggunakan model dan metode yang berbeda sedangkan untuk cerobong asap ESP 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.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 Blok Diagram Generator DC High Voltage

2.1 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 dapat dilihat pada Gambar 2.2, dimana terdapat dua sumber tegangan rangkaian, yaitu power supply dan panel surya. Untuk peralihan sumber tegangan akan menggunakan saklar COS (*Change Over Switch*).

2.2 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.

Perancangan elektrostatic 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.

2.3 Perancangan Cerobong Asap ESP

Perancangan 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 2.3).



Gambar 4 Prototipe Cerobong Asap Beserta Elektroda dengan Alumunium



Gambar 5 Tungku Pembakaran yang Dibuat

Pembuatan tungku pembakaran (Gambar 2.4) menggunakan hebel, dibagian tengah terdapat plat alumunium agar abu hasil pembakaran tidak berserakan. Dimensi tungku pembakaran adalah 32 cm x 35 cm x 20 cm. Elektroda *discharge* dibuat menggunakan kawat besi yang dililitkan. Pada bagian bawah elektroda *discharge* diberi pemberat agar tidak tertarik ke elektroda *collecting*.

2.4 Pengujian cerobong asap ESP

Sebelum pengujian dilakukan, dipastikan semuanya mengikuti pedoman keselamatan yang tepat, karena keselamatan terkait tegangan tinggi sangat berbahaya.

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 1.8. 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.

Pengujian lainnya 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. 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. Pengujian jarak antar elektroda juga dilakukan. 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.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Tegangan Tinggi DC

Pada pengukuran tegangan tinggi DC, digunakan resistor devider dengan jumlah resistor sebanyak 53 buah. Setiap resistor memiliki nilai yang sama yaitu $1M\Omega$. Pengukuran dilakukan pada dua output tegangan rangkaian, yaitu output tegangan *flyback converter* dan output tegangan rangkaian *Cockroft-walton*. Untuk mengetahui tegangan tinggi yang dihasilkan oleh rangkaian. Hasil dari pengukuran output tegangan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 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

Tabel 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 pada *Flyback Converter*, 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 3.2. Dari hasil pengukuran Rangkaian Cockroft-Walton 3 Tingkat, 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.

3.2 Pengujian Dasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui model cerobong asap ESP dapat menangkap partikel-partikel pada asap. Hal ini dilakukan untuk memastikan prototipe bekerja dengan baik. Pengujian ini menggunakan prototipe cerobong dengan ukuran 11 x 11 cm dengan tinggi 30 cm (Gambar 3.1. sampai dengan Gambar 3.4.).

Tabel 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

Dari pengujian yang telah dilakukan, cerobong asap ESP dengan ukuran 11x11 cm dengan tinggi 30 cm, tegangan input yang diperlukan untuk menghilangkan partikel asap adalah lebih dari 16 volt. Untuk tegangan input 12 volt, asap masih tampak. Pada pengujian menggunakan ikan, asap hilang karena terserap oleh cerobong ketika tegangan input lebih dari 16 volt. Pada saat tegangan input 12 volt, asap masih keluar dari cerobong.

3.3 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 efisien ESP dapat menggunakan persamaan 1.8.

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

No	Debu yang tidak Menempel (gram)
1	1.7406
2	1.6833
3	1.6337
4	0.8027
5	1.3095
6	1.7362
7	1.5326

Sehingga, dari Tabel 3.4, rata-rata jumlah debu yang tidak menempel adalah 1,49 gram dan debu yang diuji awalnya seberat 5 gram, maka rata-rata debu yang menempel sebesar $5 - 1.49 = 3.51 \text{ gram}$. Sehingga nilai efisiensi ESP didapat sebesar 70,18 %.

Hasil pengujian pengaruh tegangan input terhadap efisiensi ditunjukkan dalam Tabel 3.5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Pengaruh Tegangan Input Terhadap Efisiensi ESP

No	Teg Input (Volt)	Arus Input (A)	Debu yang tidak Menempel (gram)	Debu yang menempel (gram)	Efisiensi 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

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui semakin besar tegangan input maka arus input juga semakin besar. 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.

3.4 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.

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

No	Debu yang tidak Menempel
1	0.7492
2	0.8075
3	0.5064
4	0.4097
5	0.9756
6	0.6266
7	0.7407

Dengan pengambilan debu awal 5 gram, rata-rata debu yang tidak menempel adalah 0,69 gram. Sehingga debu yang tidak menempel adalah $5 - 0.69 = 4.31$ gram. Efisiensi ESP diperoleh sebesar 86.24%.

Tabel 7 Hasil Pengujian Jarak antar Elektroda terhadap Kinerja ESP

Lebar Elektroda Collecting (cm)	Jarak Elektroda (cm)	Area Elektroda Collecting (cm ²)	Debu tidak menempel (gram)	Debu yang menempel (gram)	Efisiensi ESP (%)
8	3.75	960	0.69	4.31	86.24
9	4.25	1080	0.94	4.06	81.19
10	4.75	1200	1.11	3.89	77.88
11	5.25	1320	0.83	4.17	83.32
12	5.75	1440	1.33	3.67	73.30
13	6.25	1560	1.29	3.71	74.13

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*. Pada jarak 3.75 cm kinerja efisiensi ESP mencapai 86.24% sedangkan pada jarak 6.25 cm kinerja efisiensi ESP turun hingga 74.13%.

4. 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, termasuk luas permukaan elektroda, tegangan tinggi yang diperlukan dan jarak antar elektroda.
2. Makin tinggi tegangan inputnya, tegangan output dan kinerja efisiensi yang dihasilkan juga makin tinggi.
3. Semakin jauh jarak antar elektroda discharge dan elektroda collecting maka kinerja efisiensi ESP makin turun.

REFERENSI

- [1] I. E. & E. C. Energy, "Afionisk, Alat Filterisasi dan Konversi Asap Pabrik," [Online]. Available: <https://environment-indonesia.com/articles/afionisk-alat-filterisasi-dan-konversi-asap-pabrik/>.
- [2] Juen Olivil Manduapessy, "Perancangan Prototipe Filtrasi Asap Industri untuk Meminimalisir Polusi Udara Bebas Berbasis IoT (Internet of Things) Menggunakan Mikrokontroler ESP8266," *Sensors Sens. Esp8266*.
- [3] "View of The Impact of Particulate Matter on the Respiratory System.pdf."
- [4] P. M. Perancangan *et al.*, "Perancangan Alat Pembangkit Tegangan Tinggi Flyback Transformator pada Aplikasi Pengendap Debu Berbasis Mikrokontroler Atmega328," pp. 2–5.
- [5] A. H. Hanif, "Pengaruh Voltase dan Kerapatan Wire Mesh Electrostatic Precipitator Terhadap Efisiensi Filtrasi Udara dan Kualitas Air Hasil Produksi Atmospheric Water Maker," 2019.
- [6] A. Fitrianto and I. Alfi, "Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Hasil Dari Perubahan Emisi Pada Power Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap.," 2018, [Online]. Available: <http://eprints.uty.ac.id/2367/>.
- [7] R. A. Wiranata, M. S. Muntini, and D. Anggoro, "Rancang Bangun Electrostatic Precipitator Sebagai Salah Satu Subsistem Dalam Penangkapan Hasil Partikel Spray Pyrolysis," *Dipetik Oktober*, vol. 11, p. 2022, 2017.
- [8] A. O. Life, "Elektrostatis dan tegangan listrik," no. C, pp. 1–7, 2015.
- [9] P. T. Pjb and U. Pltu, "Analisis Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Pembagian Besarnya Arus," vol. 14, no. 2, pp. 45–57, 2020.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Gianto, M. Sarwoko, and E. Kurniawan, "Perancangan dan Implementasi Pengendap Debu Dengan Tegangan Tinggi Secara Elektrostatis," *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 2091–2097, 2015, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/303>.
- [14] H. N. K. Ningrum, B. Artono, R. J. K. Haryo, and S. D. Ardiansyah, "Rancang Bangun Prototipe Electrostatic Precipitator (ESP) Sebagai Penangkap Debu Asap Paska Pengelasan," *JREC (Journal Electr. Electron.*, vol. 8, no. 2, pp. 67–74, 2020.