

## **KONTROL KECEPATAN MOTOR DC PADA *ELECTROSTATIC PRECIPITATOR (ESP) DENGAN METODE PID***

Venita Amalia Sari, Andriani Parastiwi, Yulianto

Abstrak – Di daerah tertentu banyak terjadi pencemaran udara berupa partikel-partikel polutan dari asap kendaraan bermotor, debu, dan mesin-mesin proses produksi di industri. Sementara itu tersedianya udara bersih merupakan salah satu kebutuhan bagi kehidupan manusia. Untuk dapat mengurangi partikel-partikel polutan tersebut perlu dirancang dan dibuat sebuah alat *Electrostatic Precipitator* untuk membersihkan udara dengan metode penangkapan partikel polutan menggunakan medan listrik. Pembersihan udara dengan cara ini dilakukan penangkapan secara elektrostatis dimana partikel-partikel diberi muatan positif dan negatif di dalam medan listrik sehingga akan mendapat gaya tarik dan ditangkap pada deretan plat-plat logam. Tujuan penelitian ini adalah rancang bangun alat pembersih udara dari partikel polutan menggunakan prinsip penangkapan menggunakan medan listrik yang dibangkitkan dari tegangan tinggi searah yang diterapkan pada plat-plat pembangkit medan listrik.

Metoda pengujian yang dilakukan yaitu dengan cara mengalirkan udara yang diberi polutan dan dialirkan ke sela-sela pembangkit medan listrik dengan kecepatan terkontrol sebanding kepekatan partikel polutan untuk mengetahui tanggapan sistem. Pengujian berikutnya adalah menerapkan mesin pada ruang mengandung partikel polutan dan mencatat jumlah polutan yang dapat ditangkap dalam satuan waktu. Hasil pengujian yang didapatkan yaitu alat *Electrostatic Precipitator* ini mampu mengendapkan debu sebesar 12.5 gram tiap 8 jam dengan kecepatan motor 1000 RPM. Kecepatan motor DC dikontrol dengan menggunakan controller PID. Pada sistem controller PID ini terdapat dua buah controller yaitu PID1 yang merupakan kontrol kecepatan motor (RPM) dengan nilai  $Kp1 = 0.0003$ ,  $Ki1 = 0.005$ ,  $Kd1 = 0.00125$  dan PID2 yang merupakan kontrol debu dengan nilai  $Kp2 = 10000$ ,  $Ki2 = 0$ , dan  $Kd2 = 0$ .

**Kata Kunci – *Electrostatic, Precipitator, Polusi, Debu, PID.***

### 1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi selain memberikan efek positif bagi kehidupan manusia juga menyebabkan efek negatif. Salah satu contoh efek negatif dari kemajuan teknologi adalah terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara dewasa ini menampakkan kondisi yang sangat memprihatinkan. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan antara lain industri, transportasi, perkotaan, perumahan dan asap rokok. Udara yang terpolusi ini memberikan dampak negatif pada kesehatan seperti gangguan pernapasan atau alergi debu [1].

Salah satu indikator pencemaran udara untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja adalah debu. Standart kandungan debu maksimal di dalam udara ruangan dalam pengukuran rata-rata 8 jam adalah sebagai berikut : Debu total  $0.15 \text{ mg/m}^3$ [2].

Setiap materi, termasuk debu, dapat dianggap sebagai sebuah partikel yang bermuatan listrik yang akan memiliki sifat tarik-menarik dengan partikel lain yang berbeda muatan dan akan tolak-menolak dengan partikel lain yang muatannya sejenis. Berdasarkan hal-hal tersebut, maka dibuat suatu alat yang dapat mengurangi polutan dengan mengaplikasikan tegangan tinggi searah (DC), tanpa menghasilkan efek samping lain dari penggunaan tegangan tinggi DC yaitu ozon. Karena keberadaan ozon di udara akan

menyebabkan pencemaran udara baru yang perlu untuk ditindaklanjuti kembali [3].

Pada alat *Electrostatic Precipitator* ini terdapat motor DC yang berfungsi untuk menghisap udara berdebu dalam ruangan. Motor DC memiliki respon yang cepat, namun masih memiliki *error steady state*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu controller yang tepat dan sesuai dengan *plant* sistem. Controller Proporsional Integral Diferensial (PID) adalah kontrol aksi yang memiliki respon cepat, sehingga sesuai untuk mengontrol kecepatan motor DC [4]. Alasan dipilihnya controller PID ini karena mampu memberikan respon pengendalian yang paling baik dan tidak mengalami penurunan yang dihasilkan untuk mencapai *set point*, selain itu kontrol PID juga memiliki kesederhanaan struktur dan kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya yang cukup umum dipakai dan sudah banyak dikenal. Sehingga dengan digunakannya controller PID dapat menjaga kestabilan kecepatan motor DC.

### 2. METODE PENELITIAN

Ada beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, diantaranya adalah melakukan pengumpulan dan mempelajari semua literatur yang berhubungan dengan *Electrostatic Precipitator* dari penelitian-penelitian sebelumnya,

dan literatur pendukung lainnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Setelah itu dilakukan perancangan sistem, baik perancangan mekanik, elektronik, *software*, maupun perangkat kontrol.

Perancangan mekanik, elektronik, dan perangkat kontrol dilakukan berdasarkan beberapa perhitungan matematis. Sedangkan perancangan *software* dilakukan berdasarkan algoritma pemrograman yang disesuaikan dengan *embedded system*. Setelah sistem dirancang, sistem tersebut dibuat sesuai desain yang telah ditentukan. Dari hasil analisis sistem tersebut diharapkan dapat ditarik kesimpulan secara keseluruhan.

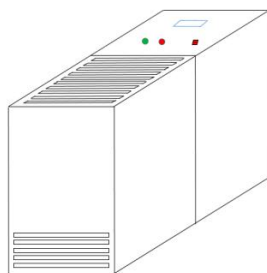
### 3. HASIL PERANCANGAN ALAT

#### 3.1 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dibagi menjadi 2 bagian yaitu mekanik *box* dan *filter* pengendap debu.

##### Mekanik Box

Dalam mekanik *box* akan diletakkan rangkaian elektronik yang terdiri dari rangkaian LCD, rangkaian sensor debu, rangkaian sensor kecepatan *Optocoupler*, Arduino Mega 2560, rangkaian *driver motor DC*, dan rangkaian *driver flyback transformer*. Pada bagian depan *box* dibuat lubang-lubang untuk tempat masuknya udara berdebu yang terhisap oleh kipas. Sedangkan pada bagian atas *box* dibuat lubang untuk masing-masing komponen penunjang seperti saklar *on-off*, *push button start* dan *stop*, dan LCD 16x2 dan juga terdapat lubang-lubang sebagai tempat untuk keluarnya udara hasil penyaringan debu.



Gambar 1. Desain Mekanik Box Akrilik

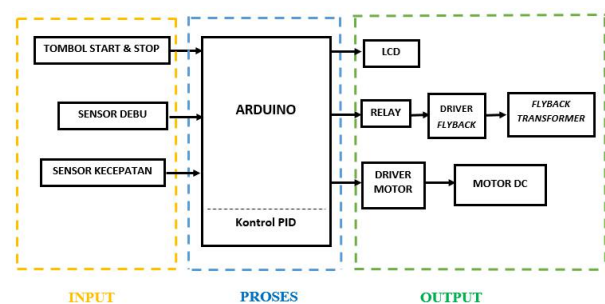
##### Perancangan Filter

*Filter* yang dimaksudkan disini adalah lempengan logam yang disusun sejajar satu sama lain. Lempengan aluminium ini dihubungkan dengan terminal pembangkit tegangan tinggi DC dengan polaritas saling berkebalikan. Logam yang dipilih adalah aluminium karena tidak cepat panas, daya hantar listrik yang baik dan ringan. Jarak antar lempengan aluminium yang dipilih adalah 5 cm.



Gambar 2. Filter Pengendap Debu

#### 3.2 Perancangan Elektronik



Gambar 3. Diagram Blok Alat

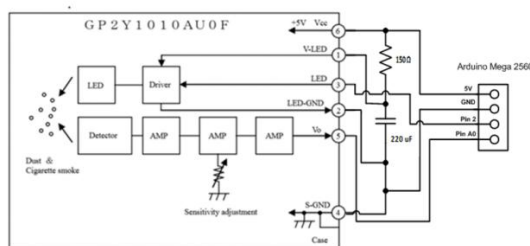
Penjelasan fungsi dari masing-masing blok pada Gambar 3 adalah sebagai berikut:

- 1) Tombol Start dan Stop berfungsi untuk menghidupkan atau mematikan alat *Electrostatic Precipitator* (ESP).
- 2) Sensor debu digunakan untuk mendeteksi adanya debu dalam ruangan. Jenis sensor debu yang digunakan adalah sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F.
- 3) Sensor kecepatan digunakan untuk mengukur kecepatan motor DC. Sensor kecepatan yang digunakan adalah *Optocoupler*.
- 4) Arduino sebagai komponen utama yang berfungsi sebagai pengendali maupun penyimpan perintah pada *plant*.
- 5) *Driver Motor* berfungsi untuk menggerakkan motor DC sesuai dengan perintah dari *kontroller*.
- 6) Motor DC berfungsi sebagai aktuator yang digunakan untuk menghisap udara berdebu dalam ruangan.
- 7) *Relay* digunakan sebagai *switch* untuk mengendalikan *driver flyback*.
- 8) *Driver Flyback* terdiri dari dua bagian utama yaitu rangkaian pembangkit pulsa (osilator) menggunakan IC NE555 dan rangkaian MOSFET sebagai saklar yang akan memicu *flyback transformer*.

- 9) *Flyback Transformer* adalah sebuah transformator khusus yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi.
- 10) LCD berfungsi sebagai *display* untuk menampilkan besarnya kadar debu yang terukur dan kecepatan motor DC pada sistem penyaringan debu.

**3.2.1 Perancangan Rangkaian Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F**

Sensor yang digunakan untuk pembacaan kepadatan debu dalam ruangan adalah sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F. Berdasarkan pada Gambar 4, untuk merancang rangkaian sensor debu dibutuhkan sebuah komponen resistor,  $R1 = 150 \Omega$  dan kapasitor,  $C1 = 220\mu F$  yang digunakan sebagai *drive* pulsa dari LED GP2Y1010AU0F. Resistor R1 berfungsi untuk menghambat arus listrik yang masuk ke rangkaian sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F, sedangkan kapasitor C1 berfungsi untuk menyimpan arus listrik untuk sementara waktu. Tanpa kedua komponen ini, sensor debu tidak bisa bekerja. Sensor debu GP2Y1010AU0F membutuhkan rangkaian seperti pada Gambar 4. Dimana sensor ini membutuhkan catuan 5 volt DC.

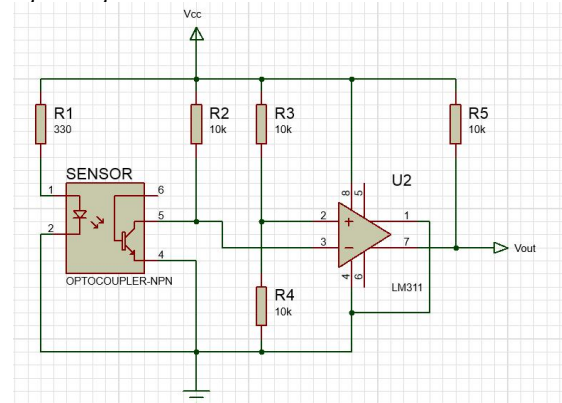


**Gambar 4.** Hasil Perancangan Rangkaian Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F dengan Embedded Sistem Arduino Mega 2560

**3.2.2 Perancangan Rangkaian Sensor Kecepatan Menggunakan Optocoupler**

Sensor *optocoupler* digunakan untuk membaca RPM motor dengan menghasilkan tegangan variabel. Semakin cepat motor berputar maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh sensor *optocoupler*, begitu juga sebaliknya. Pada sensor ini terdapat *transmitter* yaitu LED dan *receiver* yaitu phototransistor yang terletak pada satu tempat (dalam satu sensor) dan berhadapan. Diantara LED dan phototransistor, diletakkan sebuah piringan berlubang yang terdiri atas bagian yang tembus cahaya dan bagian yang tidak tembus cahaya. Bagian yang tembus cahaya mengindikasikan keadaan pada logika 1, sedangkan bagian yang tidak tembus cahaya menunjukkan keadaan pada logika 0. *Transmitter* akan memancarkan sinar inframerah pada saat mengenai

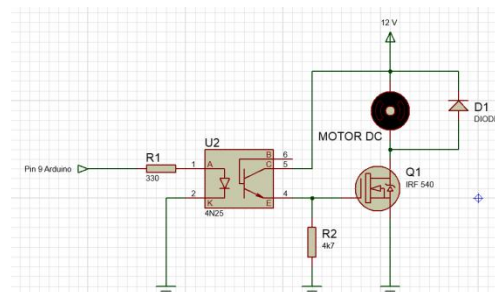
bagian piringan berlubang yang tembus cahaya. Kemudian akan diterima/diubah menjadi pulsa dan menghasilkan tegangan. Gambar 5 menunjukkan gambar skematik rangkaian sensor kecepatan *Optocoupler*.



**Gambar 5.** Hasil Perancangan Rangkaian Sensor Kecepatan *Optocoupler*

**3.2.3 Perancangan Rangkaian Driver Motor DC**

Untuk menggerakkan motor DC diperlukan tegangan 12 Volt DC dan arus yang dihasilkan oleh Arduino Mega 2560 sangat kecil yaitu 50mA. Sehingga *driver* motor yang sesuai untuk menggerakkan motor DC yaitu menggunakan MOSFET tipe IRF 540. Karena tegangan maksimal dari MOSFET tipe IRF 540 adalah 100 Volt dan arus ke anoda 33 A. MOSFET tipe ini memiliki 3 kaki, yaitu *gate*, *drain*, *source*. Kaki drain dihubungkan dengan dihubung dengan input dari sumber DC 12 Volt, kaki source dihubungkan dengan *ground*, sedangkan kaki gate dihubungkan dengan output dari *optocoupler* sebagai *trigger*. MOSFET ini bersifat sama dengan saklar yaitu apabila kaki *gate* mendapatkan sinyal masukan dari Arduino maka akan ON. Gambar 6 menunjukkan gambar skematik rangkaian *driver* motor DC.

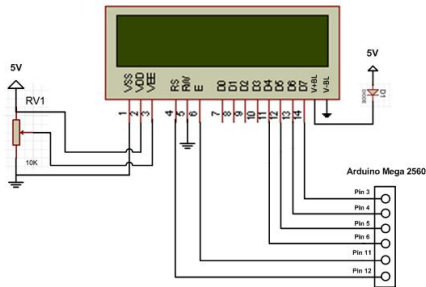


**Gambar 6.** Hasil Perancangan Rangkaian *Driver* Motor DC

**3.2.4 Perancangan Rangkaian LCD**

Rangkaian LCD berfungsi untuk menampilkan kepadatan debu yang terukur dan kecepatan motor DC serta *setpoint* yang ditentukan.

Skematik rangkaian LCD dapat dilihat pada Gambar 7. LCD yang digunakan adalah LCD 16x2 dan ada beberapa komponen pendukung seperti potensiometer 10K dan diode IN4001. Dalam hal ini digunakan potensiometer sebagai brightness dan diode IN4001 berfungsi agar tegangan yang masuk dalam LCD tidak lebih dari 5 Volt.



Gambar 7. Skematik Rangkaian LCD 16x2

3.2.5 Perancangan Rangkaian Relay

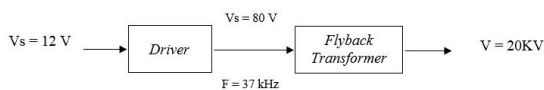
Rangkaian relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat menghidupkan dan mematikan peralatan. Gambar 8 menunjukkan gambar relay 5V dengan 2 channel output. Relay ini dapat digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik yang memerlukan tegangan dan arus yang besar. Relay 2 channel ini memerlukan arus sebesar 15-20 mA untuk mengontrol masing-masing channel.



Gambar 8. Modul Relay 2 Channel

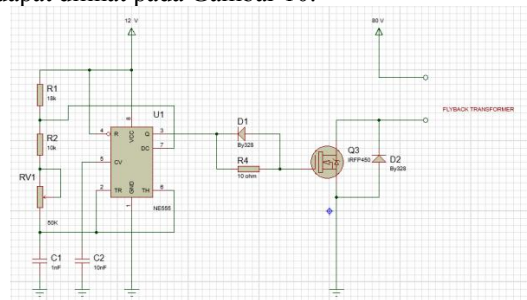
3.2.6 Perancangan dan Pembuatan Rangkaian Driver Flyback Transformer

Perancangan driver flyback transformer terdiri dari tiga bagian utama yaitu rangkaian pembangkit pulsa (osilator) menggunakan IC NE555, rangkaian penguat daya komplementer, dan rangkaian MOSFET sebagai saklar. Blok diagram perancangan driver flyback transformer dapat dilihat pada Gambar 9.



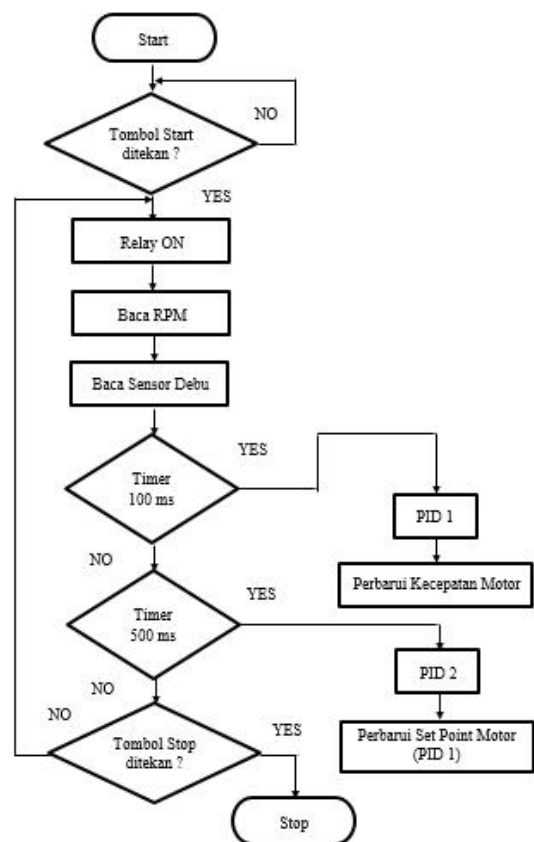
Gambar 9. Blok Diagram Perancangan Driver Flyback Transformer

Rangkaian pembangkit pulsa (osilator) dengan frekuensi tinggi menggunakan MOSFET sebagai saklar menggunakan mosfet tipe IRFP450 yang mempunyai tegangan breakdown drain source ( $V_{DSS}$ ) 500 V dan kemampuan arus drain ( $I_D$ ) maksimal 14 A, cukup untuk menjamin keamanan rangkaian. Mosfet berfungsi sebagai saklar yang dikendalikan oleh rangkaian osilator IC NE555. Arus keluaran dari MOSFET ini diumpankan ke flyback transformer, sehingga akan diperoleh tegangan yang cukup besar pada keluarannya. Skematik rangkaian driver flyback transformer dapat dilihat pada Gambar 10.



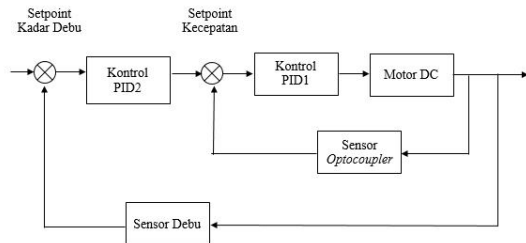
Gambar 10. Hasil Perancangan Rangkaian Driver Flyback Transformer

3.3 Perancangan Software



Gambar 11. Flowchart Perancangan Software 3.4 Perancangan Kontroller PID

Pada perancangan dan pembuatan controller PID yang akan diproses menggunakan rumus dibutuhkan umpan balik dari pembacaan kadar debu yang diperoleh dari sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F dan pembacaan kecepatan motor yang diperoleh dari sensor *Optocoupler*. Diagram blok kontrol PID ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Blok Kontrol PID

4. HASIL PENGUJIAN ALAT

Bagian ini membahas tentang pengujian terhadap sistem sistem yang telah dirancang. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan alur sistem yang telah dibuat.

4.1 Pengujian Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F

Pengujian rangkaian sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F dilakukan untuk memastikan sensor debu Sharp GP2Y1010AU0F sebagai sensor pendeteksi debu dapat digunakan untuk mengukur perubahan tegangan yang akan dikonversi ke ADC kemudian dikonversikan sebagai satuan  $mg/m^3$ . Selanjutnya oleh Arduino Mega2560 akan dikonversikan dari perubahan tegangan menjadi data digital kemudian dikonversikan menjadi satuan  $mg/m^3$ .

Tabel 1.Data Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F

Tegangan (V)	Nilai ADC	Kepadatan Debu ( $mg/m^3$ )		Error (%)
		Datasheet Sensor	Pengukuran Sensor	
1,527	391	0,12	0,12	0,0%
1,562	400	0,13	0,13	0,0%
1,648	422	0,14	0,14	0,0%
1,707	437	0,15	0,15	0,0%
1,785	457	0,16	0,16	0,0%
1,843	472	0,17	0,17	0,0%
1,878	481	0,18	0,18	0,0%
1,925	493	0,19	0,19	0,0%
2,109	366	0,22	0,22	0,0%
2,269	540	0,24	0,25	4,1%
2,609	668	0,30	0,30	0,0%
2,625	672	0,32	0,31	3,1%
2,988	765	0,35	0,37	5,7%



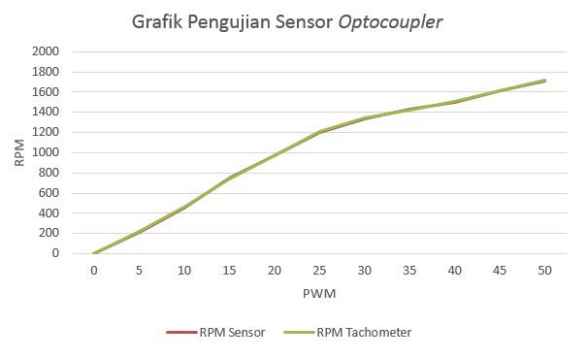
Gambar 13.Grafik Pengujian Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F

4.2 Pengujian Sensor Kecepatan Optocoupler

Pengujian rangkaian sensor kecepatan dengan *optocoupler* ini dilakukan dengan cara membandingkan data keluaran kecepatan putar motor dari sensor *optocoupler* dengan data pengukuran menggunakan *tachometer* dengan satuan RPM.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Optocoupler

PWM	RPM Sensor	RPM Tachometer
0	0	0
5	213	225,4
10	447	459,3
15	618	618,7
20	967	972,3
25	1200	1206
30	1330	1341
35	1428	1424
40	1500	1503
45	1610	1609
50	1710	1716



Gambar 14. GrafikPerbandingan Nilai Pembacaan Sensor Kecepatan dengan Data Pengukuran Menggunakan Tachometer

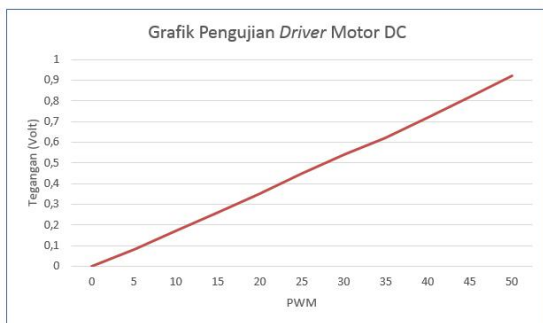
Dari Gambar 14, terdapat kesalahan antara pembacaan sensor dan pembacaan manual menggunakan *tachometer* sebesar 0,01%. Dengan nilai error rata-rata tersebut, maka sensor sensor kecepatan dengan *Optocoupler* layak digunakan untuk pengukuran kecepatan putar motor DC dalam sistem ini.

**4.3 Pengujian Driver Motor DC**

Pengujian rangkaian driver motor DC ini bertujuan untuk mengetahui *output driver* motor yang dibandingkan dengan masukannya yang kemudian dapat diketahui juga hubungan keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan tegangan yang dibutuhkan untuk motor DC.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian *Driver Motor DC*

PWM	Duty Cycle	Tegangan Driver (Volt)
0	0	0
5	1,96	0,08
10	3,93	0,17
15	5,80	0,26
20	7,85	0,35
25	9,81	0,45
30	11,8	0,54
35	13,6	0,62
40	15,7	0,72
45	17,7	0,82
50	19,6	0,92



**Gambar 15.** Grafik Hubungan PWM dengan Tegangan Keluaran *Driver*

Dari Gambar 15, dapat dilihat bahwa semakin besar PWM, maka semakin besar juga tegangan yang dibutuhkan oleh motor DC.

**4.4 Pengujian LCD**

Pengujian LCD dilakukan dengan menghubungkan rangkaian LCD dengan Arduino. Kemudian menampilkan karakter pada LCD melalui program yang dijalankan pada Arduino. Berikut ini adalah tampilan karakter yang muncul pada LCD.



**Gambar 16.** Hasil Pengujian LCD

Tampilan hasil pengujian LCD di atas menunjukkan bahwa rangkaian LCD dan program yang digunakan sudah bekerja dengan baik.

**4.5 Pengujian Driver Flyback Transformer**

Trafo *flyback* dioperasikan dengan *switching* frekuensi tinggi (15KHz – 50 KHz), sehingga dibutuhkan rangkaian untuk menghasilkan proses *switching*[5]. Rangkaian *switching* atau *driverflyback transformer* adalah pembangkit gelombang pulsa karena terdapat rangkaian osilator dengan menggunakan IC NE555 sebagai pembangkit pulsa dengan frekuensi tinggi.



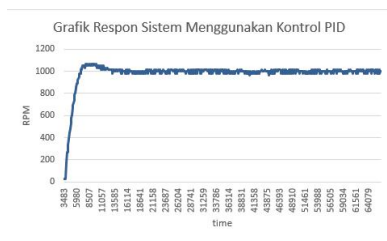
**Gambar 17.** Gelombang Pulsa Dari Keluaran Rangkaian Pembangkit Pulsa (Osilator)

Berdasarkan hasil pengujian frekuensi keluaran rangkaian osilator menggunakan IC NE555, terdapat selisih nilai antara hasil pengukuran dan perhitungan dengan teori. Pada pengukuran, keluaran rangkaian *driverflyback transformer* memiliki frekuensi 37.04 KHz, sedangkan pada perhitungan teori didapatkan nilai frekuensi sebesar 37.6 kHz. Sehingga rangkaian ini memiliki *error* sebesar 1.49%. Dengan nilai *error* tersebut, maka rangkaian *driver flyback transformer* layak digunakan.

**4.6 Pengujian Kontroller PID**

Pengujian kontroller PID ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat keras dan perangkat lunak serta untuk mengetahui respon motor dengan kontroller PID.

Dengan dilakukannya implementasi nilai parameter PID yang telah dihitung yaitu untuk PID1  $K_p=0.0003$ ,  $K_i=0.005$ ,  $K_d=0.00125$  untuk PID2  $K_p=10.000$ ,  $K_i=0$ ,  $K_d=0$  ke dalam rangkaian keseluruhan sistem. Dari proses implementasi tersebut dihasilkan respon seperti pada Gambar 18.



**Gambar 18.** Grafik Respon Sistem Menggunakan Kontrol PID

## 5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat pengendap debu elektrostatis telah berhasil dibuat dan sesuai harapan. Berdasarkan pengukuran dan pengujian dapat pula diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter PID yang digunakan adalah  $K_p1 = 0.0003$ ,  $K_i1 = 0.005$ ,  $K_d1 = 0.00125$  dan  $K_p2 = 10000$ ,  $K_i2 = 0$ ,  $K_d2 = 0$  sebagai kontrol pada penyaringan debu.
2. Banyak debu yang mengendap pada *filter* sebesar 12.5 gram tiap 8 jam dengan kecepatan motor 1000 RPM.
3. Nilai efektifitas alat pengendap debu akan semakin berkurang dengan bertambahnya kandungan debu yang diendapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Feriyadika, M. P., Hendik Eko Hadi, Renny Rakhmawati. 2011. *Rancang Bangun Pemanfaatan Elektrostatis Presipator untuk Mengurangi Kadar Debu dalam Ruang Berbasis Mikrokontroler*. Surabaya. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [2] Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri
- [3] Syakur, A., Agung Warsito, Nurlailati. 2009. *Aplikasi Tegangan Tinggi DC sebagai Pengendap Debu secara Elektrostatis*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- [4] Arif, Muhamad Faishol. 2015. *Sistem Kontrol Kecepatan Motor DCD-6759 Berbasis Arduino Mega 2560*. Malang : Universitas Brawijaya.
- [5] Rivai, Muhammad, Henny Utami, Ferry A.N. 2011. *Kontrol Pemurnian Udara Menggunakan Ionizer Berbasis Mikrokontroler*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.