

# PENGATUR KECEPATAN MOTOR DC *HIGHT TORQUE* UNTUK SISTEM PENGONTROL TEKANAN PADA PROSES PENCETAKAN *FILAMENT (3D PRINTING)* BERBAHAN DAUR ULANG DENGAN METODE *PID*

Ronaldo Febrianto<sup>1</sup>, Bambang Priyadi<sup>2</sup>, Hariyadi Singgih<sup>3</sup>

[Submission: 07-05-2021, Accepted: 30-05-2021]

**Abstract** - Making 3D printing basic material filament requires the right way to produce optimal filament, namely by adjusting the speed of the DC motor to move the screw, where the worm gear or screw will push the plastic pellets through the melting process to become plastic melt. To get a constant speed, DC motor speed control is used using a motor driver, the opstacle photodiode sensor as a speed sensor, and Arduino Uno as a controller, with the PID method so that it meets the right and constant speed. Based on the test, a good system response was obtained with a value of  $K_p = 0.06$ ,  $K_i = 0.135$  and  $K_d = 0.05$ . The working principle of a plastic grinder for printing filaments is to stabilize the speed of the DC motor screw driving the plastic pellets given, with a maximum of 150 grams of plastic pellets. If the set point is 60 rpm, the motor rotation speed will go to the setpoint and the motor rotation speed will be maintained at the set point.

**Intisari** - Pembuatan *filament* bahan dasar 3D printing membutuhkan cara yang tepat untuk menghasilkan *filament* yang optimal, yaitu dengan mengatur kecepatan motor DC untuk menggerakkan *screw* yang mana gigi cacing atau *screw* ini akan mendorong biji plastik melewati proses peleburan hingga menjadi lelehan plastik. Untuk mendapatkan kecepatan yang konstan di gunakan pengontrolan kecepatan motor DC menggunakan *driver* motor, *sensor opstacle photodiode* sebagai sensor kecepatan, dan *Arduino Uno* sebagai kontroler, dengan metode *PID* sehingga memenuhi kecepatan yang tepat dan konstan. Berdasarkan pengujian didapatkan *respon system* yang baik dengan nilai  $K_p = 0,06$ ,  $K_i = 0,135$  dan  $K_d = 0,05$  Prinsip kerja penggiling plastik untuk mencetak *filament* yaitu menstabilkan kecepatan motor DC penggerak *screw* terhadap biji plastik yang diberikan, dengan maksimum biji plastik 150 gram. Jika *setpoint* yang dimasukkan adalah 60 rpm maka kecepatan putaran motor akan menuju *setpoint* dan kecepatan putaran motor akan di pertahankan pada *setpoint* yang telah di tentukan.

**Kata kunci** – *filament, Motor DC, Kontrol PID.*

Penggunaan bahan plastik Sudah sejak lama digunakan sebagai bahan utama berbagai makanan atau furniture rumah tangga. Permasalahan sampah plastik di Indonesia merupakan masalah yang belum terselesaikan secara efektif hingga saat ini, 3D printing kini merupakan salah satu teknologi yang berkembang sebagai mesin pembuat produk yang bisa dilakukan dengan mudah, cepat dan mendetail. Mengenai definisinya sendiri, 3D printing merupakan printer dengan kompleksitas khusus yang dapat mencetak objek yang dibutuhkan sama persis dengan gambar soft file dalam 3D (tidak lagi terbatas hanya mencetak gambar di atas kertas). Karena hasil cetakan tidak berupa gambar atau tulisan di atas kertas, printer 3D pun tidak memiliki tinta, melainkan menggunakan filamen. Filamen adalah bahan lain, bahan dasar untuk membuat produk. dalam proses mendaur ulang plastik menjadi filament memiliki beberapa tahapan yaitu tahap pencacahan (*shredder*), peleburan (*ekstruksi*), penggulangan (*spooling*). Pada proses peleburan (*ekstruksi*) setelah pencacahan (*shredder*) sampah plastik menjadi biji plastik, maka proses selanjutnya akan di leburkan dengan pengontrolan tekanan dari putaran *screw* pada proses pencetakan *filament*, yaitu dengan mengatur kecepatan motor DC untuk menggerakkan *screw* yang mana gigi cacing atau *screw* ini akan mendorong biji plastik melewati proses peleburan hingga menjadi lelehan plastik, sehingga mudah untuk di cetak dan tekanan dari putaran *screw* mendorong lelehan plastik menuju *nozzle* untuk selanjutnya di cetak dengan ukuran yang telah di tentukan. Apabila kecepatan motor penggerak *screw* berputar lebih cepat dari *setpoint* maka biji plastik tidak akan leleh sempurna dan jika kecepatan motor penggerak *screw* berputar lebih lambat dari *setpoint* maka biji plastik akan hangus karena terlalu lama berada pada area *heater*.

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Studi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9 (telp: 0341-404424 ; e-mail:ronaldofebrianto4@gmail.com.

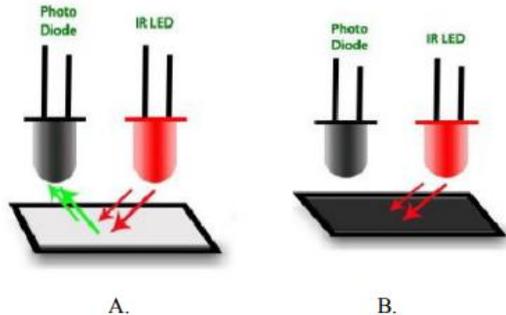
<sup>2,3</sup>Dosen, Program Studi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9 (telp: 0341-404424 ; e-mail: Priyadi\_bebeng@yahoo.com, e-mail: hariyadi\_singgih@yahoo.com.)



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sensor Obstacle Photodioda

Gambar 1 merupakan desain photodioda untuk memberikan output pada photodioda agar berlogika low atau berlogika high yang disebabkan oleh warna permukaan yang fungsinya sebagai pemantul cahaya dari led sebagai transmitter.



Gambar 1 Prinsip Kerja Sensor Photodioda [1]

### 2.2 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu mensupport mikrokontroler; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB.

Jenis-jenis papan Arduino yang tersedia, antara lain Arduino Uno, Arduino Diecimila, Arduino Duemilanove, Arduino Leonardo, Arduino Mega, dan Arduino Nano. Secara prinsip pemrograman yang diperlukan menyerupai, hanya saja yang membedakan adalah kelengkapan fasilitas dan pin-pin yang dipergunakan. Namun disini yang dipergunakan adalah Arduino Uno. Mikrokontroler adalah sebuah computer kecil yang di dalam IC tersebut sudah berisi CPU, memori, timer, saluran, komunikasi serial dan paralel, port input/output, ADC. Fungsi mikrokontroler digunakan sebagai suatu tugas dan menjelaskan suatu program.



Gambar 2 Arduino Uno [2]

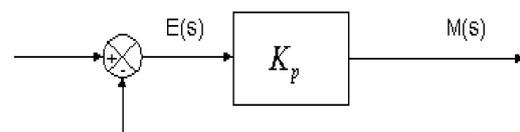
### 2.3 Motor DC

Berdasarkan sumber arus penguat magnetnya, motor DC dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu motor DC dengan penguat terpisah (*separately-excited*) dan motor DC dengan penguat sendiri (*self-excited*). Maksud dari penguatan terpisah (*separately-excited*) adalah jika arus penguat magnet diperoleh dari sumber arus DC di luar motor, dan maksud dari penguatan sendiri (*self-excited*) adalah jika arus penguat magnet diperoleh dari dalam motor itu sendiri.[3]

### 2.4 Kontrol PID

#### 2.4.1 Pengaturan Proporsional

Pengontrol *proporsional* memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang di inginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol *proporsional* merupakan perkalian antara konstanta *proporsional* dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan output sinyal sebesar konstanta pengalinya. Gambar 6 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran setting, besaran aktual dengan besaran keluaran pengontrol *proporsional*. Sinyal keasalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 3 Diagram Blok Kontroler Proporsional [4]

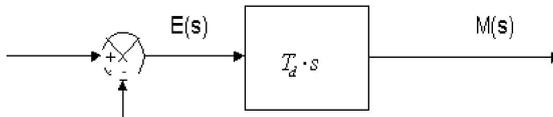
#### 2.4.2 Pengontrol Integral

Pengontrol integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ( $1/s$ ), pengontrol proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol. Pengontrol integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran pengontrol ini merupakan penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol *integral* merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol.



2.4.3 Pengontrol Derivative

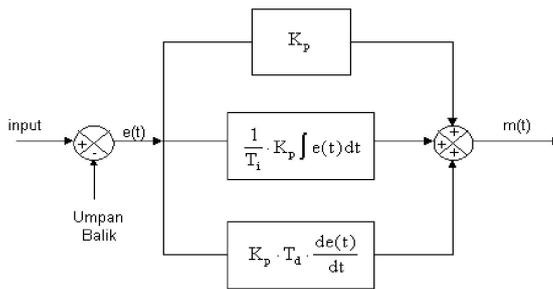
Keluaran pengontrol *Derivative* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi differensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran pengontrol.



Gambar 4 Blok Diagram Pengontrol *Derivative* [4]

2.4.4 Pengontrol PID

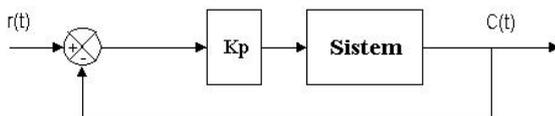
Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol *proposional plus integral plus derivative* (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Gambar 5 menunjukkan blok diagram kontroler PID.



Gambar 5 Blok Diagram Kontroler PID Analog[5]

2.4.5 Metode Osilasi

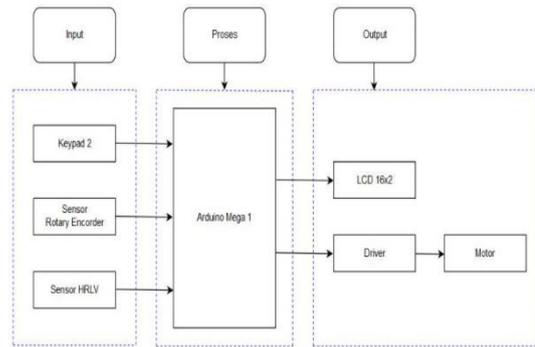
Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untai tertutup. Plant disusun serial dengan controller PID. Semula parameter parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter diferensial disetel nol ( $T_i = \infty ; T_d = 0$ ). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem beresilasi. Reaksi sistem harus beresilasi dengan magnitud tetap (*Sustain oscillation*). Gambar 6 menunjukkan rangkaian untai tertutup pada cara osilasi.



Gambar 6 Sistem Untai Tertutup dengan Alat Kontrol Proporsional[6]

III. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 7 Diagram Blok Sistem

3.2 Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari alat ini adalah memasukan setpoint melalui keypad kemudian sistem akan berjalan. Motor DC akan aktif untuk menggerakkan *screw* dan mendorong biji plastik melewati proses peleburan, apabila plastik telah leleh, sensor kecepatan akan mendeteksi tekanan pada putaran gerak *screw* yang di pengaruhi oleh volume tekanan lelehan plastik, hasil pembacaan akan di olah oleh Arduino Uno dan di tampilkan pada LCD. Data kecepatan pada putaran gerak *screw* dari hasil pembacaan sensor yang di olah Arduino Uno akan di bandingkan dengan setpoint kecepatan motor yang telah di tentukan melalui program Arduino Uno. Apabila sensor membaca kecepatan motor kurang dari setpoint maka Arduino Uno akan mengirimkan sinyal PWM ke driver motor untuk mempercepat putaran motor hingga sesuai dengan *setpoint*. Namun apabila kecepatan hasil pembacaan sensor lebih tinggi di bandingkan dengan setpoint yang telah ditentukan maka Arduino Uno akan memerintahkan motor untuk berputar lebih pelan agar kecepatan turun dan sesuai dengan setpoint. Dan apabila kecepatan hasil pembacaan sensor telah sesuai dengan setpoint maka Arduino Uno akan memerintahkan motor agar tetap pada putaran tersebut. Sistem akan berhenti ketika sensor HRLV mendeteksi *filament* yang telah terisi penuh pada penggulangan filament di *spoling*. Dalam pengontrolan ini menggunakan metode PID (*Proportional Intergrate Derrivative*) yang berfungsi untuk menstabilkan atau mempertahankan nilai RPM agar sesuai setpoint.

3.3 Perencanaan Mekanik

Perencanaan dan pembuatan mekanik pada *extruder plastic*.





Gambar 8 Perencanaan Mekanik

Pada Perencanaan alat yang akan di buat ini memiliki beberapa spesifikasi, diantaranya :

1. A. Dimensi Alat

- Panjang : 150 cm
- Lebar : 50 cm
- Tinggi : 70 cm

B. Dimensi Box Panel

- Panjang : 25 cm
- Lebar : 35 cm
- Tinggi : 12 cm

2. Bahan

- Screw (gigi cacing) : Baja SCM
- Rangka Alat : Besi

3. Warna

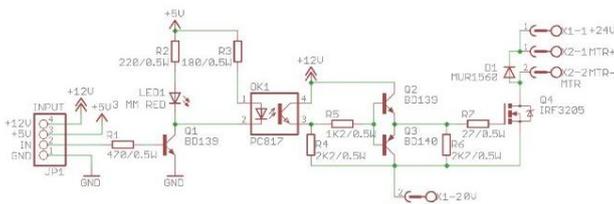
- Screw (gigi cacing) : Metallic Silver
- Rangka Alat : Biru Donker

4. Sensor

- Photodiode : Sensor *Obstacle*
- Range yang digunakan : Kecepatan yang digunakan 40 rpm - 80 rpm

3.4 Perancangan Rangkaian Driver Motor DC

Rangkaian driver motor DC yang berfungsi untuk menggerakkan motor DC pada proses pencetakan *filament* , untuk menggerakkan motor DC diperlukan tegangan maksimum 24 VDC dan arus maksimum 10 Ampere (pada saat starting motor arus menjadi 2-3 kali lipat) oleh karena itu digunakan mosfet IRF3205. Berdasarkan *datasheet*, Mosfet IRF3205 memiliki tegangan maksimum 55V dan arus drain 110A. Disini 24 VDC diperoleh dari Power Supply 24V.



*Optocoupler* jenis PC817 digunakan pada driver motor DC ini sebagai komponen yang berfungsi men-*trigger* MOSFET IRF3205, untuk memutar motor DC. Kaki anoda

atau kaki nomor 1 PC817 diberi masukan berupa duty cycle dari *digital I/O* pada *pin Arduino Uno* . kemudian dihubungkan dengan resistor 220Ω, dan kaki katoda PC817 dihubungkan dengan GND *Arduino Uno*. Selain untuk men-*trigger* MOSFET IRF3205, *optocoupler* PC817 juga berfungsi untuk memisahkan *Arduino Uno* sebagai rangkaian kontrol dengan MOSFET IRF3205, dan sebagai pengamanan untuk *Arduino Uno* agar tidak mengalami kerusakan.

Rangkaian driver motor DC ini menggunakan R1 560 Ω, R2 180 Ω, R3 180 Ω, R4 2.2K Ω, R5 1.2k Ω, R6 2.7K Ω, dan R7 27 Ω dengan perhitungan berikut ini:

1) BD139

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} = 10$$

$$I_c = 100 \text{ mA} > (16 \text{ mA} + 20 \text{ mA})$$

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{36 \text{ mA}}{10} = 3,6 \text{ mA}$$

$$R_1 = \frac{V_{OH\text{Arduino}} - V_{BE}}{I_b} = \frac{4,98 - 0,7}{3,6 \text{ mA}} = 1,18 \text{ k} \Omega \approx 1k2 \Omega$$

2) LED

$$I_{led} = 16 \text{ mA}$$

$$V_{led} = 1.8 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{V - V_{led} - V_{CEsat}}{I_{led}} = \frac{(5 - 1.8 - 0,02)V}{16\text{mA}} = 198,75 \approx 220 \Omega$$

3) PC817

$$I_F = 20 \text{ mA} \rightarrow V_{ce} = 1 \text{ V}$$

$$I_c = 15 \text{ mA}$$

$$V_F = 1.4 \text{ V}$$

$$R_3 = \frac{V_{Arduino} - V_F - V_{CEsat}}{I_F} = \frac{(5 - 1.4 - 0,02)V}{20\text{mA}} = 179 \Omega \approx 180 \Omega$$

$$R_4 = \frac{V_s - V_{ce}}{I_{R4}} = \frac{(12 - 1)V}{5 \text{ mA}} = \frac{11}{5 \text{ mA}} = 2,2 \text{ k} \Omega$$

$$R_5 = \frac{V_s - V_{ce}}{I_b} = \frac{(12 - 1)V}{10 \text{ mA}} = \frac{11}{10 \text{ mA}} = 1.1 \text{ k} \approx 1.2 \text{ k} \Omega$$

4) BD139 & BD140

$$I_B = 10 \text{ mA}$$

$$\beta = \frac{I_c}{I_B} = 10$$

$$I_c = \beta \cdot I_B = 10 \cdot 10 \text{ mA} = 100 \text{ mA} \rightarrow \text{Maksimal}$$

$$R_6 = \frac{V_s - V_{ce}}{I_{R6}} = \frac{(12 - 0,5)V}{5 \text{ mA}} = 2.3 \text{ k} \approx 2.7 \text{ k} \Omega$$

5) IRF3205

R7 → Tidak ada ketentuan , rata – rata menggunakan 27 Ω di *datasheet*

$$25 \Omega$$

$$V_{GS} = V_s - V_{ce} = (12 - 0,5)V = 11.5 \text{ V}$$

$$I_{Motor} = I_D = 10 \text{ A} \rightarrow V_{DS} = 0.1 \text{ V}$$

Dengan:

V<sub>F</sub> = *Forward Voltage* pada PC817 (Volt)

I<sub>F</sub> = *Forward Current* pada PC817 (mA)

V<sub>s</sub> = Tegangan sumber yang diberikan ke *collector* PC817 (Volt)



- $V_{ce}$  = Forward Voltage pada collector-emitter BD139 (Volt)
- $V_{GS}$  = Tegangan antara Gate dan Source Mosfet
- $I_D$  = Arus yang mengalir melewati Drain Mosfet
- $V_{DS}$  = Tegangan antara Drain dan Source Mosfet ketika ada arus  $I_D$

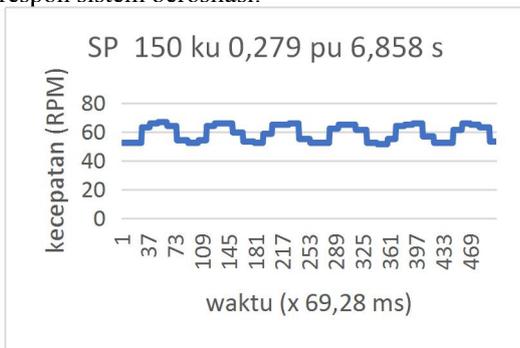
Terdapat diode pada rangkaian yang berfungsi sebagai pengaman agar tidak terjadi arus balik. Katoda diode dipasang menghadap tegangan sumber 24 VCD dan kaki anoda diode dipasang pada kutub negative motor DC yang menuju pada Drain MOSFET.

Dioda tipe IN5400 dipasang paralel pada motor DC sebagai pengaman agar tidak ada arus balik. Katoda dioda dipasang menghadap tegangan sumber 24VDC dan anoda dioda dipasang searah dengan kutub negatif (-) motor DC menuju drain MOSFET.

### 3.5 Perancangan Kontrol PID

Untuk perancangan kontrol PID menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols untuk menentukan nilai  $K_p$   $K_i$  dan  $K_d$  sesuai dengan cara yang telah ada, dimana ketiga konstanta ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan kecepatan motor DC penggerak screw untuk proses pencetakan filament.

Pengujian metode osilasi PID Ziegler-Nichols pada proses penggilingan plastik Gambar 10 adalah hasil grafik dengan pemberian konstanta  $K_p = 0,279$  serta  $K_i$  dan  $K_d$  masing-masing bernilai 0 serta setpoint kecepatan diberi 150 rpm. Dimana konstanta  $K_p$  adalah nantinya berubah menjadi  $K_u$  apabila telah ditemukan respon sistem beresilasi.



Gambar 10 Respon Osilasi motor screw

Gambar berupa hasil respon motor screw dengan beban. Dari grafik tersebut dapat ditemukan osilasi yang sama yaitu pada titik ke-131 dan ke-230, maka  $P_u$  dapat diperoleh dengan cara:

$$P_u = t_2 - t_1$$

$$= 230 - 131 \times 69,28087 \text{ ms}$$

$$P_u = 6,858806 \text{ s}$$

Dengan diperolehnya nilai  $K_u$  dan  $P_u$ , nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dapat diperoleh melalui Tabel Setting parameter

kontrol dengan metode osilasi (Tabel 2.5), didapatkan data:

$$K_p = 0,6 \times K_u$$

$$= 0,6 \times 0,279$$

$$K_p = 0,1674$$

$$T_i = P_u / 2$$

$$= 6,858806 / 2$$

$$T_i = 3,4294 \text{ Second}$$

$$T_d = 0,125 \times P_u$$

$$= 0,125 \times 6,858806$$

$$T_d = 0,8573 \text{ Second}$$

$$K_i = K_p / T_i$$

$$= 0,1674 / 3,4294$$

$$K_i = 0,0488$$

$$K_d = K_p \times T_d$$

$$= 0,1674 \times 0,8573$$

$$K_d = 0,1435$$

Dengan diperolehnya nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ , ketiga nilai tersebut dimasukkan kedalam program kembali dan dilihat melalui grafik apakah respon yang dihasilkan nantinya sesuai dan dapat sistem menjadi stabil.

## IV. HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Pengujian Sensor Obstacle Photodiode

Pengujian rangkaian sensor obstacle photodiode dilakukan dengan menghubungkan pin-pin pada sensor obstacle photodiode, kemudian 3 pin dihubungkan ke Arduino Uno. Pin (+) pada sensor obstacle photodiode di hubungkan ke probe COMP osiloskop dan pin GND sensor obstacle photodiode di hubungkan ke probe ground pada osiloskop.



Gambar 11 Pengujian Sensor Obstacle Photodiode

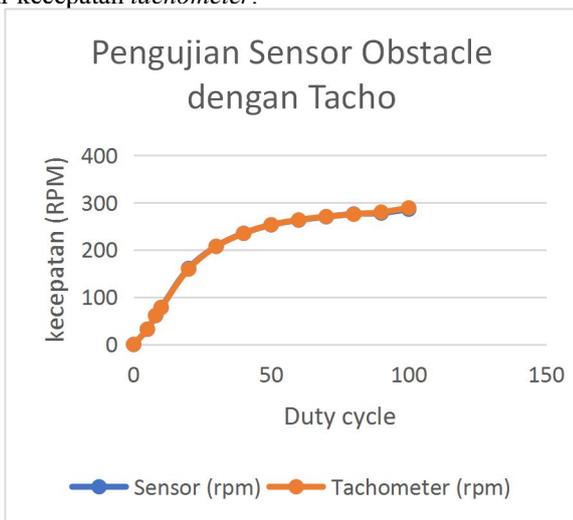
Hasil pengujian sensor obstacle photodiode pada gambar 11 dapat diketahui bahwa sensor obstacle photodiode telah memenuhi spesifikasi sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan yaitu dengan menguji tegangan keluaran dan pulsa pada osiloskop saat sensor bekerja dan diketahui tegangan yang di hasilkan adalah 5V.

TABEL I  
 TABEL HASIL PENGUJIAN SENSOR OBSTACLE PHOTODIODE



Duty Cycle	Sensor (rpm)	Tachometer (rpm)	Error (%)
0	0	0	0,00
5	32,1	32,2	0%
8	61,2	61,3	0%
10	78,2	78,2	0%
20	161	159,4	-1%
30	207,6	207,3	0%
40	235,2	235	0%
50	253	253,2	0%
60	263	263,4	0%
70	270	270,7	0%
80	276	275,4	0%
90	278	280	1%
100	286	289	1%

Pengujian sensor *obstacle photodiode* dilakukan dengan cara menemukan *error* sensor, diperoleh dari perbandingan hasil sensor terhadap kecepatan *Motor Penggerak screw* yang tertampil pada LCD 16x2 dengan alat ukur kecepatan *tachometer*.



Gambar 12 Grafik Hasil Perbandingan Kecepatan

Hasil pengujian sensor *obstacle photodiode* membuktikan bahwa terdapat perbedaan hasil sensor dengan *tachometer*. Rata-rata dari *error* setiap pembacaan sensor terhadap perubahan adalah 0,13%. Hal ini menunjukkan bahwa *error* tersebut masih dapat ditoleransi dan sensor *obstacle photodiode* tersebut layak digunakan.

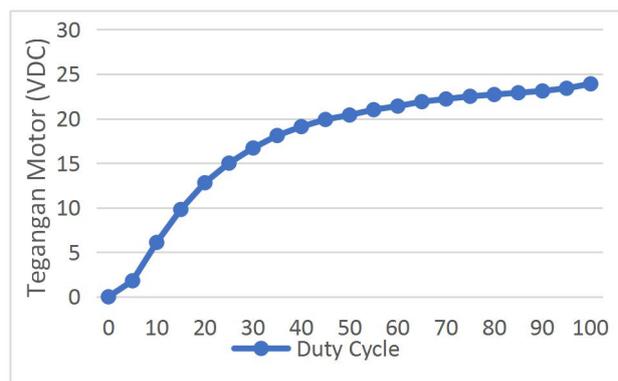
Selain itu, hasil sensor yang tertampil pada LCD tidak dapat menampilkan nilai yang pasti, selalu berubah-ubah namun pada *range* tertentu. Hasil pada *tachometer* juga demikian. Hal ini yang menyebabkan terjadinya *error* namun tidak terlalu besar.

#### 4.2 Pengujian Rangkaian Driver Motor DC

Pengujian rangkaian driver motor DC ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai duty cycle dari 0% hingga 100%, dan motor DC diberi tegangan 24 VDC. Berikut merupakan hasil perubahan tegangan pada motor DC berdasarkan perubahan nilai duty Cycle.

TABEL II  
 TABEL HASIL PENGUJIAN DRIVER MOTOR DC

Duty Cycle %	Tegangan Motor (VDC)
0	0
5	1.8
10	6.1
15	9.8
20	12.8
25	15
30	16.7
35	18.1
40	19.1
45	19.9
50	20.4
55	21
60	21.4
65	21.9
70	22.2
75	22.5
80	22.7
85	22.9
90	23.1
95	23.4
100	23.9



Gambar 13 Grafik Tegangan Motor Berdasarkan Duty Cycle

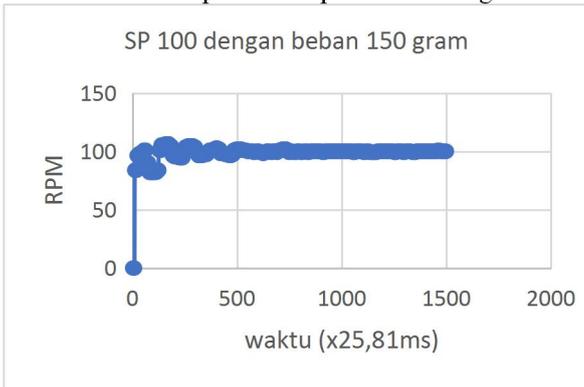
Hasil pengujian berupa tabel dan grafik gambar 13 menunjukkan perubahan tegangan motor DC terhadap perubahan nilai duty cycle menghasilkan linearitas pengukuran. Kenaikan nilai duty Cycle membuat tegangan motor DC meningkat pula.



4.3 Pengujian Sistem dengan beban

Pengujian sistem ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan cara memasukan set point pada keypad. Setelah memasukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  hasil trial *error* maka kecepatan akan terkontrol oleh PID agar sesuai setpoint. nilai  $K_p$  yang di gunakan adalah 0,06  $K_i$  adalah 0,135 dan nilai  $K_d$  adalah 0,05. Dan setpoint yang di gunakan adalah 100 rpm dan 60 rpm. Dan beban yang di gunakan yaitu 150 gram. Hasil respon grafik dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

- Setpoint 100 rpm beban 150 gram



Gambar 14 Grafik respon sistem SP 100 rpm beban 150 gram

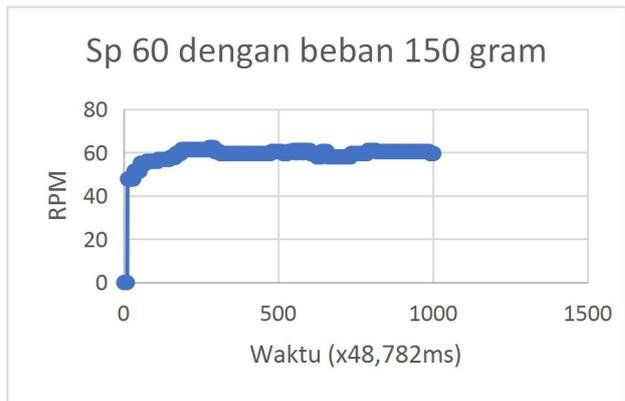
Berdasarkan hasil pengambilan data pada grafik, dapat di analisa respon sistemnya yang di jelaskan sebagai berikut :

TABEL III  
 KARAKTERISTIK RESPON DENGAN SP 100 RPM BEBAN 150 GRAM

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>tr (rise time)</i>	3,32 s
<i>ts (settling time)</i>	29,3 s
<i>PO (percent overshoot)</i>	6,46 %

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah dilakukan pada setpoint 100 rpm dengan beban 150 gram bisa dilihat bahwa *rise time* cepat tetapi *settling time* cukup lambat di karenakan adanya beban namun PO tidak telalu besar saat mencapai *steady state*.

- Setpoint 60 rpm beban 150 gram



Gambar 15 Grafik respon sistem SP 60 rpm beban 150 Gram

Berdasarkan hasil pengambilan data pada grafik, dapat di analisa respon sistemnya yang di jelaskan sebagai berikut :

TABEL IV  
 KARAKTERISTIK RESPON DENGAN SP 60 RPM BEBAN 150 GRAM

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>tr (rise time)</i>	8,19 s
<i>ts (settling time)</i>	15,8 s
<i>PO (percent overshoot)</i>	3,75 %

Berdasarkan hasil pengambilan data yang telah dilakukan pada setpoint 60 rpm dengan beban 150 gram, dapat dilihat bahwa *rise time* dan *settling time* cukup lambat namu PO tidak melebihi 4%.

4.10 Analisa Data

TABEL V  
 PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SISTEM DENGAN BEDA SETPOINT BEBAN 150 GRAM

Performa Respon Kurva	SP 100 RPM	SP 60 RPM
<i>tr (rise time)</i>	3,32 s	8,19 s
<i>ts (settling time)</i>	29,3 s	15,8 s
<i>PO (percent overshoot)</i>	6,46 %	3,75 %

Berdasarkan tabel V perbandingan antara setpoint 100 dan setpoint 60 adalah semakin tinggi setpoint yang digunakan maka *Percent Overshoot* semakin besar dan respon sistem semakin lambat. Dikarena kan pengaruh beban membuat sistem melambat tetapi pada saat percobaan menggunakan setpoint 60 bisa di lihat pada tabel V waktu menuju setpoint lebih cepat 13,5 detik dari setpoint 100 dan PO selisih 2,71 % meskipun *rise time* pada setpoint 60 sedikit lambat yaitu 8,19 s sedangkan setpoint 100 di dapat 3,32s. Namun keseluruhan pengujian ini menunjukkan kontrol PID bekerja meskipun di beri gangguan beban respon sistem melambat.



TABEL VI  
 HASIL PENGUJIAN

No	Biji plastik (Gram)	Kecepatan (rpm)	Hasil Filament (meter)	Waktu Pencetakan (menit)
1	150	100	15	± 20
2	150	60	26	± 45

Tabel VI diatas adalah hasil percobaan pencetakan *filament* dengan dua kali percobaan, dengan beban berupa biji plastik 150 gram, *setpoint* yang digunakan adalah 100 rpm dan 60 rpm serta waktu yang dibutuhkan hingga biji Plastik meleleh ke dalam *nozzle* (pencetakan) sampai tidak ada lelehan plastik lagi yang keluar dari *nozzle*.

Disini didapatkan suatu analisis bahwa *setpoint* yang diberikan sangat berpengaruh terhadap respon sistem. Pada *setpoint* yang berbeda, respon sistem berpengaruh pada kesetebilan motor yang berbanding lurus dengan hasil pencetakan. dan hasil panjang *filament* berbeda dikarenakan pada saat menggunakan *setpoint* 100 rpm motor penarik *puller* tidak dapat menarik keluaran *filament* yang terlalu cepat dan membuat *filament* menumpuk di dalam *water cooling*. Disini dapat diketahui pula bahwa lama waktu pencetakan dengan Metode PID kurang baik tetapi menghasilkan kecepatan yang konstan meskipun untuk menuju *setpoint* membutuhkan waktu yang tidak singkat di karenakan pengaruh beban.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari proses keseluruhan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan menggunakan sensor obstacle photodiode untuk mengatur kecepatan motor DC dapat diketahui rata rata *error* setiap pembacaan sensor terhadap perubahan adalah 0,13% . Hal ini menunjukkan bahwa *error* tersebut masih dapat di toleransi dan sensor *obstacle photodiode* tersebut layak digunakan.
2. Dengan mengimplementasikan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) dengan parameter  $K_p = 0,06$  dan  $K_i = 0,135$  dan  $K_d = 0,05$ , pada motor DC penggerak screw , metode PID mampu mempercepat sistem menuju *setpoint* yang ditentukan jika tanpa beban. Diperoleh *Percent Overshoot* (PO) 0,13%, *Rise Time* (TR) 0,04132s saat *setpoint* 150 rpm, dan dengan beban di peroleh *Percent Overshoot* (PO) 3,75%, *Rise Time* (TR) 8,19s saat *setpoint* 60 rpm dengan beban 150 gram , meskipun respon melambat kinerja dari PID mampu membuat system stabil pada *setpoint* yang di tentukan.
3. Dengan menggunakan kontrol PID, waktu yang diperlukan untuk pencetakan filament relatif lebih lama , namun hasil pencetakan filament yang diperoleh lebih baik dibandingkan hasil pencetakan tanpa kontrol.

4. Motor DC yang digunakan pada saat proses pencetakan *filament* tidak dapat bertahan lama , karena motor DC akan panas di sebabkan motor tidak bekerja pada *range* tegangan kerjanya yaitu 24V dan beban yang di terima motor terlalu besar sehingga arus yang di butuhkan besar dan itu mengakibatkan motor DC dan driver motor menjadi cepat panas.

### 5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut penyusun memberi saran sebagai berikut :

Untuk menghasilkan hasil pencetakan filament yang maksimal, kecepatan motor DC harus konstan dan sinkron dengan proses pemanas agar mendapatkan hasil yang maksimal.

## REFERENSI

- [1]Albert,P.Malvino (2013). *Elektronika dasar "Sensor Photodiode"* Penerbit Elrlangga.
- [2]Firmansyah. 2016. "Sistem Pengendali kecepatan motor DC pada konveyor barang menggunakan control PI berbasis Arduino Uno".
- [3]Andrianto, M. 2014. *Kendali Kecepatan Motor Direct Current (DC) Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Controller Terhadap Beban*. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Malang.
- [4]Nugraha, Rifky. 2014. *Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC pada Alat Pengaduk Adonan Dodol Menggunakan Kontrol PID*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Brawijaya.
- [5]Amalia Tsaltsa. 2018. "Penerapan PID Control untuk pengendalian kecepatan *spinner motor* pada proses sari apel dengan fitur HMI (Human Machine Interface)".Politeknik Negeri Malang.
- [6]Putranto, Pradana Perwira. 2016. *Implementasi Metode PI(Proportional Integral) Pada Pengaturan Kecepatan Crusher Motor Dalam Proses Ekstraksi Buah Apel*. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Malang.
- [7]Brando.2013. "Pengaruh Kecepatan putar dan Kekentalan bubur Kedelai terhadap Rendemen Tahu".
- [8]Atisobhita. 2017. "Implementasi Kontrol PI pada Pengaturan Kecepatan Motor DC".
- [9]<https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-uno.html>
- [10]k1301.ilearning.me/tentang-pwm-pulse-width-modulation
- [11]Gude, Juan (2010). Modified Ziegler-Nichols Method For Fractional PI Controllers : Jurnal IEEE

