

Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Penggulungan Hasil Cetak *Filament* Berbahan Daur Ulang (3D Printing)

Yudi Utomo, Budhy Setiawan, Indrazno Siradjuddin

Abstrak — Pada proses pencetakan *filament* adalah pemosisi dan penggulungan. Pada beberapa proses penggulungan, proses tersebut masih dilakukan secara *manual* sehingga waktu kurang optimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu alat yang mampu menggulung benang *filament* dengan baik yang bisa dilakukan dengan alat penggulungan yang terkontrol kondisi *filament* nya. Pengamatan hasil penggulungan dilakukan dengan membandingkan atau melihat pengaruh kondisi *filament* dan kecepatan putaran *spooling* terhadap hasil penggulungan. Dengan pengaturan kondisi *filament* yang tepat diharapkan mendapatkan hasil penggulungan yang baik. Berdasarkan pengujian didapatkan *respon system* yang baik dengan nilai $K_p=2,2$ $K_i=1,7$ dan $K_d=1,07$ Prinsip kerja penggulungan benang *filament* ini yaitu menstabilkan kondisi *filament* pada *spooling* terhadap benang *filament* yang digulung, dengan maksimum benang *filament* 1kg. Jika *setpoint* yang dimasukkan adalah Preset Value 3 maka kecepatan akan meningkat kemudian menyesuaikan dengan *setpoint* yang diberikan. Massa yang diberikan berpengaruh terhadap waktu penggulungan. Ketika *spooling* menggulung benang *filament* selanjutnya benang *filament* yang sudah tergulung mencapai batas yang ditentukan yaitu 1kg maka *system* akan mati secara otomatis.

Kata kunci : *filament, spooling, penggulungan, Kontrol PID*

I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, kebutuhan mencetak tidak hanya di atas kertas. Kemajuan teknologi dapat mewujudkan apa yang kita inginkan sesuai imajinasi ke dalam bentuk yang nyata. Kehadiran *3D Printer* menjawab sebuah produk yang di cetak secara desain digital nyata. *3D printing* merupakan sebuah inovasi baru dalam dunia teknologi. Terobosan ini di seluruh belahan dunia sangat populer. Hal ini dikarenakan *printer 3D* mampu membawa kesejahteraan masyarakat.

Terkait dengan pengertiannya, *printer 3D* merupakan sebuah printer yang mampu mencetak benda, sesuai *soft file*-nya, dalam rupa *3D* (tidak hanya sebatas mencetak gambar di kertas saja). Dikarenakan hasil cetakan tidak berupa gambar atau tulisan di kertas, maka *3D*

printer pun tidak memiliki tinta melainkan menggunakan *filament*. *Filament* merupakan bahan yang dijadikan pembuatan produk. Misalnya, untuk membuat objek tiga dimensi dengan struktur yang bermacam-macam maka tinta pada *printer* diganti dengan bahan *filament* yang terbuat dari biji plastik. Dikarenakan bahan dasar dalam pembuatan *3D Printing* ini masih mahal, dan ukuran *filament* 1.75mm dengan begitu dirancang suatu alat yang dapat mempermudah dalam proses pembuatan *3D Printing* dengan cara proses daur ulang bahan *filament* dari biji plastik bekas *3D printing* atau sampah plastik menggunakan *Arduino Mega*.

Pada proses mendaur ulang plastik menjadi *filament* ada beberapa proses yaitu pencacahan, peleburan dan penggulungan. Dalam proses pencacahan sampah plastik diubah menjadi biji plastik, selanjutnya di leburkan, maka proses selanjutnya akan di gulung dengan pengontrolan dari putaran *spool* penggulungan pada proses hasil cetak *filament*, dengan mengatur kecepatan motor DC untuk memutar *spool*, sehingga mudah untuk menggulung hasil dari *filament* setelah proses peleburan. Apabila kecepatan motor penggulung lebih cepat dari *setpoint* maka *filament* akan mengencang dan *filament* bisa putus apabila kecepatan motor lebih pelan dari *setpoint* maka *filament* akan gelendong dan bisa menumpuk. *Spool* penggulungan dipasang pada meja terpisah dan dapat di lepas. Motor dc digunakan untuk memutar *spool* dengan kecepatan yang diinginkan. Terdiri dari satu penyangga untuk tempat *spool* dan pendukung lainnya untuk menahan motor dc. Motor dc digabungkan dengan pipa ke *spool* sebagai shaft.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Jenis-jenis plastik yang paling sering diolah adalah *polyethylena* (PE).*polypropylene* (PP), *polistirena* (PS), *polyethylene terephthalate* (PET) dan *polyvinyl chloride* (PVC).plastik yang akan didaur ulang diberi kode nomor untuk mempermudah pengelompokan. Nomor kode plastik dapat dilihat seperti berikut.



Gambar 1 Nomer kode plastik.

2.2 Mesin Filament Winding

Salah satu metoda pembuatan pipa komposit adalah *Filament winding* dimana serat (*fiber*) di celupkan resin dan di

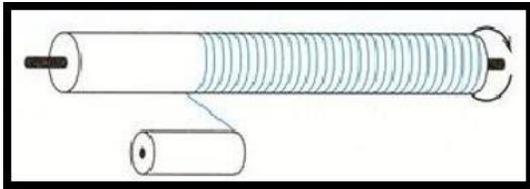
Yudi Utomo adalah mahasiswa D4 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang, email : yudiutomo793@gmail.com

Budhy Setiawan dan Indrazno Suradjuddin adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, email: budhy.setiawan@polinema.ac.id, indrazno@polinema.ac.id

gulung pada mandrel. Proses dilakukan berulang ulang sampai ketebalan yang diinginkan menggunakan mesin pengatur secara otomatis .

2.3 Ulir

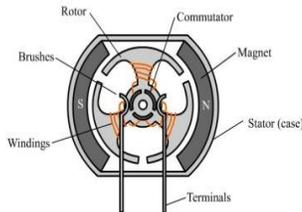
Hal ini dikenal sebagai ketebalan atau melingkar berkelok-kelok. Sebenarnya circumferential winding adalah heliks sudut tinggi berliku yang mendekati sudut 90 derajat. Setiap putaran penuh mandrel kemajuan pengiriman oleh satu Bandwidth penuh seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2 Circumferential Winding

2.4 Motor DC

motor DC adalah motor yang digerakkan oleh energi listrik arus searah. Motor DC tipe ini banyak ditemukan penggunaannya baik di industri maupun di rumah tangga.



Gambar 3 Konstruksi Motor DC.

Konstruksi motor DC seperti pada gambar di atas tersusun dari terminal, brushes (sikat), komutator, rotor, windings (lilitan atau core yang terdapat pada jangkar atau rotor), magnet, dan stator. Terminal motor terdiri atas 2 bagian yaitu terminal positif (+) dan negatif (-) yang berguna sebagai penghubung sumber energi listrik searah dengan motor DC. Stator merupakan body atau badan motor yang didalamnya terdapat magnet kutub utara (north) dan magnet kutub selatan (south), dimana medan magnetik selalu mengarah ke kutub selatan. Brushes menyalurkan arus dari sumber energi listrik menuju kumparan rotor yang selanjutnya rotor dan komutator berputar sesuai kaidah tangan kiri Fleming. Komutator berputar karena komutator sendiri adalah bagian dari rotor yang terhubung pada brushes.



Gambar 4 Kaidah Tangan Kiri Fleming

Sesuai dengan konstruksi motor DC (Gambar 3) dan kaidah tangan kiri Fleming (Gambar 4), ketika motor DC diberi sumber energi listrik searah, maka motor DC akan bergerak sesuai arah jarum jam (clockwise) jika terminal motor diberi polaritas yang sama dengan sumber energi listrik. Putaran motor DC akan berlawanan dari jarum jam (counter clockwise) apabila polaritas sumber energi listrik dipasang terbalik terhadap terminal motor.

Pengaturan kecepatan pada motor DC dapat dilakukan dengan mengubah tegangan yang dicatu ke motor DC tersebut. Hal itu sesuai dengan rumus:

$$\frac{N1}{V1} = \frac{N2}{V2} \dots\dots\dots(1)$$

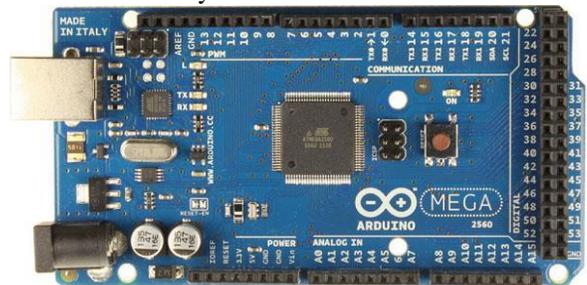
Dengan:

- N₁ = Kecepatan putar motor kondisi awal (rpm)
- V₁ = Tegangan yang dicatu pada kondisi awal
- N₂ = Kecepatan putar motor kondisi akhir (rpm)
- V₂ = Tegangan yang dicatu pada kondisi akhir

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan motor DC berbanding lurus dengan besar tegangan yang dicatu. Maksudnya, motor DC akan semakin cepat berputar apabila tegangan yang diberikan lebih besar, dan berlaku sebaliknya.

2.5 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega 2560 Arduino memiliki 54 digital pin input/output (14 dapat dipakai sebagai keluaran PWM), 16 ana;og input, 4 UART (hardware port serial), 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack daya, header ICSP, dan tombol reset. Ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau daya dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk memulainya.



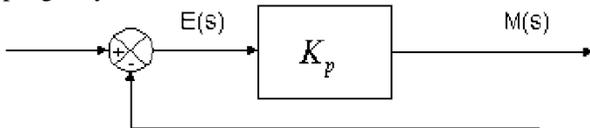
Gambar 5 Arduino Mega 2560

2.6 Pengontrol PID

Adanya beberapa aksi kontrol didalam suatu sistem, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivative. keunggulan Masing-masing aksi kontrol, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan time rise yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk mengecilkan error, dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk mengecilkan error atau meredam overshoot/undershoot. Untuk risetime yang cepat dan error yang kecil dapat dengan kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID.

2.6.1 Pengontrol Proporsional

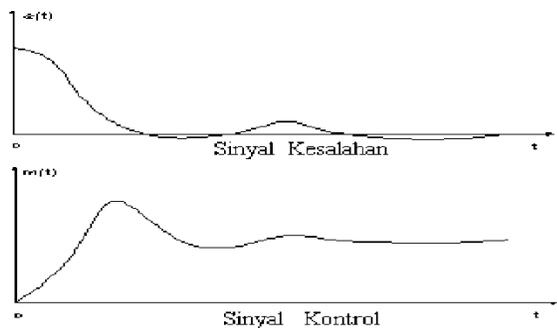
Pengontrol *proporsional* memiliki keluaran yang sebanding atau *proporsional* dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang di inginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol *proporsional* merupakan perkalian antara konstanta *proporsional* dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan sinyal sebesar konstanta pengalinya.



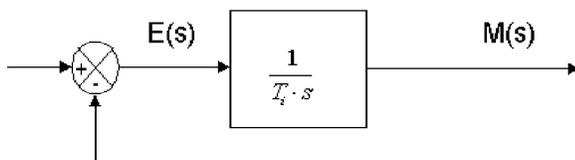
Gambar 6 Diagram Blok Kontroler *Proporsional*.

2.6.2 Pengontrol Integral

Menghasilkan respon system yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol merupakan fungsi dari Pengontrol *integral*. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator* (1/s). Respon sistem dapat diperbaiki dengan pengontrol *integral*, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol. Pengontrol *integral* memiliki karakteristik seperti halnya sebuah *integral*. Keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding akan nilai sinyal kesalahan. penjumlahan yang terus- menerus merupakan *output* pengontrol ini dari perubahan masukannya, keluaran akan selalu menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan.



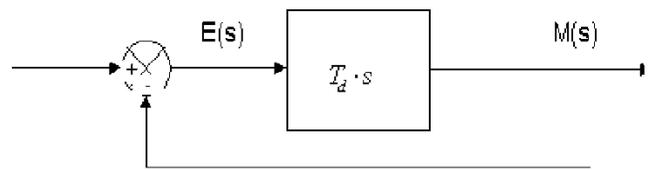
Gambar 7 Kurva Kesalahan $e(t)$ Terhadap t Pada Pembangkit Kesalahan.



Gambar 8 Blok Diagram Hubungan Antara Besaran Kesalahan dengan Pengontrol Integral.

2.6.3 Pengontrol Derivative

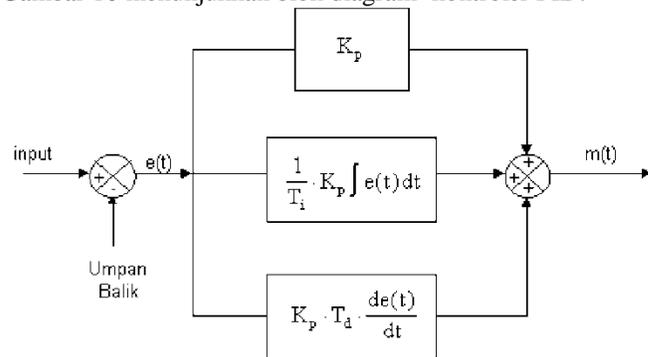
Sifat seperti pada suatu operasi *differensial* merupakan Keluaran pengontrol *Derivative*. Perubahan yang amat besar dan cepat terjadi karena Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol,. Gambar 9 menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran pengontrol yang ditunjukkan dalam blok diagram.



Gambar 9 Blok Diagram Pada Pengontrol *Derivative*.

2.6.4 Pengontrol PID

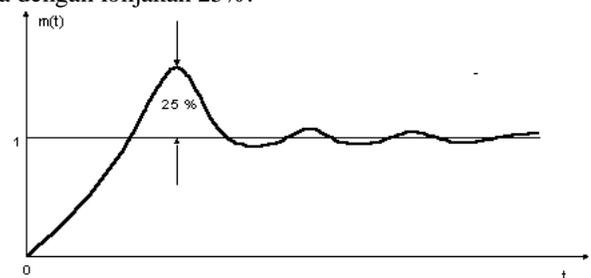
Pengontrol *proporsional plus integral plus derivative* (pengontrol PID) setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel. Untuk tujuan mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar dengan elemen- elemen pengontrol P, I dan D masing- masing secara keseluruhan. Gambar 10 menunjukkan blok diagram kontroler PID.



Gambar 10 Blok Diagram Kontroler PID Analog[8].

2.6.5 Metode Ziegler-Nichols

Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Metode *Ziegler-Nichols* pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942 Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25% . Gambar 11 menunjukkan kurva dengan lonjakan 25%.

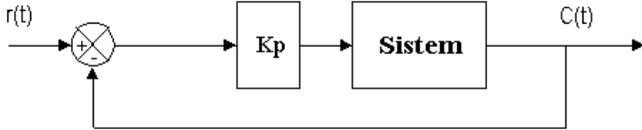


Gambar 11 Kurva Respons Tangga Satuan yang Memperlihatkan 25% Lonjakan Maksimum .

2.6.6 Metode Osilasi

Reaksi *system* untaiian tertutup didasarkan pada metode ini. Plant disusun serial dengan *kontroller* PID. Semula parameter parameter *integrator* disetel tidak berhingga dan parameter *diferensial* disetel nol ($T_i = \infty ; T_d = 0$). Parameter *proporsional* kemudian besarkan bertahap Mulai dari nol sampai tercapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan

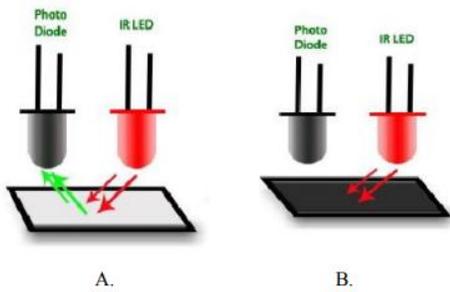
magnitude tetap (*Sustain oscillation*). Gambar 12 menunjukkan rangkaian proses tertutup pada cara *osilasi*.



Gambar 12 Sistem Untaian Tertutup dengan Alat Kontrol Proporsional.

2.7 Sensor Obstacle Infrared

Photodiode pada gambar cahaya pada led jika terhalang oleh permukaan hitam sehingga *photodiode* tidak dapat menerima cahaya dari led maka nilai resistansi R1 maksimum, sehingga nilai *Vout* akan mendekati *Vcc* yang berlogika 1 (*high*). Adapun aplikasi dari rangkaian sensor *photodiode* yang telah dijelaskan sebelumnya dapat terlihat pada gambar 13A dan 13B.



Gambar 13 Prinsip Kerja Sensor *Obstacle Infrared*.

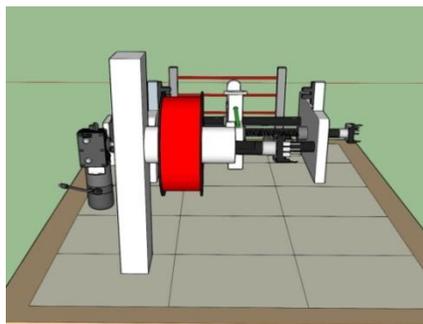
III. METODE PENELITIAN

3.1 Perancangan Mekanik

Alat penggulungan hasil cetak *filament* (*3D Printing*) ini menggunakan motor *DC* sebagai aktuator penggulung dari hasil cetakan *filament* (*3D Printing*) ke alat *winding*. Dalam perancangan alat ini terdiri dari :

- *Spooling*
- Motor *DC* sebagai

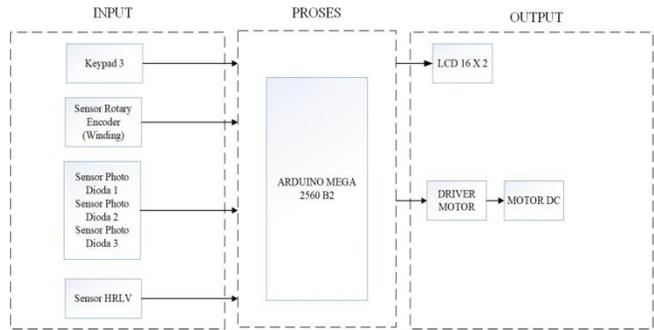
Berikut adalah design dari mekanik.



Gambar 14 Design Mekanik Pemosisi *Filament*

3.2 Blok Diagram Sistem Penggulungan *Filament*

Di dalam perancangan dan pembuatan suatu alat, terdapat komponen - komponen utama ataupun pendukung sehingga perlu digambarkan dengan blok diagram.



Gambar 15 Diagram Blok Sistem Penggulungan *Filament*

Dari Gambar 15 dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing

1. *Keypad*

Digunakan sebagai perangkat interaksi antara pengguna untuk melakukan pengaturan nilai *set point* kondisi *filament*.

2. *Sensor Obstacle Infrared (Winding)*

Sensor kecepatan motor *winding* menggunakan sensor *Obstacle Infrared* untuk input sistem pemosisi *filament*

3. *Sensor Obstacle Infrared (1,2,3)*

Sensor kondisi *filament* menggunakan sensor *Obstacle Infrared* untuk men-*sensing* kendur atau kencangnya kondisi *filament* dan nantinya akan di kuatkan ke dalam kontrol *PID*.

4. *LCD 16x2*

Digunakan untuk menampilkan kondisi *filament* berada dalam kondisi dimana dan untuk menampilkan nilai *set point* yang diberikan atau sedang menjalankan proses penggulungan hasil cetak *filament* (*3D Printing*).

5. *Mikrokontroler Arduino Mega 2560*

Sebagai mikrokontroler yang mendapatkan data dari sensor *rotary obstacle Infrared* (1,2,3) yang nantinya akan mengeluarkan *output* *pwm* untuk mengatur kecepatan motor *DC* dengan menggunakan metode *PID*.

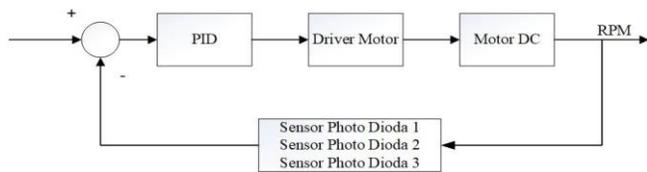
6. *Driver Motor*

Untuk mengendalikan dan menguatkan sinyal dari mikrokontroler menuju motor *DC*.

7. *Motor DC*

Sebagai aktuator yang dikontrol dalam proses penggulungan hasil cetak *filament* (*3D Printing*) berbahan daur ulang.

3.3 Blok Diagram Kontrol Penggulungan Filament



Gambar 16 Blok Diagram Kontrol Penggulungan Filament

3.4 Spesifikasi

Spesifikasi *hardware* dalam perancangan alat ini terdiri dari spesifikasi elektronik dan spesifikasi mekanik.

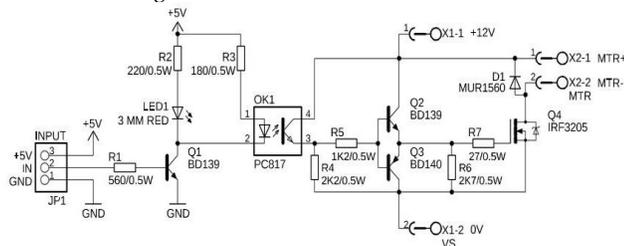
- **Spesifikasi Mekanik**

- 1) Dimensi Alat Pemosisi *Filament*
 Panjang : 10 cm
 Lebar : 10 cm
 Tinggi : 30 cm
- 2) Dimensi *Box Control*
 Panjang : 25 cm
 Lebar : 9 cm
 Tinggi : 35 cm

- **Spesifikasi Elektronik**

- 3) *Microcontroller* : *Arudino Mega 2560*
- 4) Tampilan : LCD 16x2
- 5) Sensor *Obstacle Infrared* (1)
- 6) Sensor *Obstacle Infrared* (2)
- 7) Sensor *Obstacle Infrared* (3)
- 8) AKtuator : Motor DC
- 9) Tegangan Kerja : 220 VAC

3.5 Perancangan Driver Motor



Gambar 17 Rangkaian *Driver Motor*

Pada gambar diatas merupakan rangkaian *driver motor* DC yang berfungsi untuk menggerakkan motor DC pada proses pencetakan *filament* , untuk menggerakkan motor DC diperlukan tegangan maksimum 12 VDC dan arus maksimum 3 Ampere (pada saat starting motor arsa 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.

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 sinyal PWM dari *digital I/O* pada *pin Arduino Mega* kemudian dihubungkan

dengan resistor 220Ω, dan kaki katoda PC817 dihubungkan dengan GND *Arduino Mega*. Selain untuk men-*trigger* MOSFET IRF3205, *optocoupler* PC817 juga berfungsi untuk memisahkan *Arduino Mega* sebagai rangkaian kontrol dengan MOSFET IRF3205, dan sebagai pengaman untuk *Arduino Mega* 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

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

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

$$R_1 = \frac{V_{\text{arduino}}}{I_b} = 560 \Omega$$

- 2) LED

$$I_F = 16 \text{ mA}$$

$$V_F = 1.8 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{V_{\text{arduino}} - V_F}{I_F} = 220 \Omega$$

- 3) PC817

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

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

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

$$R_3 = \frac{V_{\text{arduino}} - V_F}{I_c} = 180 \Omega$$

$$R_4 = \frac{V_s - V_{ce}}{I_{R4}} = 2,2 \text{ k}$$

$$R_5 = \frac{V_s - V_{ce}}{I_b} = 1.2 \text{ k}$$

- 4) BD139 & BD140

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

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

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

$$R_6 = \frac{V_s - V_{ce}}{I_{R6}} = 2.7 \text{ k } \Omega$$

- 5) IRF3205

R7 → Tidak ada ketentuan , rata – rata menggunakan 27 Ω

di *datasheet* 25 Ω

$$V_{GS} = V_s - V_{ce} = 11.5 \text{ V}$$

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

Dengan:

V_F = *Forward Voltage* pada PC817 (Volt)

I_F = *Forward Current* pada PC817 (mA)

V_s = Tegangan Sumber yang diberikan ke *collector* PC817

V_{ce} = *Forward Voltage* pada collector-emitter BD139

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 VDC 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 12VDC dan anoda

dioda dipasang searah dengan kutub negatif (-) motor DC menuju *drain* MOSFET

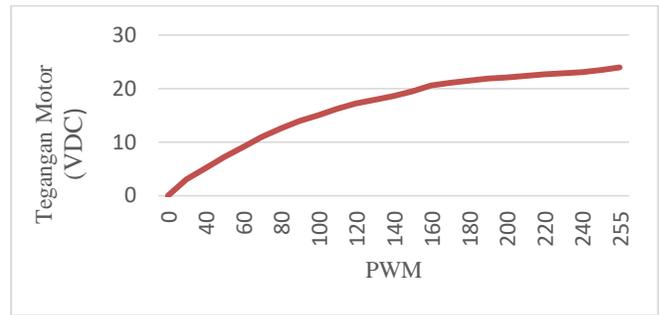
IV. HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian Driver Motor DC

Pengujian rangkaian driver motor DC ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai PWM dari *Arduino mega* dari 0 hingga 255, dan motor DC diberi tegangan 12 VDC. Berikut merupakan hasil perubahan tegangan pada motor DC berdasarkan perubahan nilai PWM dari *Arduino mega*.

Tabel 1 Tabel Hasil Pengujian Driver Motor DC

Duty Cycle %	Tegangan Motor (VDC)
0	0
5	3
10	5,1
15	7,2
20	9,1
25	10,9
30	12,5
35	13,9
40	15
45	16,2
50	17,2
56	17,9
60	18,6
65	19,5
70	20,5
75	21
80	21,4
85	21,8
90	22
95	22,3
100	22,6



Gambar 18 Grafik Tegangan Motor Berdasarkan Duty Cycle

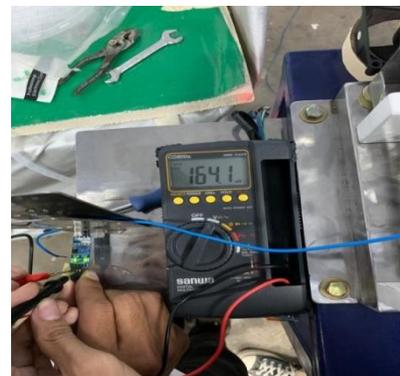
4.2 Pengujian Sensor Obstacle Infrared

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan logika sebelum dikalibrasi dan setelah dikalibrasi yang dibaca oleh sensor photodioda. Setelah mengetahui hasil akhir dari kalibrasi maka langkah selanjutnya adalah mengalhagi sensor dengan *filament* nilai output dari sensor photo dioda



Gambar 19 Pengujian Sensor *Photodiode* Pada Saat Tidak Ada *Filament* (3D printing)

Hasil dari pengujian sensor *photodiode* diatas tanpa dilewati *filament* (3D printing) di dapatkan tegangan 4.95V (5V) pada saat tidak ada *filament* (3D printing) atau berlogika "1"



Gambar 20 Pengujian Sensor *Photodiode* Pada Saat Ada *Filament* (3D printing)

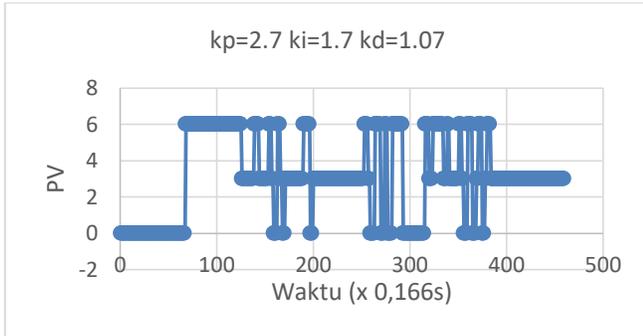
Hasil dari pengujian sensor *photodiode* diatas dilewati *filament* (3D printing) di dapatkan tegangan 164.1 mV (0V) pada saat ada *filament* (3D printing) atau berlogika "0"

4.2 Pengujian Metode Osilasi PID Ziegler-Nichols

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*

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 menjadi sistem menjadi stabil.

Pengujian metode osilasi PID Ziegler-Nichols pada penggulangan *filament* (3D Printing) dilakukan dengan memasukkan K_p dengan nilai 2,7 dan K_i dengan nilai 1.7 dan K_d dengan nilai yaitu 1,07 serta menganalisis respon motor dalam proses penggulangan *filament* (3D Printing) yang diberikan metode PID tersebut.

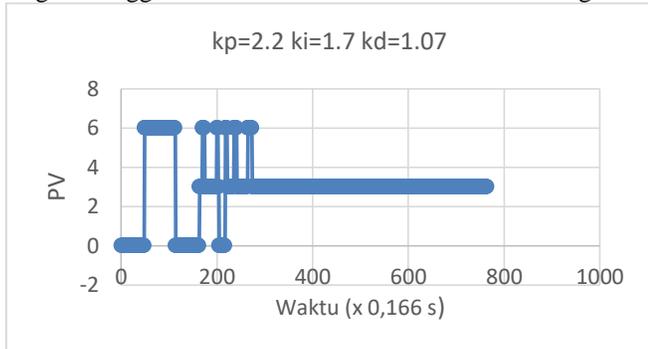


Gambar 21 Respon Penggulangan *filament* (3D Printing) Metode PID Ziegler-Nichols

Gambar grafik 21 di atas menunjukkan bahwa kondisi *filament* dalam proses penggulangan *filament* (3D Printing) dengan kontrol tanpa beban memiliki *maximum peak* (Mp) pv 6 dengan *peak time* (tp) 1,49 s, kemudian menuju *setpoint* pada 54,09 s dengan posisi *filament* pada preset value 3. Selain itu pada grafik juga menunjukkan bahwa posisi *filament* dalam proses penggulangan *filament* (3D Printing) pada waktu *steady state* tidak tepat pada *setpoint* pv 3, namun selalu beresilasi antara preset value 0 dan preset value 6. *Percent Overshoot* (PO) yang dihasilkan oleh penggulangan *filament* (3D Printing) yang terkontrol.

4.3 Pengujian Metode PID Trial Error

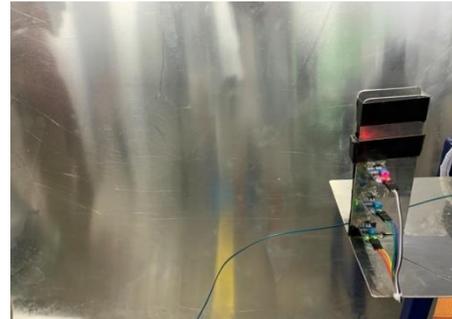
Pengujian metode *Trial and Error* saat proses penggulangan *filament* (3D Printing) dilakukan dengan mengubah nilai K_p , K_i dan K_d diperoleh melalui cara melihat respon sistem berupa grafik yang kemudian menganalisis metode PID pada respon kondisi *filament* dalam proses penggulangan *filament* (3D Printing). Hal ini digunakan untuk menentukan apakah dengan menggunakan metode ini lebih baik atau kurang baik



Gambar 22 Respon Penggulangan *Filament* (3D Printing) menggunakan Metode PID Trial and Error

Gambar 22 di atas menunjukkan bahwa kondisi *filament* pada proses penggulangan *filament* (3D Printing) dengan kontrol beban memiliki *maximum peak* (Mp) Preset Value 6 dengan *peak time* (tp) 8,01 s, kemudian menuju *setpoint* pada 43,57 s dengan posisi *filament* di Preset Value 3. Selain itu pada grafik juga menunjukkan bahwa kondisi *filament* pada proses penggulangan *filament* (3D Printing) waktu *steady state* tidak tepat pada *setpoint* preset value 3, namun selalu beresilasi antara Preset Value 0 hingga preset value 6 .

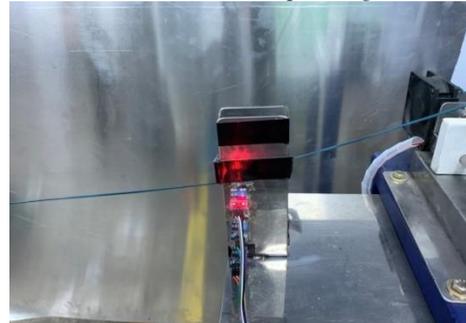
4.4 Analisa Data



Gambar 23 Kondisi *Filament* (3D printing) Kendor



Gambar 24 Kondisi *Filament* (3D printing) Stabil



Gambar 25 Kondisi *Filament* (3D printing) Tegang

Berdasarkan grafik pada gambar 22 hasil percobaan yang telah dilakukan dapat di analisa bahwa sistem PID akan berusaha menstabilkan pada *setpoint* yang diberikan yaitu PV 3 dengan t_s (settling time) 41,2s terlihat *filament* mulai stabil dalam penggulangan.

Pada saat kondisi *filament* di Preset Value 0 terlihat terlalu kendur dan bisa menyebabkan penumpukan *filament* sehingga motor penggulangan akan mempercepat proses penggulangan dapat dilihat pada gambar 23. Untuk kondisi Preset Value 3 terlihat bahwa *filament* stabil atau kondisi yang diinginkan pada proses penggulangan sehingga motor penggulangan akan mempertahankan kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 24. Dan untuk kondisi Preset Value 6 terlihat *filament* dengan

kondisi tegang yang bisa menyebabkan *filament* putus sehingga motor penggulungan akan memperlambat putarannya dapat dilihat pada gambar 25.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa pengaturan kecepatan otomatis telah berhasil dibuat dan bekerja dengan baik dan dapat dikontrol kecepatannya. Dan berikut ini adalah kesimpulan lain yang didapatkan:

1. Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan bahwa nilai parameter K_p , K_i , dan K_d didapatkan dengan perhitungan metode *Ziegler Nichols* dengan nilai $K_p = 2,7$, $K_i = 1,7$, $K_d = 1,07$. Memiliki *rise time* (t_r) sebesar 1,49 s, *settling time* (t_s) 54,09 s, *peak time* (t_p) 1,49 s dan *Percent Overshoot* (P_o) sebesar 1%.
2. Untuk hasil respon sistem dengan perancangan dirasa kurang baik sehingga diperbaiki dengan *trial error* ditemukan nilai $K_p = 2,2$ dan $K_i = 1,7$ dan $K_d = 1,07$ pada motor DC dalam proses penggulungan *filament* (3D Printing), metode PID *trial error* mampu mempercepat sistem menuju *setpoint* yang ditentukan. Diperoleh *Percent Overshoot* (PO) 1 %, *Rise Time* (TR) 8,01 s saat *setpoint* PV 3, *Settling Time* (TS) 43,57 s, *Peak Time* (TP) 8,1 s.
3. Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan bahwa metode *Ziegler Nichols* memiliki *settling time* (t_s) 54,09s, lebih lama dibandingkan dengan *trial error* yang memiliki *settling time* (t_s) 43,57 s.

5.2 Saran

Penggulungan *filament* yang telah dibuat masih banyak kekurangan. Perlu adanya perbaikan dan penyempurnaan agar alat ini dapat bekerja secara optimal. Ada beberapa hal yang disarankan untuk perbaikan dan penyempurnaan yaitu:

1. Untuk menghasilkan penggulungan yang maksimal perlu penambahan puller dengan kontrol kecepatan yang sama pada motor penggulungan atau motor ekstruder.
2. Penambahan sensor obstacle untuk mengetahui kondisi *filament* yang lebih akurat.
3. Dari segi mekanik, sebaiknya perlu ditambah karet antara kerangka penggulungan dengan meja agar meredam getaran saat proses penggulungan yang dapat mengganggu sistem.
4. Dari segi *software*, perlu adanya metode control lain sebagai perbandingan apakah metode baru yang digunakan lebih baik atau kurang baik dibandingkan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) yang digunakan saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M Kambalur, B, DKK. 2016. *3D Printer Filament Extruder For Plastic Recycling*. Department of Electronics and Communication Engineering. B.M.S College Of Engineering.
- [2] Budi Surono, Untoro. *Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Janabadra.
- [3] Wirno Azhar, D. 2016. *Rancang Bangun Mesin Filament Winding*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Pasundan Bandung.

- [4] Andrianto, M. 2014. *Kendali Kecepatan Motor Direct Current (DC) Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Controller Terhadap Beban*. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Malang.
- [5] Arifin Jahari. 2016. *Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560*.
- [6] Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*, Prentice Hall : New Jersey.
- [7] Johnson, Curtis. 1988. *Process Control Instrumentation Technology*, Englewood Cliffs. New Jersey.
- [8] Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Sitem Pengendali Proses*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta
- [9] Bukardi Sukma. 2015. *Perancangan Dan Pembuatan Semi Automatic T-Shirt Folding Machine Menggunakan Metode Fuzzy Proportional Derivative*.
- [10] "Pengertian Optocoupler dan Prinsip Kerjanya". 2019. <https://teknikelektronika.com/pengertian-optocoupler-fungsi-prinsip-kerja-optocoupler/>

LAMPIRAN

