

Monitoring Kecepatan Dan Suhu Pada Purwropa Alat Pengolah Limbah Sampah Botol Plastik Menjadi Filamen

1st Afif Mustaqim Syani
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
afifsyani@student.telkomuniversity.ac.id

Ahmad Sugiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
sugianaa@telkomuniversity.ac.id

Irham Mulkan Rodiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
irhammulkan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penumpukan sampah plastik dari botol air minum dan Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang terbuat dari *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan permasalahan serius. Jenis sampah ini merupakan penyumbang terbesar penumpukan sampah. Untuk mengatasi masalah ini, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menerapkan konsep 3R (Reuse, Reduce, dan Recycle). Untuk mendukung konsep 3R yang diusulkan oleh pemerintah, penelitian ini melakukan *recycle* sampah botol plastik jenis PET sebagai filamen 3D *printing*.

Penelitian ini membuat rancang bangun mesin untuk mendaur ulang limbah botol plastik jenis PET menjadi filamen 3D *printing* dengan fokus menggunakan botol plastik merek “Aqua” dengan besar 1,5L. Mesin ini menggunakan mikrokontroler arduino uno sebagai sistem kendali kecepatan, sedangkan mikrokontroler ESP8266 sebagai sistem kendali suhu dan penghubung antara aplikasi dan mikrokontroler arduino uno.

Pengujian dilakukan dengan mencoba berbagai variasi suhu dan kecepatan. Percobaan suhu diuji mulai dari 180°C hingga 210°C, sedangkan percobaan kecepatan diuji mulai dari 1 *Round Per Minute* (RPM) hingga 4 RPM. Filamen yang terbaik dari variasi suhu dan kecepatan akan diuji coba untuk mencetak 3D Vase dan 3D Benchy. Filamen dengan variasi suhu dan kecepatan yang terbaik untuk mencetak 3D Vase dan 3D Benchy adalah kombinasi kecepatan 2 RPM dan suhu 200°C, serta kecepatan 3 RPM dan suhu 210°C.

Kata kunci : Sampah plastik, botol air minum, Polyethylene Terephthalate (PET), mendaur ulang, filamen 3D *printing*.

I. PENDAHULUAN

Botol air minum ringan dan Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang termasuk dalam kategori plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan salah satu jenis sampah plastik yang sering digunakan

dan menjadi salah satu penyumbang besar penumpukan sampah plastik. Dengan menggunakan gagasan 3R (Reuse, Reduce, dan Recycle), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan berharap dapat mengurangi sampah plastik.

Konsep *Reuse* mengacu pada pemanfaatan kembali sampah botol plastik menjadi alat yang mempunyai fungsi yang baru, seperti sebagai media tanam, wadah alat tulis, bahkan sebagai hiasan ruangan. *Reduce* dimana mempertimbangkan terlebih dahulu barang sebelum dibuang atau memperkirakan kemungkinan digunakan kembali (Reuse). *Recycle* berfokus mendaur ulang sampah botol plastik menjadi sesuatu yang baru dan berguna. Contohnya menjadi bahan baku filamen 3D *printing*.

Industri 4.0 pertama kali diinisiasi pada tahun 2013 oleh Pemerintah Jerman. Industri 4.0 merupakan istilah untuk mendeskripsikan revolusi industri. Pada revolusi industri yang terbaru ini, perkembangan industri merujuk kepada empat hal; interkoneksi, transparansi informasi, bantuan teknis dan desentralisasi. Salah satu hasil perkembangan industri 4.0 adalah percetakan tiga dimensi, atau biasa disebut dengan 3D *printing* [1].

Seiring waktu, jenis 3D *printing* telah berkembang dan mengikuti kebutuhan industri yang beragam. Adapun jenis-jenis 3D *printing* adalah *Stereolitografi* (SLA) jenis ini telah digunakan secara luas pada tahun 1980-an, bahan yang digunakan merupakan jenis cairan yang membeku setelah terkena sinar UV; Sintesis Laser Selektif (SLS) jenis ini memiliki bentuk dan cara kerja yang mirip dengan SLA namun bahan yang digunakan merupakan bahan bubuk yang terbuat dari kaca, nilon, dan bahan keramik; Pemodelan Deposisi Fused (FDM) jenis ini menggunakan bahan plastik untuk pencetakan, metode ini yang paling hemat biaya, ramah lingkungan, dan pencetakannya relatif cepat; Pemrosesan Cahaya Digital (DLP) jenis ini mirip dengan tipe SLA, perbedaan kedua jenis ini hanya

pada sinar yang digunakan. SLA menggunakan sinar UV dan DLP menggunakan layar proyektor dengan pencahayaan digital [2].

Sedangkan jenis yang paling banyak digunakan saat ini adalah FDM. ABS, ASA, Nylon, PC + ABS, merupakan bahan FDM yang saat ini tersedia dalam berbagai warna. Saat ini di Indonesia bahan utama 3D *printing* masih diimpor dengan harga yang cukup mahal. Karena FDM ini menggunakan bahan plastik sebagai bahan untuk pencetakan maka ini bisa menjadi jawaban atas masalah lingkungan yang dihadapi dunia saat ini.

II. Kajian Teori

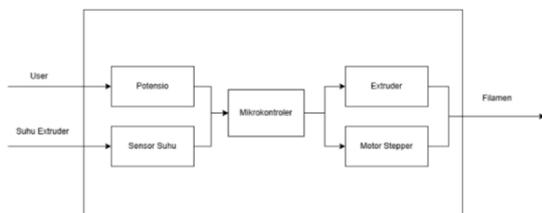
2.1 DESAIN KONSEP SOLUSI

Pada tugas akhir ini akan dibuat perancangan dan pembuatan Upcycle Botol Plastik menjadi Filamen. Konsep perancangan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 1. Desain Konsep Solusi

Berdasarkan diagram pada gambar 2.1 adalah diagram blok level 0 yang menggambarkan penggunaan dengan bantuan *user* untuk pembuatan filamen dari botol plastik. Ini meningkatkan efisiensi produksi dan mendukung daur ulang plastik yang ramah lingkungan.



2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sistem kendali atau susunan komponen fisik yang saling terkait sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur sistem-sistem yang terkait dengannya. Dengan kata lain *mikrokontroler* dapat diibaratkan sebagai otak atau pengendali dari suatu rangkaian elektronika [9]. Dalam sebuah IC mikrokontroler terdapat ROM, RAM, EPROM, *serial interface*, *parallel interface*, *timer*, *interrupt kontroler*, *converter analog ke digital*. Salah satu merk dari *mikrokontroler* yang paling banyak digunakan adalah arduino.

2.3 Relay

Relay adalah saklar yang dioperasikan secara elektrik. Kebanyakan *relay* menggunakan electromagnet untuk mengoperasikan mekanisme *switching* mekanis, tetapi prinsip-prinsip lain juga digunakan. *Relay* digunakan ketika diperlukan pengendalian rangkaian dengan sinyal kecil (dengan isolasi listrik lengkap antara kontrol dan sirkuit yang dikontrol), atau dimana beberapa sirkuit harus

dikontrol oleh satu sinyal. *Relay* digunakan secara luas dalam sentral telepon dan komputer generasi awal untuk melakukan operasi logis. Jenis *relay* yang dapat menangani daya tinggi yang dibutuhkan untuk mengontrol motor elektrik disebut *contactor*.

2.4 Sensor Suhu

Melakukan Pengukuran terhadap jumlah energi panas yang di hasilkan suatu objek yang mana memungkinkan kita untuk mengetahui perubahan suhu pada benda dan mengubah nya menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan bisa di tampilkan dalam bentuk *output* analog maupun digital.

2.5 LCD

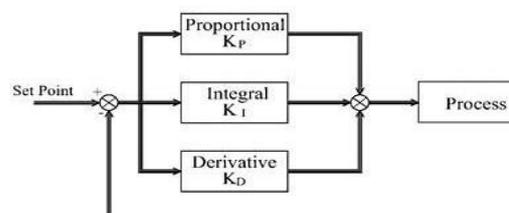
LCD atau *Liquid Crystal Display* adalah jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair untuk menghasilkan gambar yang terlihat. Teknologi *Liquid Crystal Display* (LCD) telah banyak digunakan pada produk-produk seperti monitor laptop, monitor ponsel, monitor komputer, tampilan jam tangan digital, monitor multimeter, monitor komputer, televisi, monitor *game mobile*, tampilan termometer digital dan produk elektronik lainnya.

2.6 Motor Stepper

Motor stepper adalah jenis motor listrik yang dikendalikan menggunakan pulsa-pulsa digital, bukan dengan memberikan tegangan terus-menerus. Setiap deretan pulsa yang diberikan akan diartikan sebagai putaran pada *shaft* motor dan setiap putaran memerlukan jumlah pulsa tertentu [9]. Cara kerja motor stepper adalah gerak pada benda tegar terdiri dari gerak rotasi, gerak translasi dan gerakan campuran rotasi atau translasi. Sedangkan sebagai penghasil gerak berupa sebuah motor *stepper*. *Motor stepper* ini hanya menghasilkan gerak rotasi, sedangkan untuk membuat sebuah sistem permesinan bukan hanya diperlukan gerak rotasi saja, tetapi juga menggunakan gerak translasi. *Motor stepper* yang digunakan memiliki spesifikasi 12V / 1.5A dan untuk menyalakannya menggunakan *power supply* dengan spesifikasi 12V / 40A.

2.7 Kontroler PID

Ada berbagai jenis kontroler yang dapat digunakan pada suatu sistem, untuk tugas akhir ini penulis memilih sistem kontrol PID. Sistem Kontrol PID atau *Proportional-Integral-Derivative* adalah sebuah sistem kontrol yang sering dipakai pada dunia industri dikarenakan struktur yang mudah dibentuk, reliabilitas yang tinggi, dan sistem yang adaptif. Untuk mendapatkan *plant* dengan respon yang baik dan cepat, harus mengatur parameter pada kontrol PID yaitu kontrol proposional, kontrol *derivatif*, dan kontrol integral. Pemilihan tipe kontrol yang digunakan tergantung pada kebutuhan dari *plant* yang akan menggunakan kontrol PID. Algoritma dari PID dapat dijelaskan dari gambar dibawah ini



Gambar 3. Blok Diagram Algoritma PID

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dimana:

$$u(t) = \text{output kendali} \quad k_i = \text{gain integral}$$

$$e(t) = \text{selisih setpoint dengan output} \quad k_d = \text{gain derivatif}$$

$$k_p = \text{gain proporsional} \quad T_i = \text{waktu Integral}$$

2.7.1 Proporsional

Pengendali proporsional adalah sebuah gain tanpa ada pemberian efek dinamik pada kinerja kontroler. Pengendali proporsional memiliki keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dimiliki, karenanya menyebabkan sinyal error akan semakin besar sehingga besar kemungkinan akan terjadi overshoot. Namun dalam hal ini juga Pengendali proporsional dapat memperbaiki rise time dan settling time dari sebuah sistem. Secara matematis Pengendali Proporsional dapat dibuktikan sebagai berikut [11]:

$$u(t) = K_p e(t)$$

Dimana:

$$u(t) = \text{output kendali}$$

$$k_p = \text{gain proporsional}$$

$$e(t) = \text{selisih antara setpoint dengan output}$$

1.7.2 Integral Pengendali

Integral merupakan kontrol yang berfungsi untuk menghilangkan nilai offset yang dihasilkan oleh pengendali proporsional. Namun pemilihan nilai pengendali integral yang tidak tepat dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Jika pemilihan nilai kontrol integral terlalu tinggi maka akan menyebabkan nilai keluaran yang berosilasi. Penambahan pengendali integral juga akan membuat respon dari sistem menjadi lambat. Oleh karena itu, dalam pengaplikasiannya, pengendali integral dikombinasikan dengan kontrol proporsional. Secara matematis pengendali integral dapat dibuktikan sebagai berikut [11]:

$$u(t) = K_i \int e(t) dt$$

Dimana:

$$u(t) = \text{output kendali} \quad k_i = \text{gain integral}$$

2.7.3 Derivative Pengendali

Derivatif dapat memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi dan dapat memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan error. Pengendali derivatif hanya berubah saat ada perubahan error, sehingga saat ada error statis, pengendali ini tidak memberikan aksi. Hal tersebut yang menyebabkan pengendali ini tidak bisa digunakan sendiri. Secara matematis pengendali derivatif dapat dibuktikan sebagai berikut:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dimana:

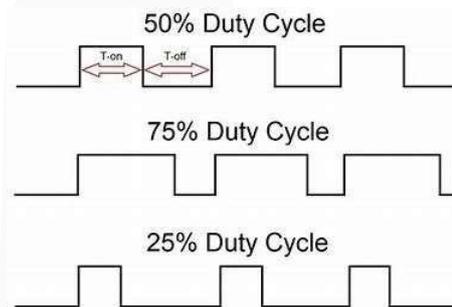
$$u(t) = \text{output kendali}$$

$$k_d = \text{gain derivatif}$$

$$e(t) = \text{selisih antara setpoint dengan output}$$

2.8 PWM (Pulse Width Modulation)

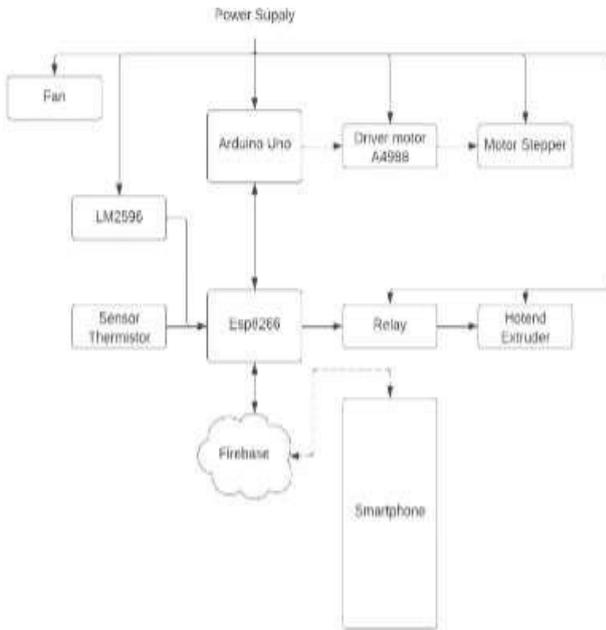
Pulse Width Modulation (PWM) adalah salah satu teknik modulasi dengan cara mengubah perbandingan lebar pulsa positif dengan lebar pulsa negatif atau sebaliknya. Sinyal PWM terdiri dari dua komponen lebar pulsa (duty cycle) dan frekuensi. Duty cycle menjelaskan kondisi waktu sinyal dalam 17 keadaan high (on) dalam bentuk persentase dari total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu periode. Sedangkan frekuensi menentukan seberapa cepat sinyal menyelesaikan satu periode. Salah satu aplikasi PWM biasa ditemui untuk pengaturan pengendalian daya atau tegangan yang akan masuk pada suatu beban seperti pengaturan kecepatan motor DC. Semakin besar nilai duty cycle yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap cepatnya putaran motor. Apabila nilai duty cycle kecil maka motor akan bergerak lambat. Gambar dibawah menggambarkan sinyal duty cycle.



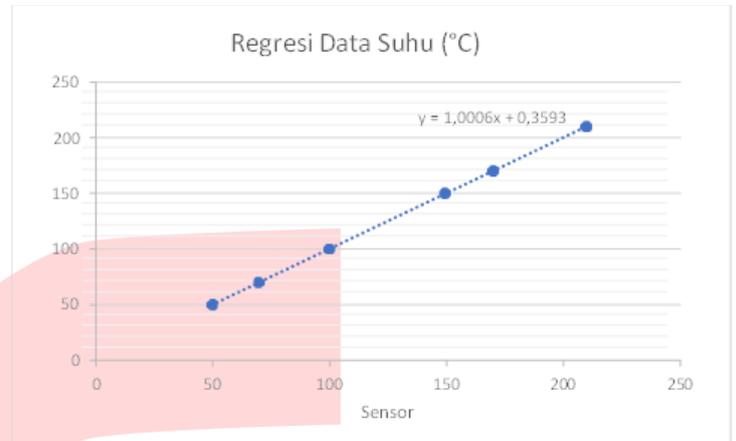
III. PERANCANGAN SISTEM

3.1. Desain Sistem

Secara umum topik penelitian Tugas Akhir ini adalah Pengendalian Kecepatan dan Suhu yang menggunakan Mikrokontroler dan Power supply sebagai sumber catu dayanya. pada alat ini, gambar blok diagram dapat dilihat dari gambar di bawah ini:



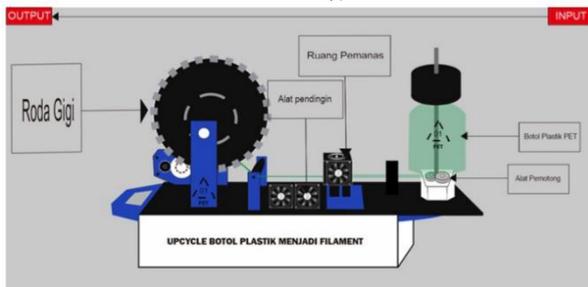
Sampel ke-	Rata-rata Data sensor suhu	Nilai Pembanding
5	169,65	170
6	209,55	210



GAMBAR 4.1

3.2 Desain Keseluruhan

Pada awal nya Tugas Akhir ini adalah proyek yang menggabungkan beberapa komponen mulai dari IoT, Desain perangkat keras dan kontrol terhadap suhu dan kecepatan dan penulis disini berfokus hanya pada kontrol terhadap suhu dan kecepatan yang mana awalan dari konsep tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



Hasil regresi dari Tabel dapat dihitung menggunakan persamaan regresi linear sederhana sebagai berikut :

$$Y = t = a + bx$$

$$b = \frac{n\sum XF - \sum X \sum F}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum F \sum X^2 - \sum X \sum XF}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Gambar 4.1 menunjukkan hasil regresi pada sensor suhu yang menghasilkan persamaan seperti pada gambar diatas. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan sensor mempunyai kesalahan pembacaan yang sangat kecil terhadap data sebenarnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor Suhu

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan thermistor untuk mengukur perubahan suhu pada perangkat Hottend extruder. Untuk mengetahui kinerja dari thermistor perlu dilakukan pengujian dan membandingkan dengan alat ukur yang terstandar sebagai nilai pembanding. Alat standar sebagai pembanding yang digunakan yaitu termometer analog yang mana pada pengukuran suhu kali ini tidak menggunakan beban apapun dalam pengambilan data nya

Tabel 4.1. menunjukkan hasil pengambilan data oleh thermistor yang dilakukan sebanyak 15 kali pada setiap sampel pengukuran, kemudian data tersebut menampilkan nilai rata-rata dari pengukuran yang telah diuji.

Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data oleh thermistor

Sampel ke-	Rata-rata Data sensor suhu	Nilai Pembanding
1	49,31	50
2	69,75	70
3	99,70	100
4	149,29	150

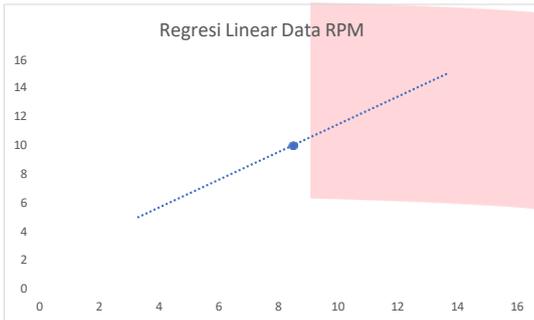
Sampel ke-	Rata-rata Data sensor suhu	Nilai Error Sebelum Kalibrasi	Nilai error setelah kalibrasi
1	49,31	1,38	0,45
2	69,75	0,35	0,31
3	99,70	0,30	0,16
4	149,29	0,47	0,17
5	170,09	0,21	0,06
6	209,09	0,20	0,01
Rata - Rata		0,49	0,19

4.2 Pengujian Sensor Infrared

Sensor infrared digunakan untuk mengukur kecepatan perputaran roda dengan satuan RPM. Sensor infrared yang digunakan adalah modul IR infrared obstacle. Pembacaan nilainya berupa high dan low yang diterima oleh pin digital arduino.

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
1	4,5	5
2	9,5	10
3	14,5	15

Pada tabel tersebut merupakan pengujian untuk kalibrasi sensor infrared menggunakan putaran motor stepper yang sudah ditentukan kecepatan perputaran rodanya. Pengujian ini dilakukan sebanyak 15 kali percobaan dari setiap putaran motor stepper yang sudah ditentukan nilai RPM sebagai satuan percepatan roda.

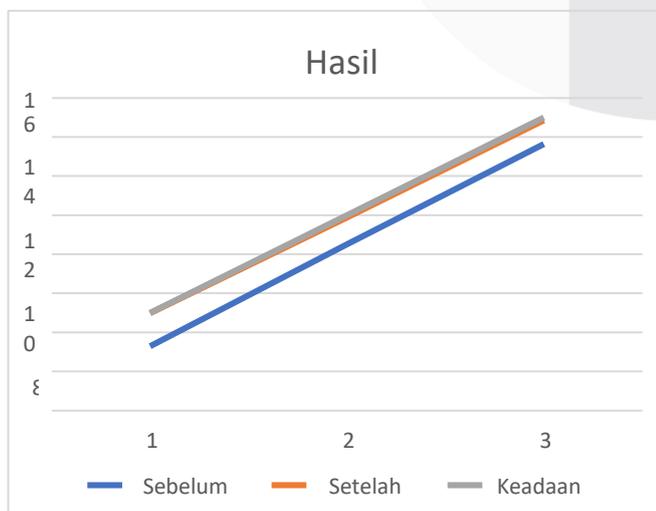


Gambar 4.2 Persamaan Regresi Linear Pengujian Kalibrasi

Gambar tersebut adalah persamaan regresi linear dari pengujian kalibrasi yang diperoleh melalui perhitungan Microsoft Excel. Dari perhitungan Microsoft Excel tersebut didapatkan persamaan regresi linear:

$$y = 0,9662 X - 2,8036$$

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Rata-rata data infrared setelah kalibrasi	Motor Stepper
1	4,5	5	5
2	9,5	10	10
3	14,5	15	15



Gambar dan tabel tersebut merupakan hasil dari kalibrasi sensor infrared. Keadaan nilai setelah kalibrasi mendekati nilai keadaan aktual dengan kata lain pembacaan RPM pada sensor infrared mendekati RPM pada motor stepper sebagai keadaan aktual.

4.3 Pengujian Motor stepper

Pengujian motor stepper dilakukan untuk mengetahui pengaruh frekuensi sinyal langkah (step signal frequency) terhadap kecepatan motor stepper. Frekuensi merupakan sejumlah sinyal yang diberikan per detik dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Setiap satu sinyal langkah mampu menggerakkan motor sebesar satu langkah (step), sehingga kecepatan motor dapat dihitung berdasarkan sinyal langkah yang dikirim setiap detiknya.

Untuk mengetahui putaran per detik (Rotation per Second/RPS) yang dihasilkan oleh motor stepper berdasarkan frekuensi, perlu diketahui berapa banyak langkah yang diperlukan oleh motor stepper untuk menghasilkan satu putaran penuh. Berdasarkan spesifikasi, motor stepper yang digunakan pada penelitian ini memerlukan 200 langkah untuk menghasilkan satu putaran penuh.

Tabel merupakan pengujian motor stepper dengan menggunakan input frekuensi yang bervariasi. Hasil dari tiap frekuensi akan menghasilkan Putaran per Menit (RPM) yang berbeda pada motor stepper. Putaran yang dihasilkan oleh motor stepper akan dihitung menggunakan stopwatch sebagai alat standar untuk mengukur waktu selama satu menit.

Percobaan ke-	Frekuensi Langkah(Hz)	Putaran per Detik (RPS)	Putaran per Menit(RPM)
1	30	0,15	9
2	70	0,35	21
3	100	0,5	30
4	130	0,65	39
5	160	0,8	49
6	200	1	60

Untuk lebih rinci dalam menghitung hubungan antara frekuensi dan jumlah langkah per putaran pada motor stepper dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan (RPS)} = \frac{\text{Frekuensi (Hz)}}{\text{Jumlah langkah per putaran}}$$

$$\text{Kecepatan (RPM)} = \text{Frekuensi (Hz)} \times 60$$

$$\text{Kecepatan (RPM)} = \frac{\text{Frekuensi (Hz)} \times 60}{\text{Jumlah langkah per putaran}}$$

$$\text{Kecepatan (RPM)} = \frac{\text{Frekuensi (Hz)} \times 60}{\text{Jumlah langkah per putaran}}$$

4.4 Pengujian Mosfet pada Extruder

Mosfet pada extruder berfungsi sebagai komponen pengendali yang mengatur kenaikan suhu pada extruder sekaligus berperan sebagai saklar untuk menghidupkan dan mematikan extruder. Mosfet ini memastikan suhu tetap stabil dan aman selama proses pencetakan, sehingga menghasilkan performa optimal dan konsistensi pada hasil cetakan.

Pada pengujian kali ini, modul MOSFET akan menerima sinyal PWM dari Arduino sebagai pengendali, yang bertujuan untuk mengatur suhu pada extruder. Dengan menggunakan sinyal PWM, Arduino dapat mengontrol daya yang diberikan kepada MOSFET secara efisien, sehingga memungkinkan pengaturan kenaikan suhu yang lebih presisi dan responsif.

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
1.	255	25
2.	255	45
3.	255	65
4.	255	85
5.	255	105
6.	255	130
7.	255	150
8.	255	170
9.	255	190
10.	255	210

Tabel 4.4 Kenaikan suhu dengan PWM 100%

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
1.	128	25
2.	128	35
3.	128	45
4.	128	55
5.	128	65
6.	128	75
7.	128	85
8.	128	95
9.	128	105
10.	128	115

Tabel 4.4 Kenaikan suhu dengan PWM 50%

4.5 Pengujian Koefisien PID

Tujuan pengujian koefisien PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah untuk menemukan nilai optimal dari ketiga parameter tersebut (P, I, dan D) agar sistem yang dikendalikan mencapai respons yang diinginkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem kontrol dalam beberapa aspek, seperti mengurangi error steady-state, yang membantu mengurangi selisih antara nilai setpoint dan nilai aktual pada kondisi stabil. Selain itu, pengujian ini juga meningkatkan stabilitas sistem dengan menghindari overshoot atau osilasi yang berlebihan, serta menemukan keseimbangan antara respons cepat dan stabilitas sistem. Pengujian ini mempercepat waktu respons, sehingga sistem dapat mencapai kondisi stabil dengan cepat setelah perubahan input atau gangguan. Lebih jauh lagi, pengujian koefisien PID bertujuan untuk mengurangi overshoot, yakni lonjakan awal di atas setpoint sebelum sistem mencapai

stabilisasi, yang dapat berpotensi menyebabkan kerusakan pada sistem fisik.

4.5.1 Pengujian Koefisien PID pada Extruder

Pengujian ini dilakukan pada extruder agar suhu yang di keluarkan oleh extruder mampu meminimalisir selisih antara nilai setpoint dan nilai aktual pada kondisi stabil, lalu menghindari overshoot atau isolasi yang berlebihan, serta mempercepat nilai pada kondisi stabil.

Tabel 4.8 $K_p=2$ $K_i=0.1$, dan $K_d=1$

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
1.	25	210
2.	45	210
3.	65	210
4.	85	210
5.	105	210
6.	130	210
7.	150	210
8.	170	210
9.	190	210
10.	210	210
11.	211	210
12.	210	210
13.	206	210
14.	208	210
15.	210	210
16.	211	210
17.	210	210
18.	209	210
19.	208	210
20.	210	210

Tabel 4.9 $K_p=2$ $K_i=0.5$, dan $K_d=1,5$

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
1.	25	210
2.	45	210
3.	65	210
4.	85	210
5.	105	210
6.	130	210
7.	150	210
8.	170	210
9.	190	210
10.	210	210

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
11.	212	210
12.	213	210
13.	215	210
14.	213	210
15.	210	210
16.	213	210
17.	215	210
18.	210	210
19.	213	210
20.	215	210

Tabel 4.10 $K_p=2$ $K_i=0,75$, dan $K_d=2$

Sampel ke-	Rata-rata Data Infrared	Motor Stepper
1.	25	210
2.	45	210
3.	65	210
4.	85	210
5.	105	210
6.	130	210
7.	150	210
8.	170	210
9.	190	210
10.	210	210
11.	213	210
12.	215	210
13.	216	210
14.	213	210
15.	213	210
16.	213	210
17.	215	210
18.	216	210
19.	213	210
20.	215	210

4.5.2 Pengujian Koefisien PID pada Stepper

Tabel 4.11 $K_p=2$ $K_i=0,1$, dan $K_d=1$

Sampel ke-	Nilai Aktual	Setpoint
1.	0,5	11
2.	1,5	11
3.	3	11

Sampel ke-	Nilai Aktual	Setpoint
4.	4	11
5.	5,5	11
6.	7	11
7.	8,5	11
8.	10	11
9.	10	11
10.	11	11
11.	12	11
12.	12	11
13.	11	11
14.	11	11
15.	11	11
16.	11	11
17.	11	11
18.	11	11
19.	11	11
20.	11	11

Tabel 4.12 $K_p=2$ $K_i=0,5$, dan $K_d=1,5$

Sampel ke-	Nilai Aktual	Setpoint
1.	0,5	11
2.	1,5	11
3.	3	11
4.	4	11
5.	5,5	11
6.	7	11
7.	8,5	11
8.	10	11
9.	10	11
10.	11	11
11.	12	11
12.	12	11
13.	11	11
14.	11	11
15.	11	11
16.	11	11
17.	11	11
18.	11	11
19.	11	11
20.	11	11

Tabel 4.13 $K_p=2$ $K_i=0,75$, dan $K_d=2$

Sampel ke-	Nilai Aktual	Setpoint
1.	0,5	11
2.	1,5	11
3.	3	11
4.	4	11
5.	5,5	11
6.	7	11
7.	8,5	11
8.	10	11
9.	11	11
10.	11	11
11.	11	11
12.	11	11
13.	11	11
14.	11	11
15.	11	11
16.	11	11
17.	11	11
18.	11	11
19.	11	11
20.	11	11

V. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

pada penelitian dan pengujian alat yang telah dibuat adalah sebagai berikut:

1. Sensor Suhu memiliki tingkat akurasi 99,81% setelah sensor tersebut dikalibrasi
2. Sensor infrared untuk mendeteksi kecepatan RPM memiliki tingkat akurasi 100% setelah sensor tersebut dikalibrasi
3. Kontrol PID pada extruder yang memiliki overshoot paling kecil ketika $K_p=2$ $K_i=0.1$, dan $K_d=1$ di bandingkan yang lain. Hasil tersebut di peroleh saat pengujian koefisien PID pada extruder.
4. Kontrol PID pada stepper yang memiliki overshoot paling kecil ketika $K_p=2$ $K_i=0.1$, dan $K_d=1$ di bandingkan yang lain. Hasil tersebut di peroleh saat pengujian koefisien PID pada stepper.

5.2 Saran

Saran untuk penelitan selanjutnya setelah dilakukan peneletian pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk Penelitian selanjutnya, alat ini sebagai prototipe sebaiknya dibuat untuk implementasinya sebagai alat penghasil filamen dari botol plastik.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. W. Y. Putra Parmita, G. U. N. Tajalla. R. A. Tanjung, and H. A. Dewanto, "SOSIALISASI PENGENALAN 3D PRINTING UNTUK PEMUDA DAN PEMUDI DI BALIKPAPAN," Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat ITK (PIKAT), vol. 2, no. 1, pp. 7-12, Jun. 2021, doi: 10.35718/pikat.v2i1.317
2. T. Rúsianto, S. Huda, dan Hary Wibowo, J. Kalisahak No. and K. Balapan Yogyakarta, "A RIVIEW: JENIS DAN PENCETAKAN 3D (3D PRINTING) UNTUK PEMBUATAN PROTOTIPE." [Online]. Available: <https://aaq.auburn.edu/node/9907/take>
3. V. Gaikwad, A. Ghose, S. Cholake, A. Rawal. M. Iwato, and V. Sahajwalla, "Transformation of E-Waste Plastics into Sustainable Filaments for 3D Printing." ACS Sustain Chem Eng. vol. 6, no. 11. pp. 14432-14440, Nov. 2018, doi: 10.1021/acssuschemeng.8603105
4. J. Dubashi, B. Grau, and A. McKernan, "Scholar Commons AkaBot 2.0: pet 3D printing filament from waste plastic Recommended Citation." [Online]. Available: https://scholarcommons.scu.edu/mech_senior
5. JM, "S-36-12," [Online]. Available: https://jm.pl/gfx-base/s_1/orgs/18/S-36-12.pdf. [Accessed: Dec. 18, 2024].
6. Components101, "NEMA 17 Stepper Motor," Aug. 19, 2019. [Online]. Available: <https://components101.com/motors/nema17-stepper-motor>. [Accessed: Dec. 18, 2024].
7. Components101, "Datasheet of IR Sensor," [Online]. Available: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Datasheet%20of%20IR%20%20Sensor.pdf. [Accessed: Dec. 18, 2024].
8. Arduino, "A000066 - Arduino Uno Rev3," [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>. [Accessed: Dec. 18, 2024].
9. Elicit, "Notebook: 3315161e-2853-497c-a11e-66087e30a434," [Online]. Available: <https://elicit.com/notebook/3315161e-2853-497c-a11e-66087e30a434#1811f5648a826a0aadd7026d331c877d>. [Accessed: Dec. 18, 2024].
10. Elicit, "Notebook: 3315161e-2853-497c-a11e-66087e30a434," [Online]. Available: <https://elicit.com/notebook/3315161e-2853-497c-a11e-66087e30a434#1811f53e88ee98e199c3d4e37b83fa22>. [Accessed: Dec. 18, 2024].

11. J. Kalisahak, "Title of the paper," *J. Utekin*, vol. 8, no. 1, pp. [page numbers], 2024. doi: 10.51530/jutekin.v8i1.462.
12. Elicit, "Notebook: 3315161e-2853-497c-a11e-66087e30a434," [Online]. Available: <https://elicit.com/notebook/3315161e-2853-497c-a11e-66087e30a434#1811f4ebc790c728c3401d54618ce49c>. [Accessed: Dec. 18, 2024].
13. YPPB, "Pengelolaan Sampah Organik yang Tidak Tepat, Hanya Akan Mendatangkan Musibah," Feb. 11, 2024. [Online]. Available: <https://ypbb.web.id/pengelolaan-sampah-organik-yang-tidak-tepat-hanya-akan-mendatangkan-musibah/>
14. W. B. Mursanto, "Analisis Pengkondisi Sinyal untuk Sensor Thermistor - Studi Kasus Linierisasi Secara Seri," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 1-7, Feb. 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/energi/article/view/1748>. [Accessed: Des. 17, 2024].
15. A. Zaini, S. Riyadi, dan P. E. D. K. Wati, "Analisis Kelayakan Investasi Alat Roll Streaping pada UKM Mekar Handcraft," *Teknika*, vol. 10, no. 2, pp. 136-146, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.untagsby.ac.id/index.php/teknika/article/view/8881>. [Accessed: Des. 13, 2024].
16. M. Syafriza, D. Suherdi, dan K. Sari, "Implementasi PWM Pada Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 3, no. 4, pp. 1-10, Juli 2024. [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jskom/article/view/8916>. [Accessed: Des. 13, 2024].
17. V. M. Patil, C. B. Jadhav, S. V. Swami, dan S. U. Kamble, "Liquid Temperature Measurement Using Arduino," *International Scientific Journal of Engineering and Management*, vol. 1, no. 2, pp. 45-52, Apr. 2024. [Online]. Available: <https://isjem.com/download/liquid-temperature-measurement-using-arduino/>. [Accessed: Des. 14, 2024].
18. Thiry, F. Krier, dan B. Evrard, "A review of pharmaceutical extrusion: Critical process parameters and scaling-up," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 479, no. 1, pp. 227-240, Feb. 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517314009338>. [Accessed: Des. 12, 2024].